

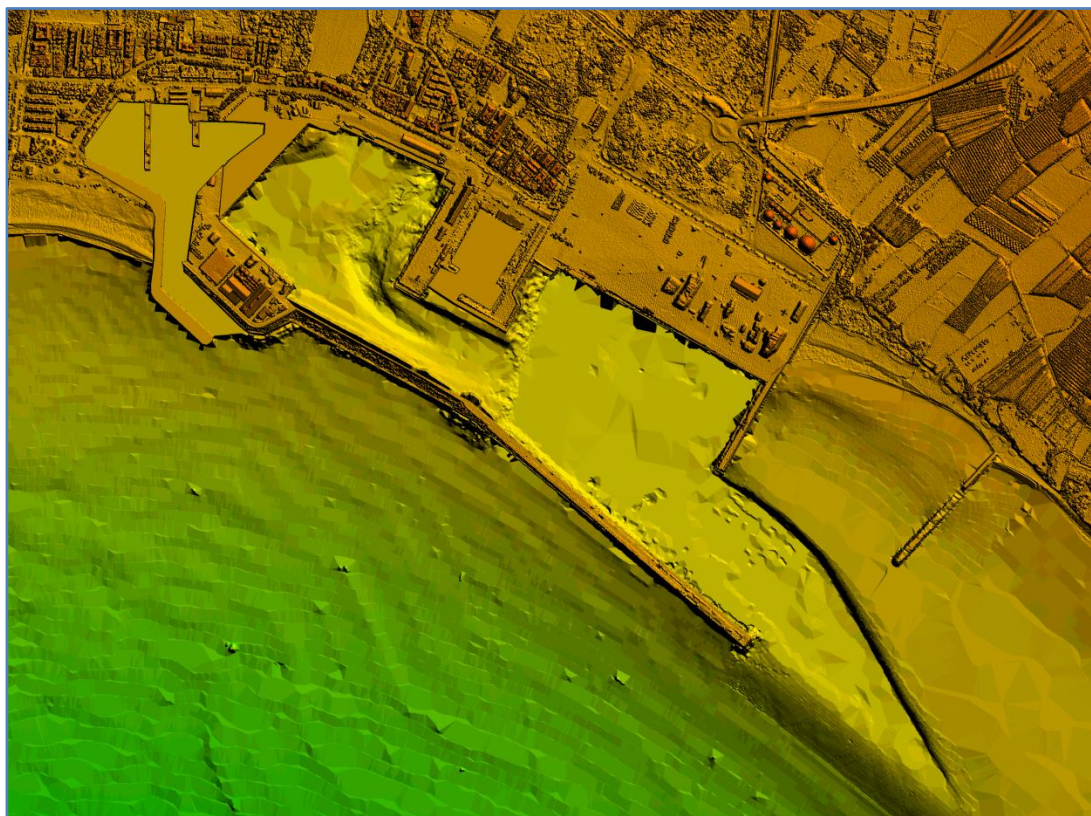


**Puerto de Motril**  
**GRANADA**

Autoridad Portuaria de Motril

## ESTUDIO AMBIENTAL ESTRATÉGICO DEL PLAN DIRECTOR DE INFRAESTRUCTURAS DEL PUERTO DE MOTRIL

### TRABAJO 4: MODELIZACIÓN HIDRODINÁMICA



**TECNOAMBIENTE**

A TRADEBE COMPANY

**Noviembre 2019**

## **ÍNDICE**

<b>1</b>	<b>MODELIZACIÓN HIDRODINÁMICA .....</b>	<b>3</b>
1.1	EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA .....	3
1.1.1	Metodología .....	3
1.1.1.1	Restitución de vuelos verticales .....	3
1.1.1.2	Imágenes satelitales de Google Earth .....	12
1.1.1.3	Conclusiones .....	19
1.1.2	Forma en planta de las playas de estudio para la alternativa Poniente 1.....	20
1.2	CALIDAD DE AGUA EN LAS DÁRSENAS .....	21
1.2.1	Metodología .....	22
1.2.1.1	Planteamiento del problema.....	22
1.2.1.2	Procedimiento.....	24
1.2.2	Resultados .....	30
1.2.2.1	Situación actual .....	30
1.2.2.2	Situación futura .....	41
1.2.2.3	Alternativa Poniente 2 .....	51
1.2.3	Conclusiones .....	58
1.3	TASA DE SEDIMENTACIÓN Y NECESIDADES DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO .....	59
1.3.1	Clima marítimo .....	59
1.3.2	Sedimentación .....	67
1.3.2.1	Tasas de sedimentación .....	73
<b>2</b>	<b>NOTAS FINALES Y FIRMAS .....</b>	<b>75</b>

## 1 MODELIZACIÓN HIDRODINÁMICA

Para la configuración del nuevo PDI de Motril se contempla la modificación del perímetro exterior del puerto con la apertura de una nueva bocana en poniente para la dársena pesquera náutico-deportiva. Por este motivo, es necesario realizar el estudio de la dinámica litoral, con especial interés en tres aspectos: la evolución de la línea de costa, la calidad de agua en las dársenas y la tasa de sedimentación y necesidades de dragado de mantenimiento, y es lo que recoge este documento.

### 1.1 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

En este apartado del estudio, se lleva a cabo el análisis de la evolución que ha sufrido la costa del municipio de Motril, en particular las playas de Poniente, El cable y Las Azucenas, limítrofes con el Puerto de Motril, a lo largo del último medio siglo aproximadamente, con el fin de identificar las causas que han dado lugar a su estado actual y su tendencia evolutiva reciente. El estudio de la línea de costa es fundamental en cualquier tipo de estudio de ámbito costero, ya que a través de su evolución temporal se pueden deducir los grandes acontecimientos que han influenciado en la zona de estudio y como ha variado su tendencia desde entonces.

#### 1.1.1 Metodología

La metodología para seguir en el presente estudio se ha organizado en función de las distintas fuentes de información utilizadas. El principal motivo de dicha decisión se debe a que, con el paso del tiempo, el avance y mejora de las tecnologías, ha permitido obtener resultados de mayor calidad y escala, por lo que la propia fuente realiza una distribución de la información de forma que su comparación e interpretación es la más productiva posible. La obtención de fotografías aéreas de vuelos litorales a partir de 1956 ha permitido la realización de un estudio cuantitativo de las variaciones sufridas por el borde costero en estudio en el último siglo aproximadamente y, de forma más detallada, en los últimos 15 años mediante la restitución de las líneas de orilla y su comparación en épocas sucesivas, la cual permite mensurar los avances y retrocesos en todo el tramo. Para la realización del estudio, se ha referenciado la línea de costa con respecto al estado de bajamar.

##### 1.1.1.1 Restitución de vuelos verticales

Las *imágenes* que se emplean en este análisis son las obtenidas de los vuelos que se realizan periódicamente sobre el territorio nacional y que están disponibles en la web del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para su descarga. Son imágenes de gran detalle y precisión por lo que aportan una información fundamental y fiable.

Se han obtenido del IGN las ortofotos correspondientes a los siguientes vuelos:

- Vuelo Americano 1956-1957
- Vuelo Interministerial 1973-1986
- Vuelo Nacional 1980-1986

- Vuelo PNOA 2004
- Vuelo PNOA 2006
- Vuelo PNOA 2008
- Vuelo PNOA 2010
- Vuelo PNOA 2013
- Vuelo PNOA 2016

A partir de estas ortofotos se ha procedido al tratamiento y digitalización de estas para posteriormente generar las diferentes líneas de costa, una por cada vuelo.

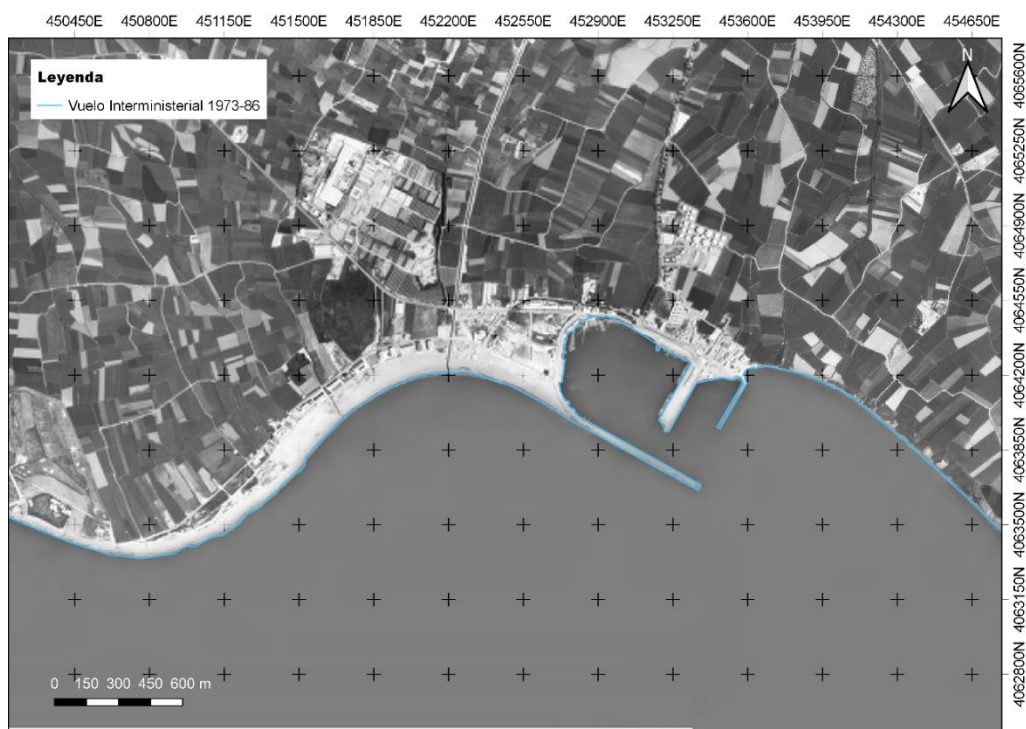
En primer lugar, se representa cada una de las líneas de costa correspondiente a cada uno de los vuelos tomando como imagen de fondo dicho vuelo. En último lugar, se muestra la superposición de todas las líneas de costa para la cual a modo de referencia, se ha introducido una imagen de fondo que corresponde con la del vuelo PNOA 2016, que resulta ser la imagen del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de máxima actualidad disponible.



**Ilustración 1. Línea de costa obtenida a partir de restitución del vuelo vertical Americano 1956-57 para la zona de estudio.**

Fuente: IGN y elaboración propia.





**Ilustración 2. Línea de costa obtenida a partir de restitución del vuelo vertical Interministerial 1973-86 para la zona de estudio.**

Fuente: IGN y elaboración propia.

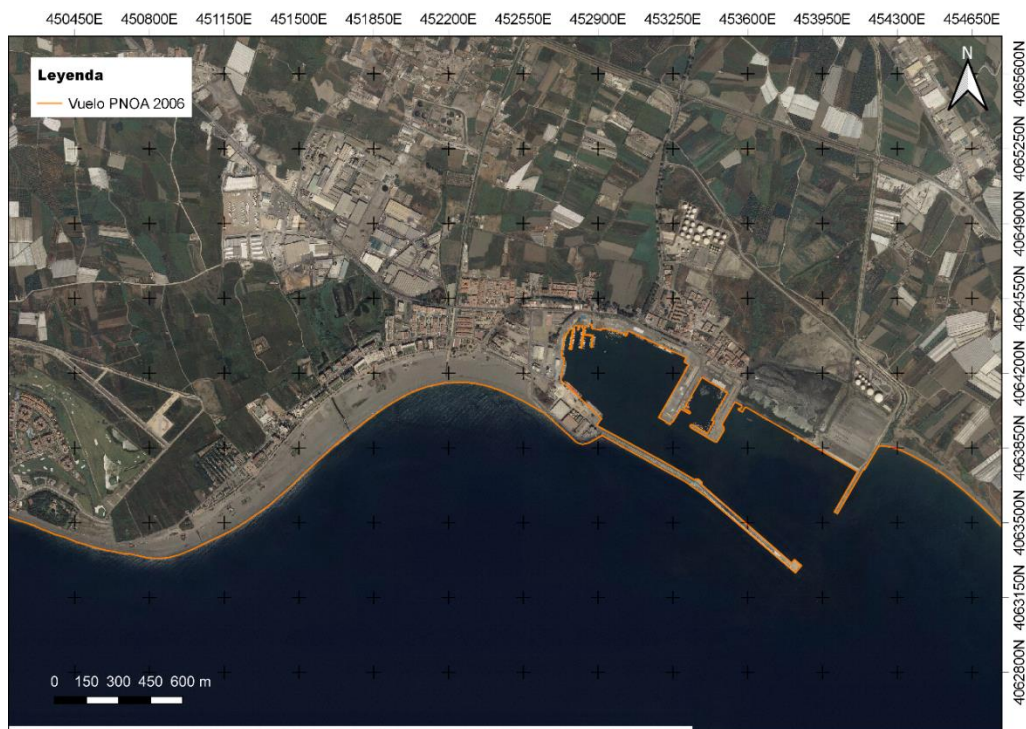


**Ilustración 3. Línea de costa obtenida a partir de restitución del vuelo vertical Nacional 1980-86 para la zona de estudio.**

Fuente: IGN y elaboración propia.

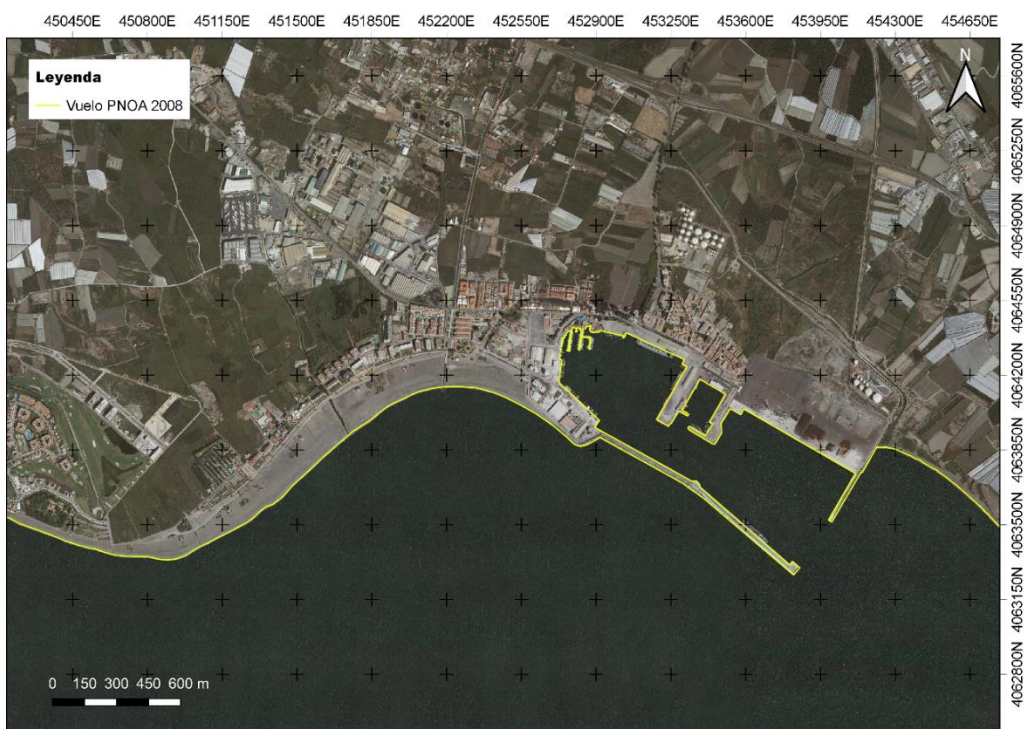


**Ilustración 4. Línea de costa obtenida a partir de restitución del vuelo vertical PNOA 2004 para la zona de estudio.**  
Fuente: IGN y elaboración propia.

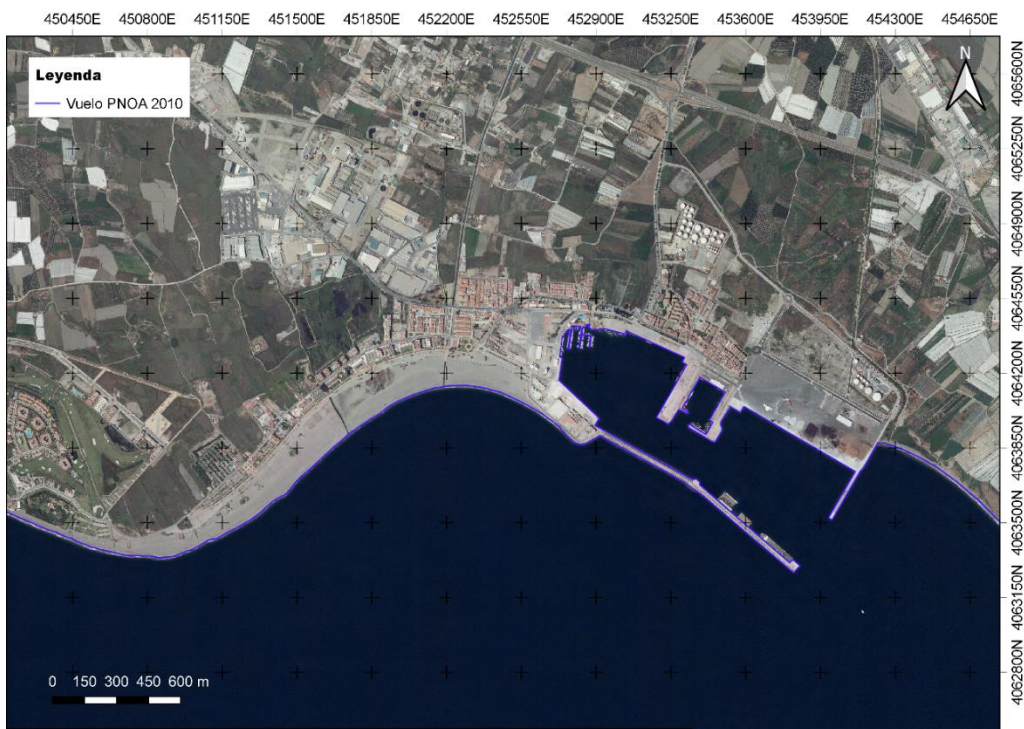


**Ilustración 5. Línea de costa obtenida a partir de restitución del vuelo vertical PNOA 2006 para la zona de estudio.**  
Fuente: IGN y elaboración propia.



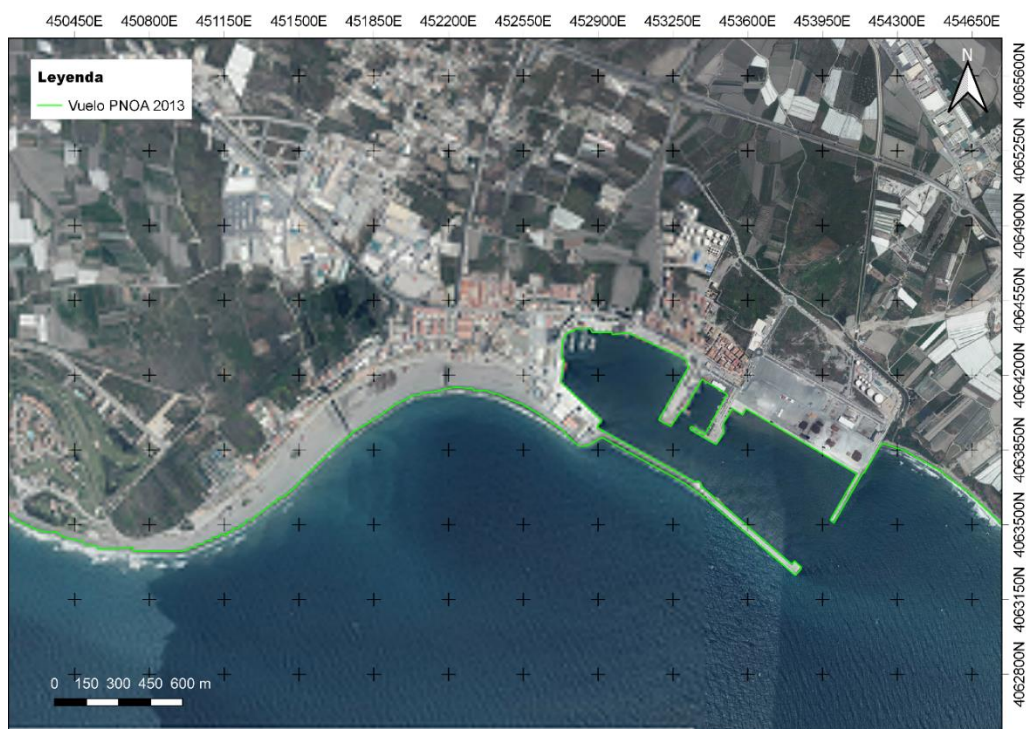


**Ilustración 6. Línea de costa obtenida a partir de restitución del vuelo vertical PNOA 2008 para la zona de estudio.**  
Fuente: IGN y elaboración propia.

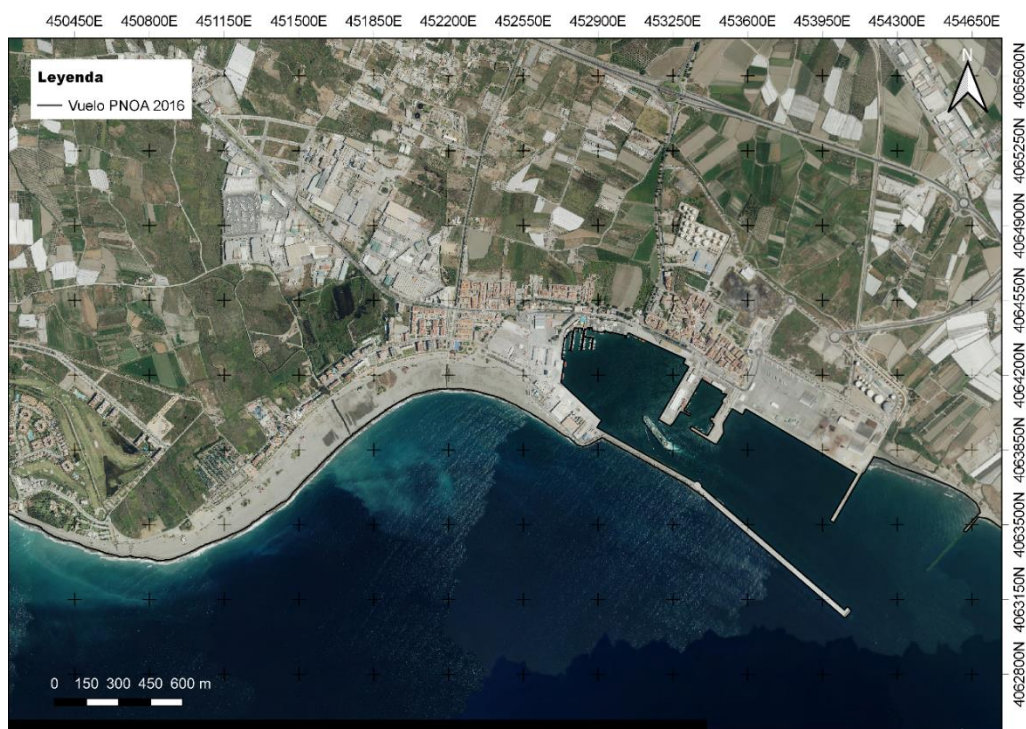


**Ilustración 7. Línea de costa obtenida a partir de restitución del vuelo vertical PNOA 2010 para la zona de estudio.**  
Fuente: IGN y elaboración propia.



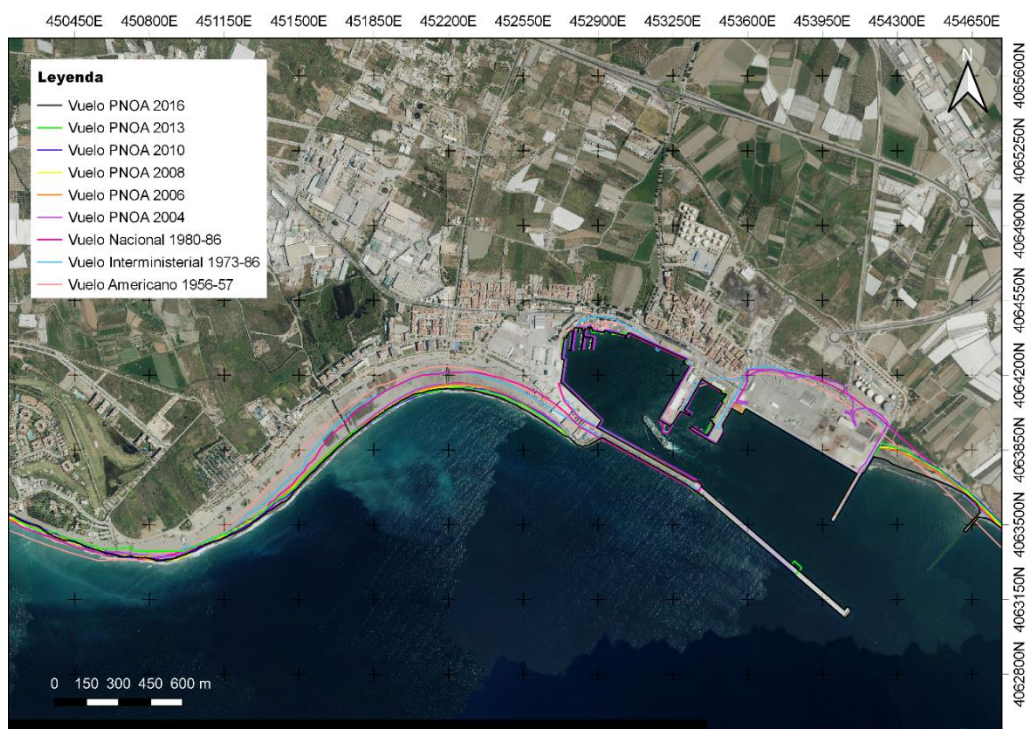


**Ilustración 8. Línea de costa obtenida a partir de restitución del vuelo vertical PNOA 2013 para la zona de estudio.**  
Fuente: IGN y elaboración propia.



**Ilustración 9. Línea de costa obtenida a partir de restitución del vuelo vertical PNOA 2016 para la zona de estudio.**  
Fuente: IGN y elaboración propia.





**Ilustración 10. Colección de líneas de costa obtenida a partir de restitución de vuelos verticales para la zona de estudio.**

Fuente: IGN y elaboración propia.

Para el análisis de los resultados se ha realizado una sectorización para las diferentes zonas que comprende el área de estudio. De esta forma, se ha dividido en seis tramos cuyos límites los marcan los extremos de las playas y los arroyos que las cruzan, y definidas de Oeste a Este son las siguientes:

- Zona 1: Esta zona se extiende desde el extremo oeste de la Playa de Poniente hasta la desembocadura del primer arroyo desde el sur, que corresponde con el límite sur de la Playa El Cable.
- Zona 2: La segunda zona definida corresponde con el final de la zona 1 hasta la desembocadura del segundo arroyo desde el sur, y que abarca la primera ensenada de la Playa El Cable.
- Zona 3: Esta zona corresponde a la segunda ensenada de la Playa El Cable, que abarca desde el final de la zona 2 hasta el límite con el Puerto de Motril.
- Zona 4: La cuarta zona definida corresponde a la Playa de las Azucenas, que limita al oeste con el Puerto de Motril. Se ha tomado como límite al este el primer dique situado después del puerto, de reciente construcción, pues no tiene más de 6 años.



**Ilustración 11. Sectorización realizada en la playa de A Magdalena para el análisis de la evolución de la línea de costa.**

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las magnitudes que definen la variación de la línea de costa quedan recogidas en la siguiente tabla, donde se ha tomado de referencia la situación más actual disponible, correspondiente con el vuelo PNOA 2016. Por un lado, los valores negativos (en rojo) indican que existe un retroceso de la línea de costa en dicho punto (menor disposición de playa seca), y, por otro lado, los valores positivos (en verde) hacen referencia a un avance de la línea de costa (mayor disposición de playa seca).

**Tabla 1. Magnitudes correspondientes a la evolución histórica de la línea de costa del municipio de Motril. Análisis mediante imágenes obtenidas a partir de vuelos del IGN.**

FECHA	TIEMPO TRANSCURRIDO	SECTOR	AVANCES/RETROCESOS RESPECTO A LA SITUACIÓN ACTUAL [m]
Vuelo PNOA 2016	Fecha de referencia	ZONA 1	0,0
		ZONA 2	0,0
		ZONA 3	0,0
		ZONA 4	0,0
Vuelo PNOA 2013	3 años	ZONA 1	-19,2
		ZONA 2	+2,7
		ZONA 3	-12,4
		ZONA 4	-60,0
Vuelo PNOA 2010	6 años	ZONA 1	-14,8
		ZONA 2	+7,2

FECHA	TIEMPO TRANSCURRIDO	SECTOR	AVANCES/RETROCESOS RESPECTO A LA SITUACIÓN ACTUAL [m]
Vuelo PNOA 2008	8 años	ZONA 3	-18,9
		ZONA 4	-64,1
		ZONA 1	-11,7
		ZONA 2	-1,2
		ZONA 3	-18,3
		ZONA 4	-58,9
		ZONA 1	-19,6
		ZONA 2	-3,8
Vuelo PNOA 2006	10 años	ZONA 3	-25,8
		ZONA 4	-49,2
Vuelo PNOA 2004	12 años	ZONA 1	-9,0
		ZONA 2	-13,0
		ZONA 3	-28,7
		ZONA 4	-52,4
Vuelo Nacional 1980-1986	30 años	ZONA 1	-28,5
		ZONA 2	-74,3
		ZONA 3	-90,6
		ZONA 4	-75,2
Vuelo Interministerial 1973-1986	30 años	ZONA 1	-52,0
		ZONA 2	-76,8
		ZONA 3	-71,4
		ZONA 4	-73,1
Vuelo Americano 1956-1957	59 años	ZONA 1	-92,9
		ZONA 2	-100,6
		ZONA 3	-89,7
		ZONA 4	-27,6

Fuente: Varias. Elaboración propia, 2019.

Para finalizar, se han calculado los valores medios para cada una de las zonas, de manera que se muestra un único valor orientativo en función de los resultados obtenidos en todos los casos analizados.

**Tabla 2. Magnitudes medias correspondientes a la evolución histórica de la línea de costa del municipio de Motril. Análisis mediante imágenes obtenidas a partir de vuelos del IGN.**

SECTOR	VALORES MEDIOS DE AVANCES/RETROCESOS RESPECTO A LA SITUACIÓN ACTUAL [m]
ZONA 1	-31,0

SECTOR	VALORES MEDIOS DE AVANCES/RETROCESOS RESPECTO A LA SITUACIÓN ACTUAL [m]
ZONA 2	-32,5
ZONA 3	-44,5
ZONA 4	-57,6

Fuente: elaboración propia, 2019.

#### 1.1.1.2 Imágenes satelitales de Google Earth

Se han analizado también las imágenes de satélite disponibles en la herramienta Google Earth, de esta forma se completa la información ya disponible. No obstante, se analiza de forma separada ya que es más adecuado realizar la comparativa de datos de la misma fuente.

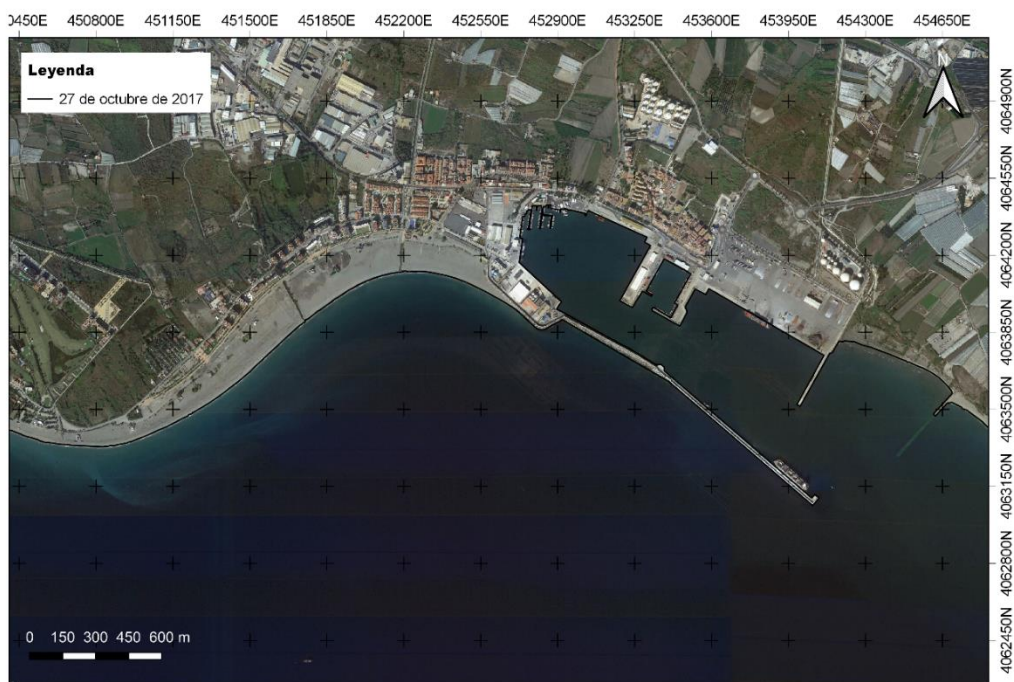
Las imágenes de satélite son de mayor detalle que las obtenidas con los vuelos y tienen la ventaja de que abarcan una zona mucho más amplia que las imágenes aéreas. En este caso se dispone de información histórica satelital en la zona de estudio correspondiente con los siguientes años: 2004, 2005, 2007, 2010, 2012, 2014, 2015 y 2017. En la siguiente tabla, se recogen las fechas exactas de las imágenes satelitales que han sido utilizadas en el proceso de digitalización de las líneas de costa históricas:

**Tabla 3. Fechas correspondientes con las imágenes digitalizadas.**

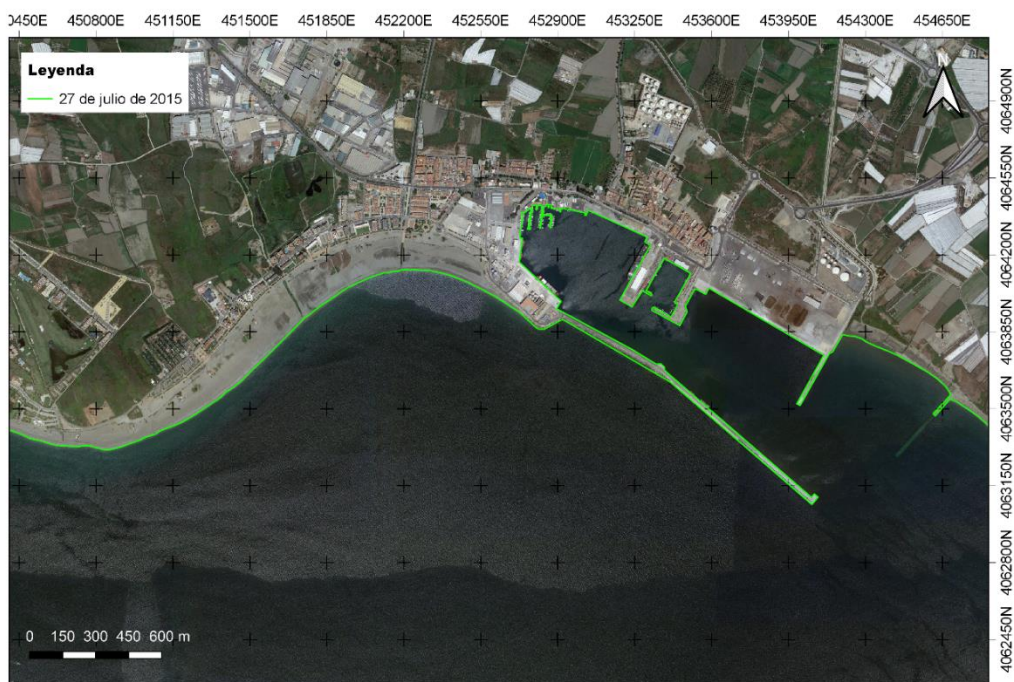
AÑO	FECHA
2017	27 de octubre
2015	27 de julio
2014	20 de octubre
2012	5 de agosto
2010	5 de junio
2007	15 de agosto
2005	11 de abril
2004	31 de octubre

En primer lugar, se representa cada una de las líneas de costa generadas a partir de la digitalización de las imágenes satelitales obtenidas de Google Earth para la zona de estudio tomando como imagen de fondo la que corresponde en cada caso. La primera imagen que se muestra a continuación corresponde con la imagen satelital de Google Earth del 27 de octubre de 2017, que resulta ser la versión más actual disponible en dicho programa informático. Posteriormente, se incluye el resto de las fotos en orden decreciente en cuanto a antigüedad. En último lugar, se muestra la superposición de todas las líneas de costa para la cual a modo de referencia, se ha introducido como imagen de fondo la imagen anterior.

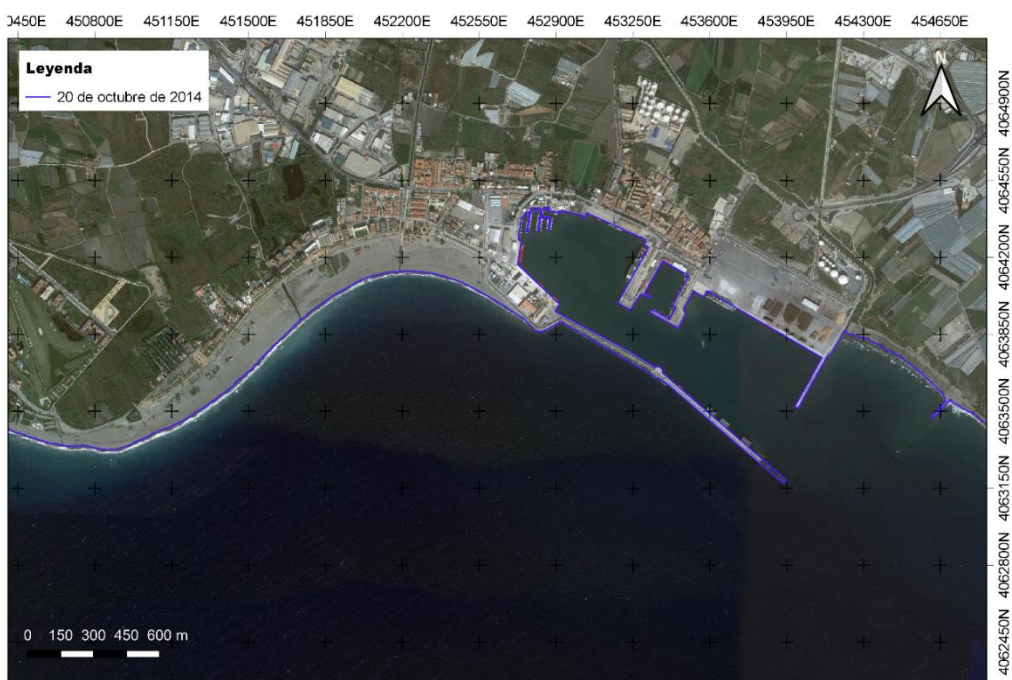




**Ilustración 12. Línea de costa del 27 de octubre de 2017 obtenida a partir de la digitalización de la imagen satelital de Google Earth para la zona de estudio.**  
Fuente: Elaboración propia.

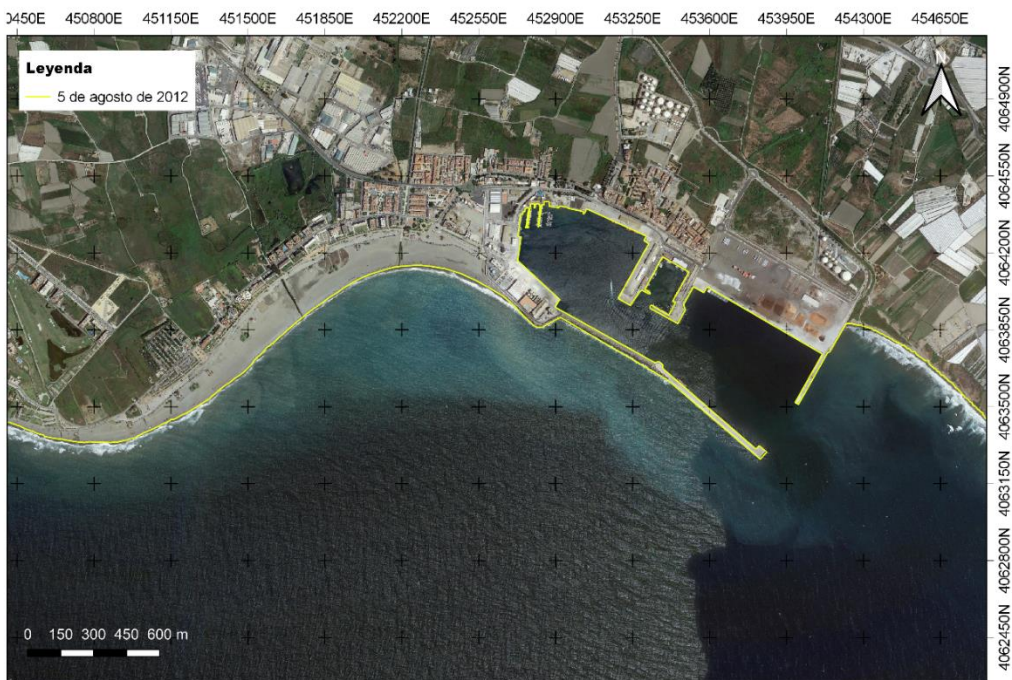


**Ilustración 13. Línea de costa del 27 de julio de 2015 obtenida a partir de la digitalización de la imagen satelital de Google Earth para la zona de estudio.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Ilustración 14. Línea de costa del 20 de octubre de 2014 obtenida a partir de la digitalización de la imagen satelital de Google Earth para la zona de estudio.**

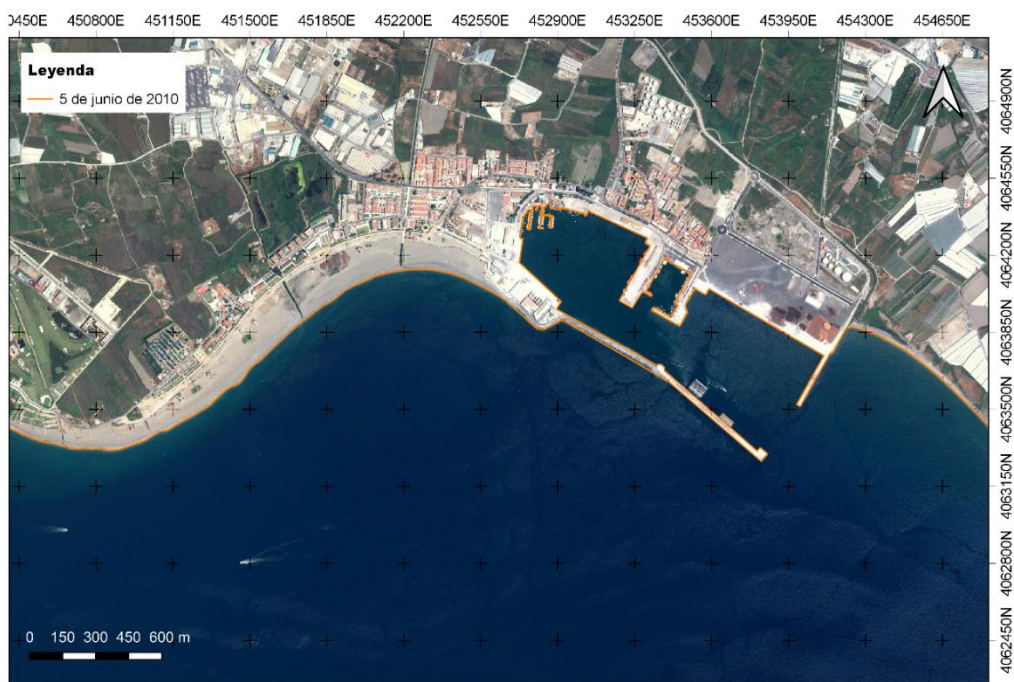
Fuente: Elaboración propia.



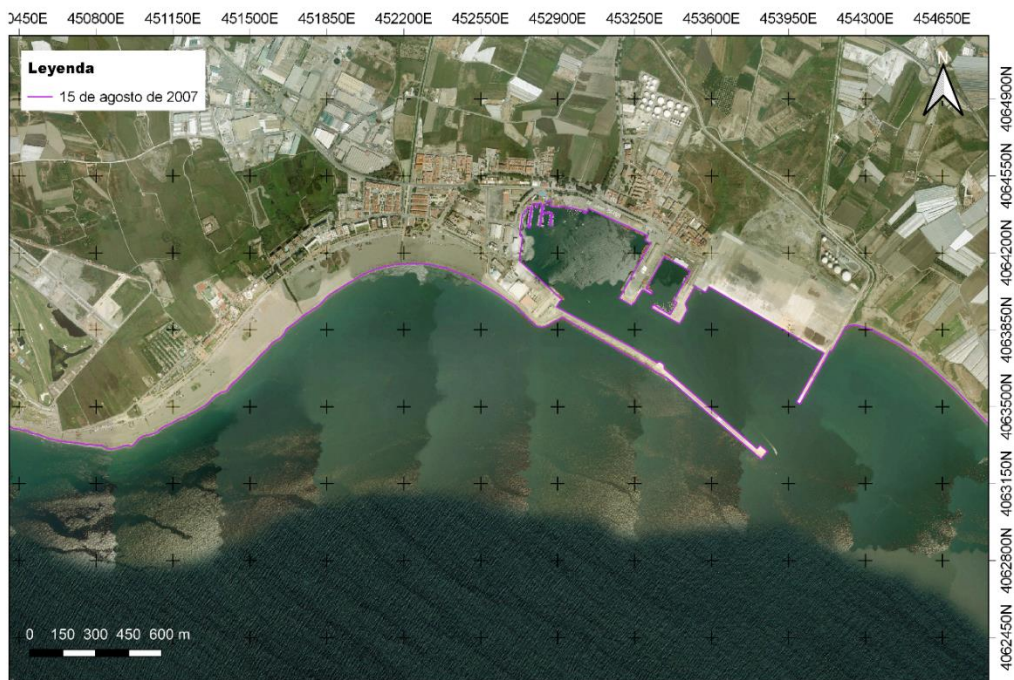
**Ilustración 15. Línea de costa del 5 de agosto de 2012 obtenida a partir de la digitalización de la imagen satelital de Google Earth para la zona de estudio.**

Fuente: Elaboración propia.



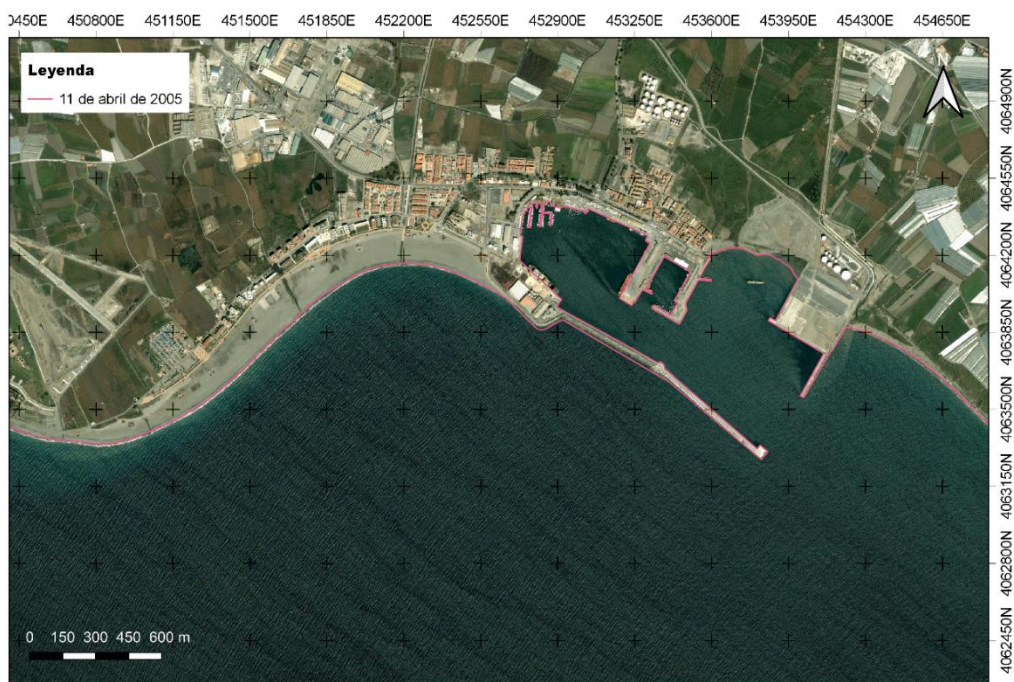


**Ilustración 16. Línea de costa del 5 de junio de 2010 obtenida a partir de la digitalización de la imagen satelital de Google Earth para la zona de estudio.**  
Fuente: Elaboración propia.



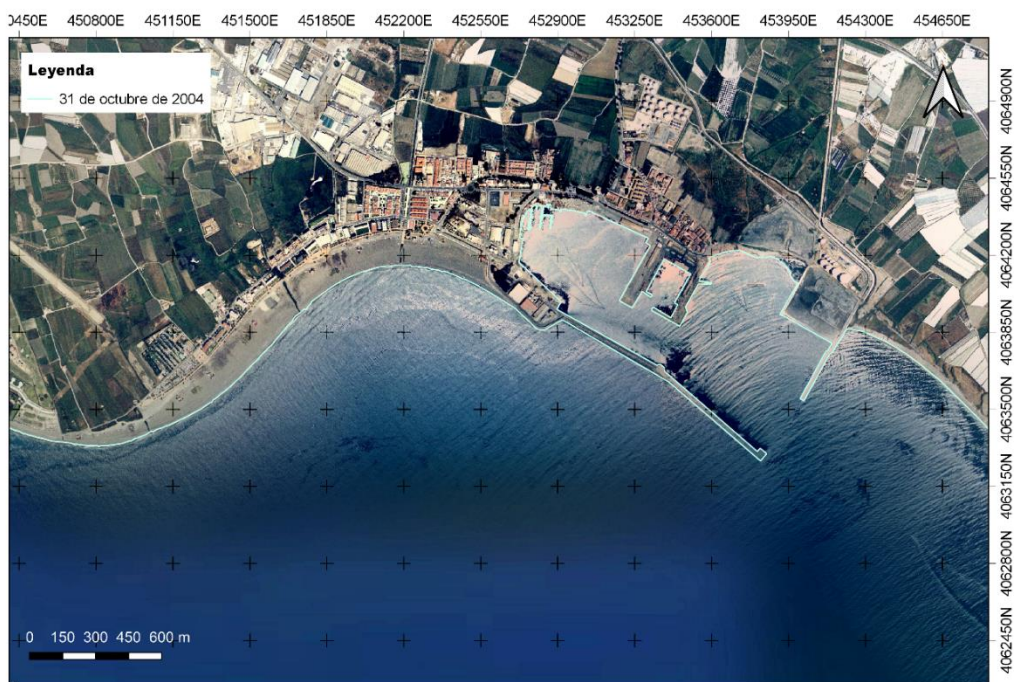
**Ilustración 17. Línea de costa del 15 de agosto de 2007 obtenida a partir de la digitalización de la imagen satelital de Google Earth para la zona de estudio.**  
Fuente: Elaboración propia.





**Ilustración 18. Línea de costa del 11 de abril de 2005 obtenida a partir de la digitalización de la imagen satelital de Google Earth para la zona de estudio.**

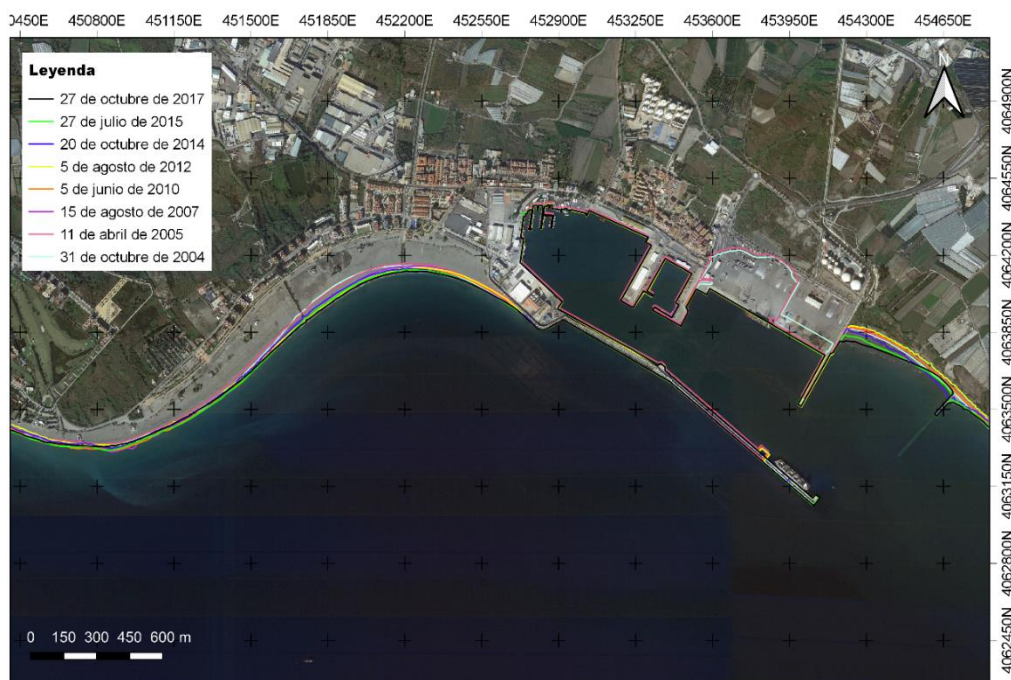
Fuente: Elaboración propia.



**Ilustración 19. Línea de costa del 31 de octubre de 2004 obtenida a partir de la digitalización de la imagen satelital de Google Earth para la zona de estudio.**

Fuente: Elaboración propia.





**Ilustración 20. Colección de líneas de costa obtenidas a partir de la digitalización de las imágenes satelitales de Google Earth para la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.**

De la misma forma que en el apartado anterior, para el análisis de los resultados se ha realizado una sectorización para las diferentes zonas que comprende el área de estudio, y teniendo en cuenta la misma sectorización que para el caso de los vuelos verticales (zonas 1, 2, 3 y 4, que aparecen definidas en la Ilustración 11) se procede a cuantificar el avance o retroceso de la línea de costa dentro que caractericen la evolución en cada una de las zonas anteriores.

Las magnitudes que definen la variación de la línea de costa quedan recogidas en la siguiente tabla, donde se ha tomado de referencia la situación más actual disponible, correspondiente con la línea de costa del 27 de octubre de 2017. Por un lado, los valores negativos (rojo) indican que existe un retroceso de la línea de costa en dicho punto (menor disposición de playa seca), y por otro lado, los valores positivos (verde), hacen referencia a un avance de la línea de costa (mayor disposición de playa seca).

**Tabla 4. Magnitudes correspondientes a la evolución histórica de la línea de costa del municipio de Motril. Análisis mediante imágenes satelitales de Google Earth.**

FECHA	TIEMPO TRANSCURRIDO	SECTOR	AVANCES/RETROCESOS RESPECTO A LA SITUACIÓN ACTUAL [m]
27 de octubre de 2017	Fecha de referencia	ZONA 1	0,0
		ZONA 2	0,0

FECHA	TIEMPO TRANSCURRIDO	SECTOR	AVANCES/RETROCESOS RESPECTO A LA SITUACIÓN ACTUAL [m]
		ZONA 3	0,0
		ZONA 4	0,0
27 de julio de 2015	2 años y 3 meses	ZONA 1	+8,8
		ZONA 2	-9,0
		ZONA 3	-3,1
		ZONA 4	-8,6
20 de octubre de 2014	3 años	ZONA 1	-2,1
		ZONA 2	-18,7
		ZONA 3	-4,4
		ZONA 4	-24,8
5 de agosto de 2012	5 años y 2 meses	ZONA 1	-6,8
		ZONA 2	-7,9
		ZONA 3	-20,4
		ZONA 4	-58,6
5 de junio de 2010	7 años y 4 meses	ZONA 1	-2,3
		ZONA 2	-6,3
		ZONA 3	-14,6
		ZONA 4	-50,8
15 de agosto de 2007	10 años y 2 meses	ZONA 1	+4,5
		ZONA 2	-19,7
		ZONA 3	-18,8
		ZONA 4	-50,4
11 de abril de 2005	12 años y 6 meses	ZONA 1	-20,0
		ZONA 2	-43,7
		ZONA 3	-26,4
		ZONA 4	-49,2
31 de octubre de 2004	13 años	ZONA 1	-3,2
		ZONA 2	-50,4
		ZONA 3	-13,5
		ZONA 4	-41,6

Fuente: elaboración propia, 2019.

Para finalizar, se han calculado los valores medios para cada una de las zonas, de manera que se muestra un único valor orientativo en función de los resultados obtenidos en todos los casos analizados.

**Tabla 5. Magnitudes medias correspondientes a la evolución histórica de la línea de costa del municipio de Motril. Análisis mediante imágenes satelitales de Google Earth.**

SECTOR	VALORES MEDIOS DE AVANCES/RETROCESOS RESPECTO A LA SITUACIÓN ACTUAL [m]
ZONA 1	-3,0
ZONA 2	-22,2
ZONA 3	-14,5
ZONA 4	-40,6

Fuente: elaboración propia, 2019.

#### 1.1.1.3 Conclusiones

En base a este documento, cabe esperar obtener en rasgos generales la tendencia y la evolución de la línea de costa del municipio de Motril, en particular de las playas de Poniente, El cable y Las Azucenas, situadas en las proximidades del Puerto de Motril, ya que no se dispone de la fecha exacta de muchas ortofotos (y de la hora del día) para poder determinar las condiciones de marea que se daban en el momento de cada imagen.

En primer lugar, en el caso del análisis de la evolución histórica de la línea de costa del tramo de costa comprendido entre la Playa de Poniente y la Playa de las Azucenas mediante imágenes obtenidas a partir de vuelos del IGN (desde el año 1956 al año 2016; ésta última corresponde con el vuelo más reciente disponible, y es la que se ha tomado como referencia para los cálculos), los resultados indican que se ha producido un avance de la línea de costa en toda la zona de estudio, dado que se han obtenido valores medios negativos (todos ellos por encima de los 30 metros) en las cuatro zonas analizadas. En este caso, por tanto, se puede concluir que la costa estaba mucho más retrasada que en la actualidad.

En segundo lugar, en el caso del análisis de la evolución histórica de la línea de costa de ese mismo área mediante imágenes satelitales de Google Earth (desde el año 2004 al año 2017; ésta última corresponde con la imagen satelital más reciente disponible, y es la que se ha tomado como referencia para los cálculos), los resultados indican que se ha producido un avance de la línea de costa en las cuatro zonas analizadas, ya que al haberse obtenido en dichas zonas valores medios negativos significa que la línea de costa estaba más retrocedida que en la actualidad. Cabe destacar que, en este caso, las magnitudes obtenidas son menores de 30 metros en tres de las cuatro zonas analizadas. La zona 4, que corresponde a la Playa de las Azucenas tiene una magnitud similar a los valores resultantes del caso anterior en toda la zona de estudio.

En definitiva, los resultados a grandes rasgos indican que en 1956 se disponía de un área de playa seca mucho menor a la que hay disponible actualmente.

En el caso de las playas de Poniente y El Cable, cabe destacar que en 1956 ambas playas tenían una anchura prácticamente constante en toda su longitud. Sin embargo, esa anchura se ha visto afectada con la realización de las nuevas actuaciones en el Puerto de Motril y alrededores, de manera que se ha aumentado considerablemente la superficie de playa seca disponible, especialmente en la zona media de dicho tramo, consecuencia del basculamiento sufrido hacia el este con apoyo en el propio puerto de la gran playa que forman ambas playas. Además, en el extremo sur de la Playa de Poniente se aprecia que la línea de costa ha sufrido avances pequeños en comparación con los que han tenido lugar en el resto de la playa.

En el caso de la Playa de las Azucenas, las nuevas actuaciones han originado que el tramo de costa inicialmente recto existente a esa distancia del antiguo puerto, adquiera hoy en día la misma orientación que la playa contigua al viejo puerto. Por tanto, la Playa de las Azucenas ha basculado ligeramente hacia el oeste con apoyo en el propio puerto. Sin embargo, hay que mencionar que a pesar de haberse obtenido un avance de la línea de costa en la zona 4, a medida que la línea de costa se aleja del puerto, ante la inexistencia de actuaciones, adquiere una tendencia recta, pero con un retroceso notable desde 1956 a 1973, manteniéndose en valores similares en años posteriores.

#### *1.1.2 Forma en planta de las playas de estudio para la alternativa Poniente 1*

En este apartado se determina la nueva forma en planta de las playas colindantes al Puerto de Motril para la alternativa seleccionada, que corresponde con la Alternativa 3. Para ello, se ha aplicado el Módulo de Modelado del Terreno (MMT) del Sistema de Modelado Costero (SMC), desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, que permite generar playas en equilibrio sobre una batimetría base.

La nueva configuración del PDI de Motril va a modificar la forma en planta de las playas colindantes, principalmente la de la Playa de las Azucenas y la Playa del Cable, debido a que se producen nuevos puntos de difracción.

Para la determinación de la nueva forma en planta de una playa resulta necesario conocer la dirección del flujo medio de energía (dirección del frente de oleaje) en dicha playa en las proximidades del punto de difracción.

En este caso, el flujo medio de energía se ha estimado mediante la aplicación del módulo Odín del SMC, y los valores de flujo medio de energía obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Playa	Dirección del flujo medio	
Las Azucenas	185,5 °	S6W
Las Azucenas (este)	198,4 °	S18W
El Cable	212,8 °	S33W



EL MMT presenta cuatro opciones de forma en planta en equilibrio. En este caso, se ha aplicado el modelo parabólico de Hsu y Evans (1989), tomando como puntos de control de las playas los nuevos puntos de difracción y eligiendo libremente el punto de inicio de estas, tomando como referencia la línea de costa actual.

La siguiente imagen presenta las nuevas formas en planta de las playas de la zona de estudio obtenidas según lo descrito anteriormente. La imagen de fondo corresponde con la imagen satelital más actual disponible en el programa Google Earth, y sobre ella se ha plasmado la nueva configuración.



**Ilustración 21. Forma en planta de las playas de la zona de estudio para la alternativa seleccionada.**

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la Playa del Cable sufre una ligera variación de su forma en planta en su afán de apoyarse sobre el nuevo muro y colocarse perpendicular al frente de oleaje, aunque lo más destacable es el basculamiento hacia el sur que sufre la nueva línea de costa de la Playa de Las Azucenas con apoyo en el dique del puerto que actúa como muro de contención. En esta playa aumentará significativamente la superficie de playa seca disponible.

## 1.2 CALIDAD DE AGUA EN LAS DÁRSENAS

El presente estudio tiene como finalidad analizar la calidad de agua en las dársenas del recinto portuario de Motril, tanto para la situación actual (Alternativa 0) como para la alternativa seleccionada (Alternativa 3) para el PDI del Puerto de Motril. Para ello, se ha tomado como referencia la metodología propuesta en la ROM 5.1-05 para evaluar la calidad de las aguas costeras en ambientes portuarios.

### 1.2.1 Metodología

#### 1.2.1.1 Planteamiento del problema

La calidad de las aguas en recintos portuarios se lleva a cabo mediante la realización de un estudio de renovación de las aguas en las dársenas interiores, con el fin de garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos en la Directiva Marco del Agua (DMA), los cuales fueron aplicados y materializados en el año 2013 por Puertos del Estado en la publicación de la ROM 5.1-13, de calidad de las aguas litorales en áreas portuarias (ROM 5.1 para futuras referencias en este documento), la cual sustituye a la ROM 5.1-05, publicada en 2005.

En dicho texto, uno de los parámetros propuestos para medir la calidad de aguas en zonas que se caracterizan por una capacidad limitada de intercambio de aguas, como son los puertos, es la estimación del tiempo de renovación de la masa de agua en dársenas.

La DMA, marca como objetivo, por un lado el conseguir la mejora de la calidad de las aguas superficiales en toda la UE, estableciendo criterios objetivos y a priori bastantes restrictivos para, en paralelo, evitar cualquier deterioro en relación con la situación presente. Como consecuencia de ello, cualquier actuación que pueda tener incidencia sobre los medios acuáticos terrestres o marinos debe garantizar en cualquier caso la conservación del buen estado ecológico de la masa de agua en que se ubique.

En el desarrollo de este estudio se ha aplicado la metodología propuesta por la ROM 5.1 para el estudio de los tiempos de renovación en las dársenas interiores del Puerto de Motril en la situación actual y en la situación futura. De este modo se pretende analizar de manera objetiva la potencial incidencia de la futura configuración del puerto sobre la calidad de las aguas.

Según diferentes autores (*Rasmussen y Josefson*, 2002; *Wang y otros*, 2004), el tiempo de renovación de un sistema acuático concreto se define como el tiempo medio en que el volumen de agua contenido en ese espacio permanece en el sistema antes de abandonarlo definitivamente.

Para el cálculo del tiempo de renovación *Wang y otros* (2004) introducen en la zona de estudio un trazador conservativo uniformemente distribuido y estudian su transporte en el tiempo a partir de la utilización de modelos numéricos, herramientas matemáticas que permiten el estudio de los procesos que se llevan a cabo en el medio acuático de una forma teórica.

Este procedimiento parte de la suposición de que si toda el agua existente en un sistema es de algún modo marcada en un instante determinado, se pondrá de manifiesto como parte de ella sale del sistema inmediatamente, mientras que otra parte permanecerá durante más tiempo.

Este fenómeno es debido a que el tiempo de renovación depende, principalmente, de la hidrodinámica, de las descargas debidas a aportaciones fluviales y en menor medida de la circulación inducida por la densidad.

El transporte de masa es el resultado de la acción conjunta de tres procesos físicos diferenciados: advección, difusión y reacción. Por una parte, la advección es el transporte de la sustancia debido a la propia velocidad de desplazamiento del fluido, en el que se halla inmersa, por efecto de las corrientes hidrodinámicas. La dispersión o difusión turbulenta es el fenómeno físico por el que se establece un flujo másico de sustancia entre dos zonas próximas provocado por la existencia en ambas de diferentes niveles de concentración de esa sustancia (García, 2004). Por último, la reacción puede modificar los niveles de concentración de esa sustancia fruto de una transformación química, aunque en este caso no tiene lugar debido a que la sustancia es un trazador conservativo pasivo.

En la ROM 5.1 se adopta la metodología descrita por Wang y otros (2004) utilizando los valores medios de los agentes forzadores más significativos: la marea y el viento. Al aplicarse el modelado a un escenario particular, a todos los segmentos dentro de éste se les confiere una concentración uniforme de trazador conservativo en un instante en el cual el volumen de dicha masa es máximo.

Mientras el modelo procesa, la concentración del trazador disminuye gradualmente bajo la influencia de las fuerzas físicas. La distribución espacial del trazador restante en la masa de agua objeto de estudio se utiliza para calcular la masa residual del trazador en un tiempo determinado.

Teóricamente, el modelado podría realizarse hasta que la masa residual de trazador conservativo alcanzara el valor cero. Alcanzar la concentración requiere un tiempo infinito y por ello, de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de test de sensibilidad, Wang y otros (2004) establecen como umbral para zonas de estuario el valor 0.1 % de masa residual.

Por lo tanto, la ROM 5.1, define el tiempo de renovación como el tiempo requerido para que la masa residual de un trazador conservativo introducido hipotéticamente en la unidad de gestión se reduzca a un **37%**. Si **el tiempo de renovación calculado es menor a siete días**, que la zona estudiada presenta una **renovación alta**. En caso contrario, si **el tiempo de renovación calculado es mayor o igual a siete días**, se asumirá que la capacidad de **renovación es baja**.

Además, se hace necesario abordar el establecimiento de un criterio que precise la valoración de este descriptor. En la ROM 5.1 se ha considerado que siete días es un tiempo aceptable para que una masa de agua modificada (definida en la DMA como masa de agua superficial que ha experimentado un cambio sustancial en su naturaleza como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana) renueve su volumen. Por este motivo, se lleva a cabo la ejecución del modelo numérico de transporte durante una semana, calculándose la masa residual del trazador conservativo.

Dada la imposibilidad de poder realizar simulaciones de duraciones extensas debido a la ineficiencia computacional de las mismas, la ROM 5.1 establece que, a partir de la masa residual al cabo de 7 días, se estime mediante una función exponencial.



### 1.2.1.2 Procedimiento

El procedimiento consiste en simular la introducción de una determinada concentración de trazador conservativo homogéneamente distribuido en toda la masa. Mientras el modelo procesa, la cantidad de trazador conservativo en la masa de agua decrece gradualmente debido a la influencia de los diferentes procesos físicos que permiten su dispersión.

Siguiendo las pautas desarrolladas en la ROM 5.1, el tiempo de renovación se estima considerando un régimen medio anual de viento y una onda media de marea, iniciando la simulación cuando el volumen es máximo, es decir, en pleamar.

Además, en el caso que existieran aportaciones fluviales (no ocurre en el caso que se está analizando) debe tenerse en cuenta un caudal medio (Gómez *et al.*, 2006). Estas condiciones hidrodinámicas se establecen con el fin de normalizar y estandarizar la metodología y obtener un valor de tiempo de renovación para unas condiciones medias.

A partir del cálculo del tiempo de renovación, las masas de agua pueden clasificarse en dos tipos: masas de agua con renovación aceptable, cuyo tiempo de renovación es inferior a siete días; y masas de agua con renovación baja, en caso contrario.

Para la realización del trabajo, en primer lugar, se calculan las corrientes marinas en la franja costera próxima a la zona de estudio debidas a la acción de la marea astronómica y el viento. Como resultado de la simulación del modelo hidrodinámico H2D se obtienen los caudales de entrada en las distintas dársenas interiores del recinto portuario, que serán el punto de partida para la simulación de la capacidad de renovación de las aguas en las mismas. A partir de los caudales obtenidos en el modelo H2D, se realiza un estudio hidrodinámico de las diferentes dársenas del puerto con el modelo IBER.

De esta forma, la obtención de la capacidad de renovación de las aguas en el recinto portuario de Motril se ha realizado en tres fases:

- Primera Fase: Caracterización de los casos de estudio, en función de las condiciones típicas de viento y marea astronómica presentes en la zona de estudio.
- Segunda Fase: Estudio de la hidrodinámica de la zona de estudio. Obtención de los caudales de entrada en las distintas dársenas interiores en que se divide el recinto portuario correspondiente, diferenciando entre situación actual y futura. Para ello, se ha utilizado el modelo numérico H2D desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.
- Tercera Fase: Estudio de la capacidad de renovación de las aguas en las dársenas interiores del recinto portuario. Obtención de la concentración de trazador conservativo residual después de una semana de simulación en cada una de las dársenas interiores que conforman el recinto portuario, tanto para la configuración actual como para la situación futura. Para ello, se ha utilizado el modelo matemático bidimensional IBER, desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio

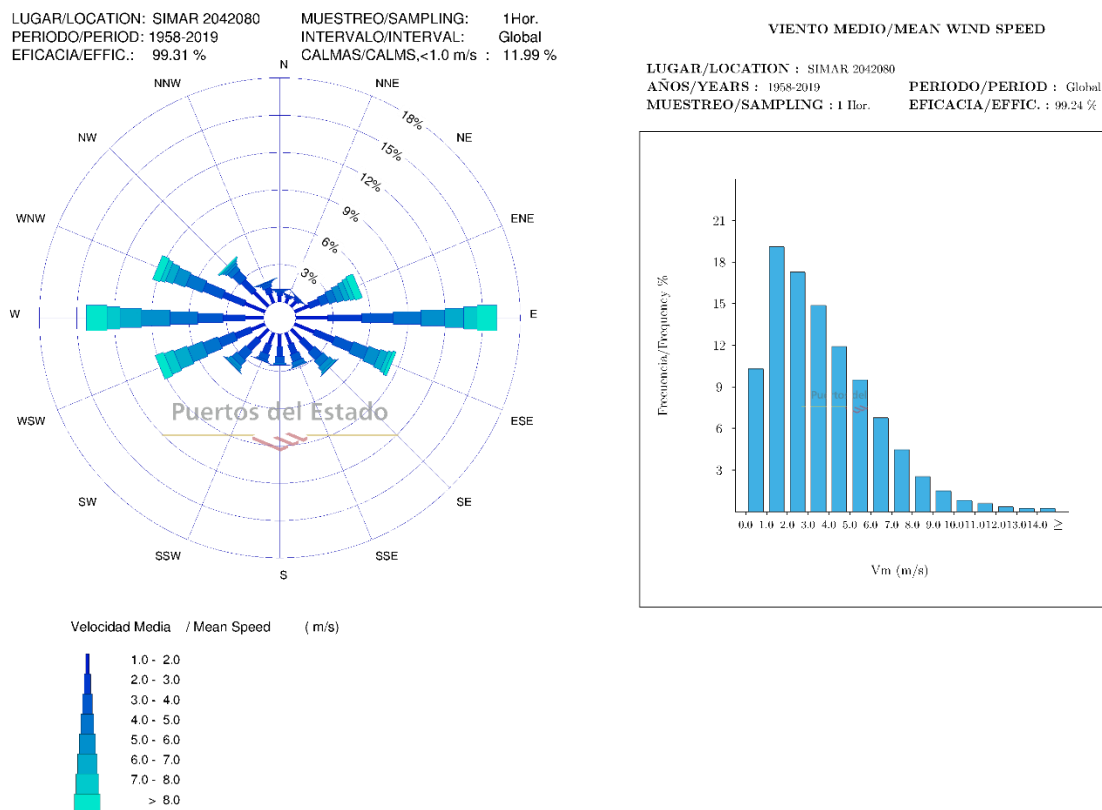
Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (formado por la Universitat Politècnica de Catalunya y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE). El procedimiento seguido se detalla posteriormente.

#### 1.2.1.2.1 Fase 1: Caracterización de los casos de estudio

La hidrodinámica del Puerto de Motril viene condicionada por la acción combinada de una marea astronómica semidiurna y un régimen de viento con una dirección reinante del este. Para la realización de este estudio, se han considerado ambos efectos.

La onda de marea utilizada para la simulación es de tipo reflejante, con una amplitud de 0,6 m, un periodo de 12 horas y una fase de 270 °(pleamar).

La caracterización del régimen de vientos se ha realizado a partir de los datos recogidos en el nodo SIMAR-44 2042080 para la serie temporal disponible en la página web de Puertos del Estado que abarca el periodo comprendido entre enero de 1958 y octubre de 2019.



**Ilustración 22. Rosa e hidrograma de velocidad media del viento (m/s) obtenida a partir del nodo SIMAR-44 2042080.**

Fuente: Puertos del Estado.

De acuerdo con las gráficas anteriores, se han considerado como intensidades de viento representativas de la zona de estudio las magnitudes de 4 m/s y 14 m/s. Dichas velocidades se

han simulado en H2D para la dirección más probable correspondiente con el E y que, además, debido a la configuración de la bocana de entrada al puerto, será la condición más favorable para la renovación de las aguas en la dársenas interiores.

De acuerdo con todo lo anterior, los casos a estudiar se presentan en la tabla siguiente:

**Tabla 6. Caracterización de los casos de estudio.**

Situación	Id Caso	Viento	Marea
<b>Actual</b>	1	4,0 m/s E	<b>MA</b> 0,6 m 12 hrs 270°
	2	14,0 m/s E	<b>MA</b> 0,6 m 12 hrs 270°
<b>Futura</b>	1	4,0 m/s E	<b>MA</b> 0,6 m 12 hrs 270°
	2	14,0 m/s E	<b>MA</b> 0,6 m 12 hrs 270°

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.2.1.2.2 Fase 2: Estudio de la hidrodinámica. Obtención de los caudales de entrada en las dársenas interiores. Aplicación del modelo numérico H2D

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, la hidrodinámica del Puerto de Motril viene condicionada por la acción combinada de una marea astronómica semidiurna y un régimen de viento con una dirección reinante del este.

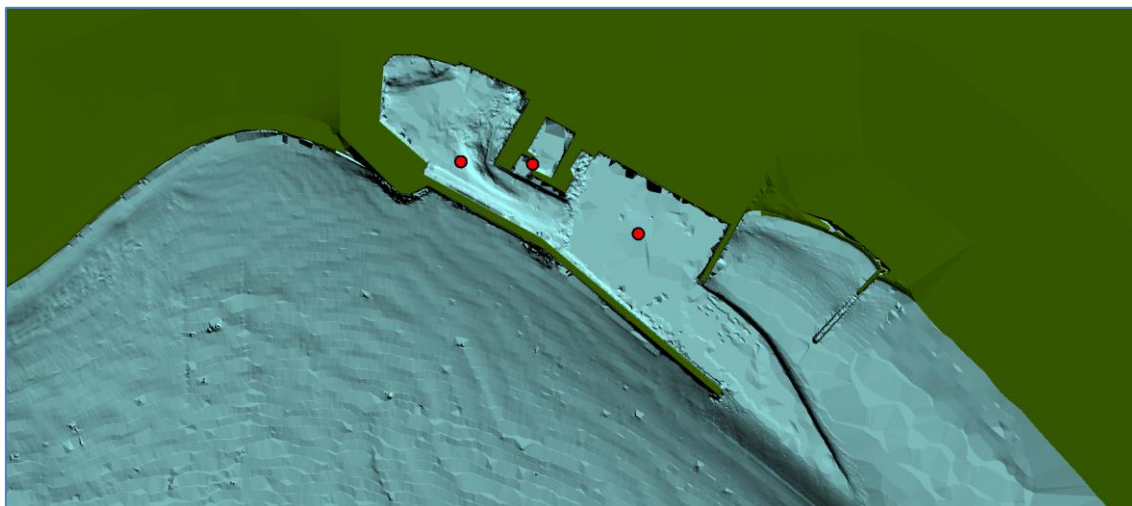
Para la simulación en el modelo H2D se ha considerado que la onda de marea entra por los contornos este, sur y oeste. La simulación se ha realizado para un período de tiempo total de 8 días de duración, con un paso de tiempo de 10 segundos, considerando la hora inicial como el tiempo de calentamiento del modelo, con el objetivo de obtener magnitudes de velocidad y caudal más fiables a partir de la segunda hora de simulación, para su posterior uso en el modelo IBER como inputs. De la aplicación del modelo bidimensional H2D en la zona de estudio se obtienen los campos vectoriales de corriente y escalares de niveles de superficie para la acción combinada onda de marea-viento, así como las velocidades y caudales en las direcciones x e y en los puntos de control que se definan previamente a la simulación del modelo.

Cabe mencionar que las mallas que se han utilizado son distintas para la configuración actual y la configuración futura, debido a que varía su batimetría. Y lo mismo ocurre con los puntos de control de salida de resultados en el modelo, pues las dársenas interiores no coinciden entre ambas situaciones. Todo ello se analiza a continuación.

#### Situación actual

En el caso de la situación actual, la configuración del recinto portuario y los puntos de control en los que se han obtenido los caudales de entrada en las dársenas interiores se presentan en la siguiente imagen.

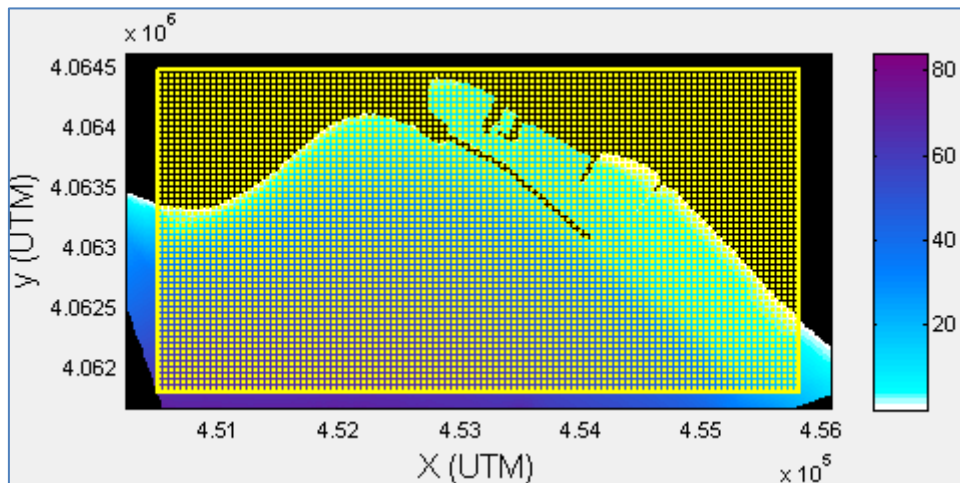




**Ilustración 23. Distribución de los puntos de control en la entrada de las dársenas de estudio**

Fuente: Elaboración a partir de la batimetría actual

En cuanto a las mallas de cálculo, cabe destacar que en la situación actual la malla utilizada es la misma para los casos 1 y 2 definidos anteriormente en la Tabla 6. Por tanto, la batimetría utilizada en el modelo se obtiene a partir de una malla de 214x108 celdas de 25 metros de lado, cubriendo toda la superficie colindante al Puerto de Motril, tal como se muestra en la Ilustración 23.

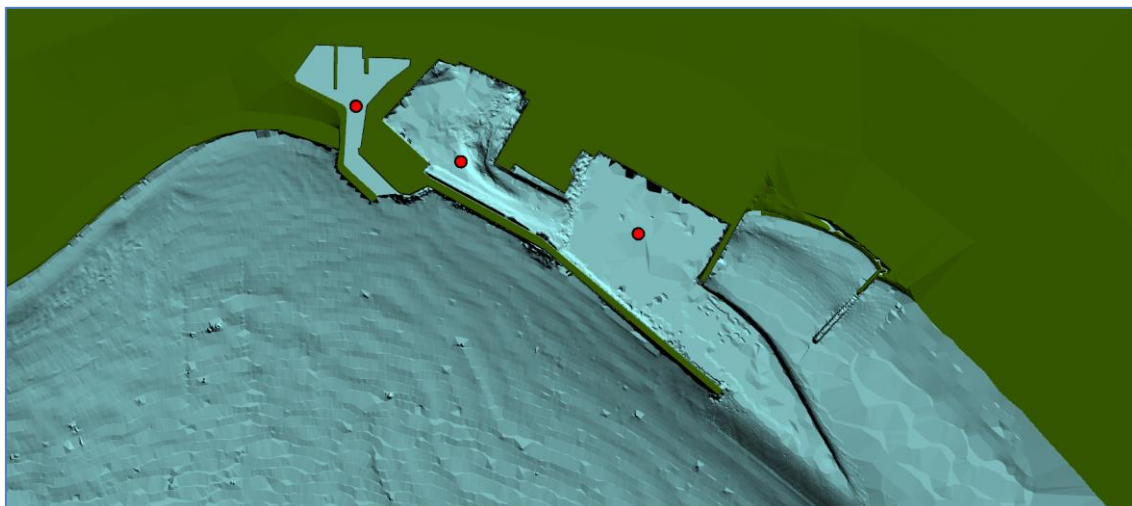


**Ilustración 24. Malla de la zona de estudio para la situación actual casos 1 y 2**

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo H2D

### Situación futura

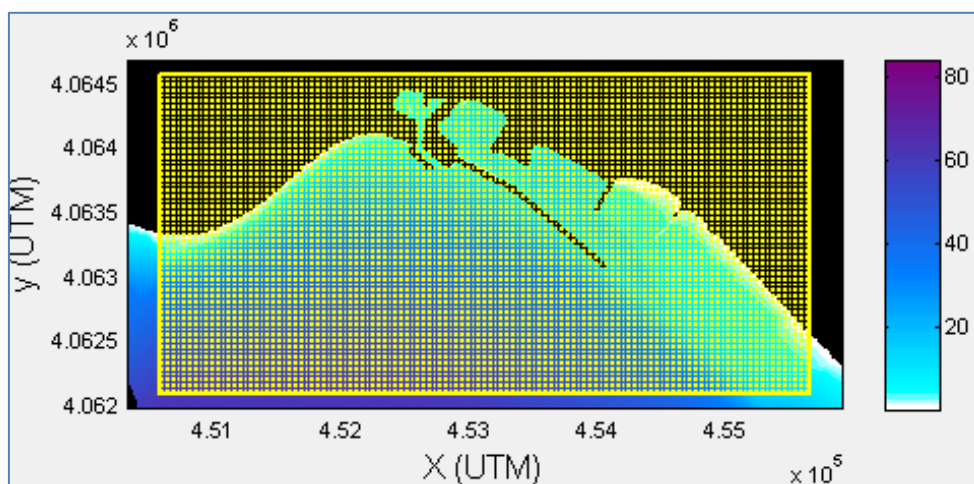
En el caso de la situación futura, la configuración del recinto portuario y los puntos de control en los que se han obtenido los caudales de entrada en las dársenas interiores se presentan en la siguiente imagen.



**Ilustración 25. Distribución de los puntos de control en la entrada de las dársenas de estudio**

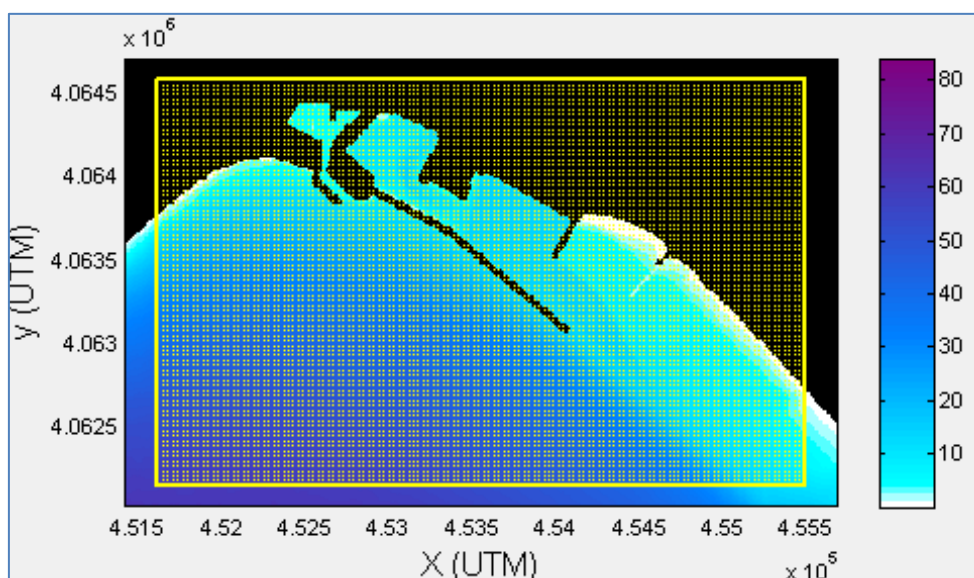
Fuente: Elaboración a partir de la batimetría de la alternativa seleccionada.

En cuanto a las mallas de cálculo, cabe destacar que en la situación futura las mallas utilizadas son distintas para los casos 1 y 2 definidos anteriormente en la Tabla 6. Por tanto, la batimetría utilizada en el modelo se obtiene a partir de una malla de 204x100 celdas de 25 metros de lado, cubriendo toda la superficie colindante al Puerto de Motril para el caso 1, y a partir de una malla de 130x82 celdas de 30 metros de lado, cubriendo toda la superficie colindante al Puerto de Motril para el caso 2, tal como se muestra en la Ilustración 24 e Ilustración 25, respectivamente.



**Ilustración 26. Malla de la zona de estudio para la situación final caso 1**

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo H2D



**Ilustración 27. Malla de la zona de estudio para la situación final caso 2**

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo H2D

**1.2.1.2.3 Fase 3: Estudio de la capacidad de renovación de las aguas en las dársenas interiores del recinto portuario. Obtención de la concentración de trazador conservativo residual. Aplicación del modelo numérico IBER**

El tiempo de renovación de las dársenas se calcula mediante un modelo 2D que promedia en profundidad. Para ello, se usa una ecuación de transporte por convección-difusión sin términos de reacción (ecuación de transporte conservativo). Por términos de reacción se entienden todos aquellos que modelan procesos que generan pérdidas o aumentos de masa de la sustancia considerada. Se considera que la masa de agua objeto se comporta como un tanque continuamente agitado.

La distribución espacial del trazador conservativo en el dominio permite calcular la masa residual del trazador conservativo en la masa de agua en un tiempo concreto.

De los trabajos desarrollados en la ROM 5.1 se desprende la conclusión que el método de cálculo es independiente de la concentración inicial de trazador conservativo introducida en la región objeto de estudio y dependiente del volumen de la masa de agua de la región objeto de estudio.

Las simulaciones realizadas se extienden a lo largo de 7 días, de tal forma que permite conocer la concentración al cabo de una semana y realizar una estimación del tiempo que tarda en renovarse la dársena. Es una simulación suficientemente larga para poder obtener una extrapolación para periodos sucesivos de los resultados, de tal forma que se obtenga de manera correcta el tiempo de renovación de la dársena.



### Situación actual

A priori, con la configuración actual del puerto, se puede suponer que la Dársena Interior y la Dársena Pesquera tendrán unos tiempos de renovación superiores a la Dársena de Azucenas. La primera se encuentra en la zona más abrigada del puerto, de tal forma que los efectos hidrodinámicos de las mareas y del viento son menores y, la segunda, debido a que los dos espigones que se sitúan en su entrada evitan una mayor agitación de las aguas. En el caso de la Dársena de Azucenas, se tiene que la entrada de esta es muy ancha, por lo que su comportamiento hidrodinámico, a priori, difiere en gran medida de las otras dos dársenas estudiadas.

Se delimitan las tres dársenas de estudio y se caracterizan por su batimetría y sus condiciones hidrodinámicas, de tal forma que se procede a la simulación de los distintos casos con las condiciones impuestas.

### Situación futura

En la configuración escogida en el Plan Director, se procede al rellenado de la dársena Pesquera y a la apertura de una nueva dársena deportiva y con usos pesqueros. A priori, es previsible pensar que en la dársena de Azucenas, los resultados sean parecidos, ya que no se producen cambios significativos en su área de influencia. La dársena Interior, modifica su geometría, de tal manera que su área se reduce y su forma geométrica cambia. El Nuevo Muelle Poniente se sitúa en una posición más perpendicular al flujo, lo que lleva a pensar que el comportamiento hidrodinámico cambia favoreciendo la renovación de la dársena. Por otro lado, a la nueva dársena deportiva se le supone una tasa de renovación mayor que al resto, ya que parte de su canal de entrada se sitúa perpendicular a la batimetría, por lo que es probable que los caudales en la entrada de la dársena sean mayores que los de las otras dársenas estudiadas.

## 1.2.2 Resultados

Una vez realizadas las simulaciones del comportamiento hidrodinámico de las distintas dársenas para los distintos casos, se obtienen las representaciones gráficas de la distribución del trazador en las distintas masas de agua y su evolución a lo largo del tiempo.

### 1.2.2.1 Situación actual

En la siguiente tabla se resumen los días que transcurren hasta que concentración del trazador es inferior al 37%:

**Tabla 7. Tiempos de renovación de las dársenas estudiadas**

BATIMETRÍA	CASO	DÁRSENA	TR (DÍAS)	% TR	% 7 DÍAS
ACTUAL	1	AZUCENAS	9	33.34%	42.38%
		PESQUERA	37	36.67%	80.53%

BATIMETRÍA	CASO	DÁRSENA	TR (DÍAS)	% TR	% 7 DÍAS
		INTERIOR	26	36.36%	71.62%
	2	AZUCENAS	25	36.61%	72.43%
		PESQUERA	30	36.25%	76.75%
		INTERIOR	20	36.78%	67.40%

Fuente: Elaboración a partir de los resultados obtenidos en IBER

Para cada caso y dársena se realiza una exposición de la evolución de la concentración del trazador, mostrando la distribución de éste en los días 3 y 7 de la simulación.

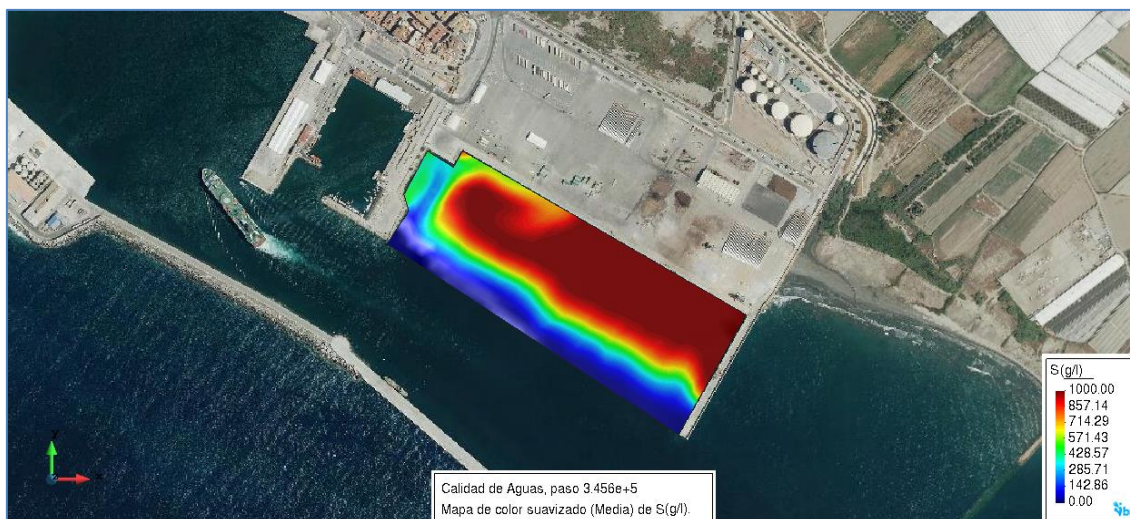
#### 1.2.2.1.1 Dársena Azucenas

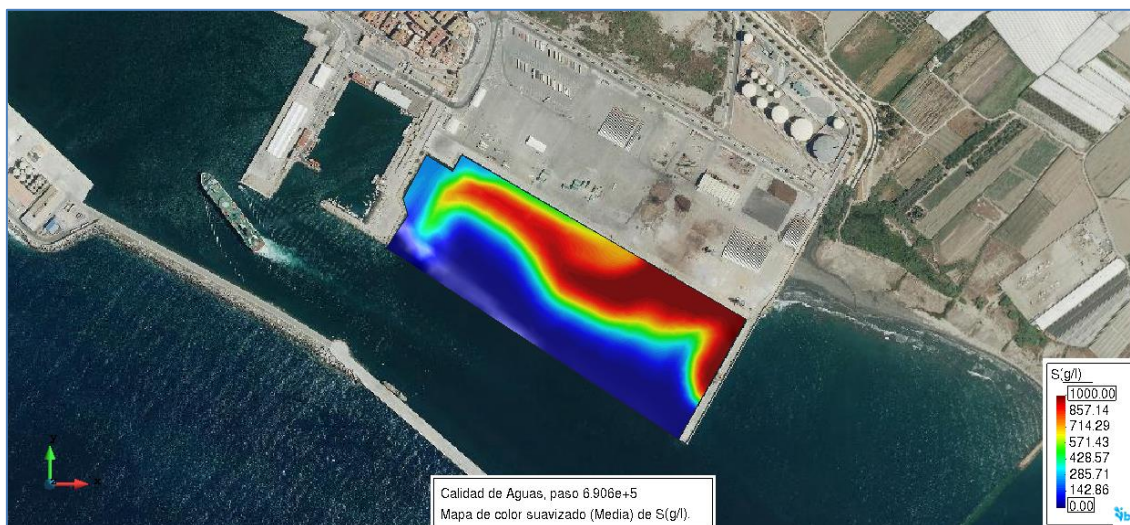
Como se ha indicado anteriormente, esta dársena es la que a priori debería tener un tiempo de renovación menor.

Tal y como se aprecia en la Tabla 7, la dársena Azucenas es la que tiene un menor tiempo de renovación, alcanzando una concentración de trazador de 33.34% en un tiempo de 9 días en el Caso 1 y una concentración de trazador del 36.61% en un tiempo de 25 días, en el Caso 2. Atendiendo a lo expuesto en la ROM 5.1-13, se tiene **capacidad de renovación baja** en ambos casos.

#### Caso 1

En la siguientes ilustraciones del Caso 1, se muestra como la concentración del trazador se acumula en las zonas más próximas al muelle Contradique.





**Ilustración 28. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 1**

Fuente: Postproceso IBER

A la vista de las ilustraciones, se aprecia como en las zonas con menor profundidad y la bocana de la dársena, las concentraciones son próximas a 0. Esto se debe a que los flujos en las zonas con menor profundidad tienen una mayor velocidad, por lo que transportan una mayor masa del trazador. En las zonas con mayor profundidad, la concentración es mayor, debido a que se produce una menor agitación del agua.

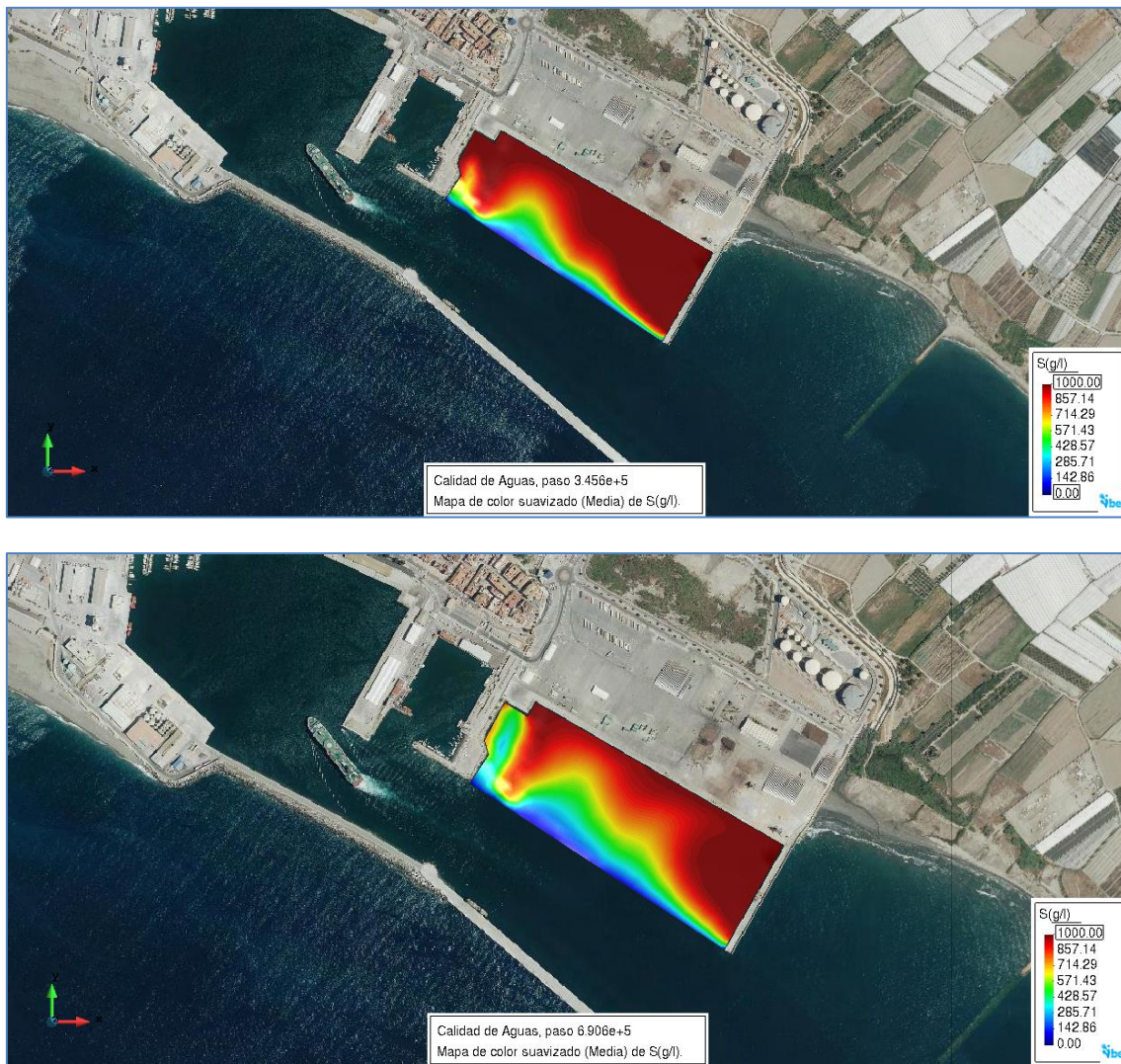
Debido al comportamiento hidrodinámico de la dársena y, a la dirección de los caudales obtenidos, la concentración es del 100% en la zona más próxima muelle Contradique.

Tal y como se muestra en el gráfico anterior, se puede comprobar que la concentración total del trazador va disminuyendo en cada ciclo de marea, teniendo concentraciones punta en las bajamares y los valores mínimos en las pleamares.

### Caso 2

En las siguientes ilustraciones, se muestra cómo evoluciona la concentración del trazador en el Caso 2.



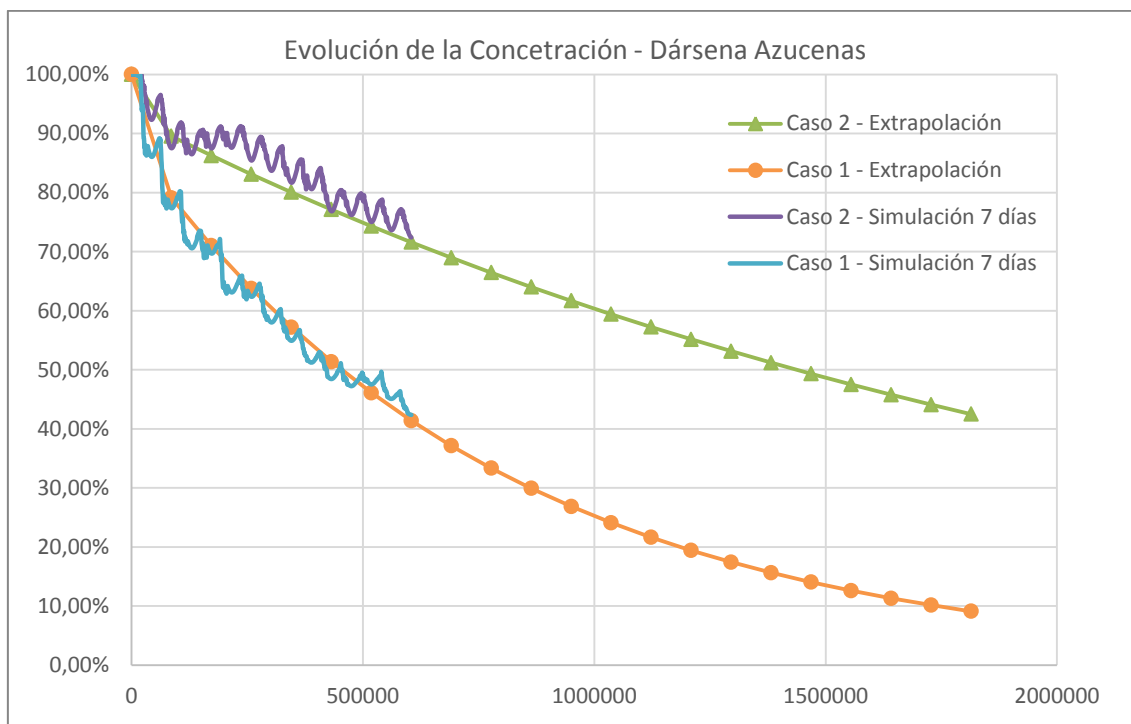


**Ilustración 29. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

En este caso, se aprecian diferencias en el comportamiento hidrodinámico de la dársena. La disminución de la concentración del trazador en la dársena es menor que en el Caso 1. Es apreciable que los caudales entrantes en la dársena no tienen la capacidad de mezcla suficiente para poder reducir la concentración en las zonas más próximas al Muelle Azucenas y al Muelle Contradique, donde ésta alcanza el 100% al final de la simulación.

En el Caso 2 se tiene una velocidad de viento mayor que en el Caso 1, lo que provoca que los flujos que entran en la dársena y se mezclan con la masa saturada tengan mayor dificultad para salir de la misma.



**Gráfico 1. Comparativa de los casos de la evolución de la concentración - Dársena Azucenas**

Fuente: Elaboración propia

Tal y como se muestra en el Gráfico 1, se aprecia que en el Caso 1, la línea de tendencia de la evolución de la concentración del trazador tiene mayor pendiente que la obtenida en el Caso 2, por lo que el tiempo que tarde la dársena en alcanzar una concentración inferior al 37% es menor en el Caso 1 que en el Caso 2.

Se puede comprobar que la concentración total del trazador va disminuyendo en cada ciclo de marea, teniendo concentraciones punta en las bajamares y los valores mínimos en las pleamares. En el Caso 1, hay mayor diferencia entre cada ciclo, sin embargo, en el Caso 2, las variaciones entre ciclos son menor, lo que hace que la concentración disminuya en menor medida.

Este gráfico pone de manifiesto el peculiar comportamiento de la dársena, que con una entrada tan extensa, no se produce un confinamiento de las corrientes de entrada, por lo que los ciclos de marea no son tan identificables como en otras dársenas.

#### 1.2.2.1.2 Dársena Pesquera

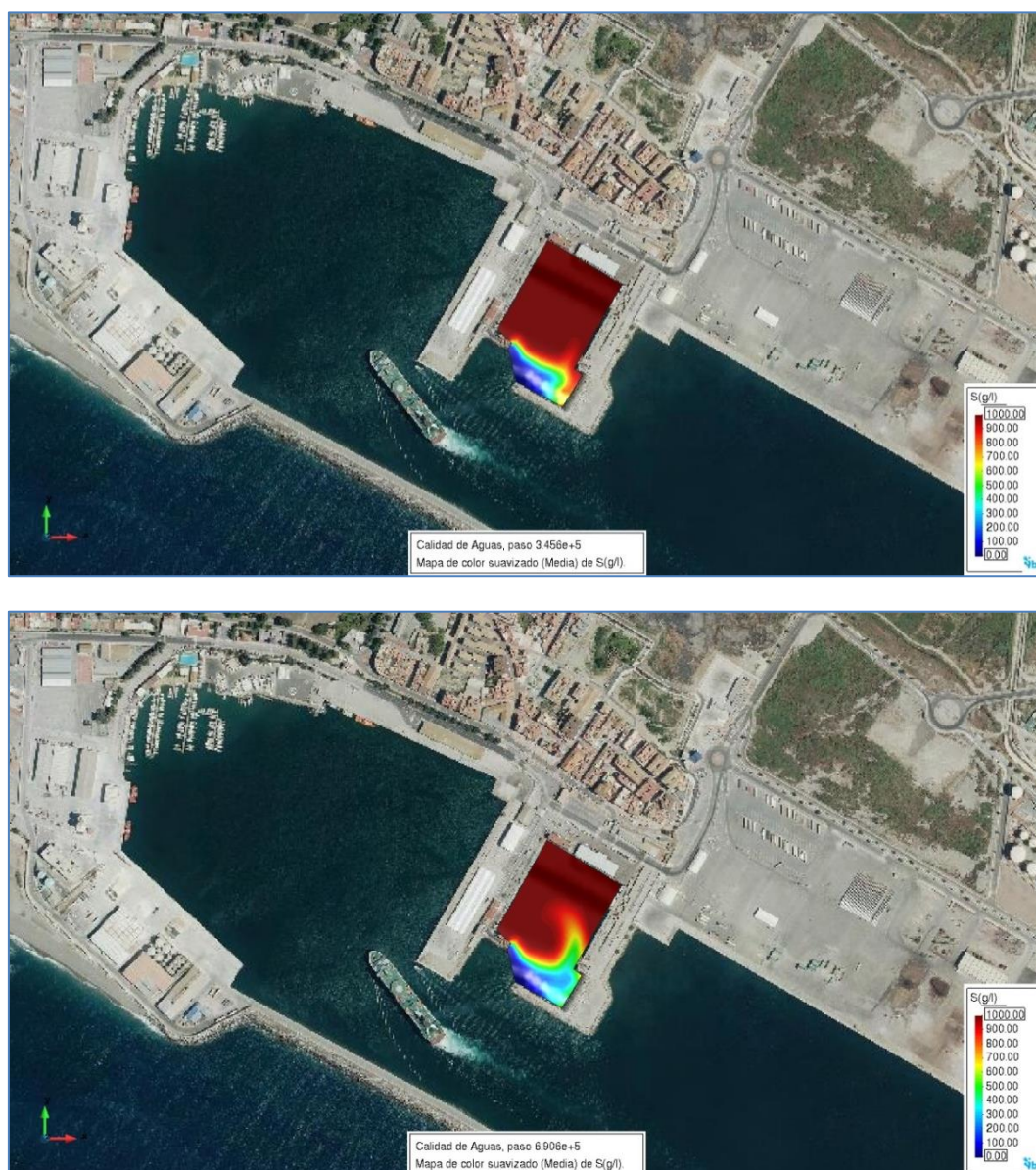
Esta dársena se encuentra muy abrigada por dos pequeños espigones en la entrada de esta, de tal forma, que la agitación de la masa de agua que se encuentra en su interior será menor a la esperada en otras dársenas más abiertas como la de Azucenas.



A la vista de los resultados recogidos en la Tabla 7, es la que tiene una mayor tiempo de renovación en ambos casos. En el Caso 1 se alcanza una concentración del 36.67% en 37 días y, en el Caso 2, una concentración del 36.25% en 30 días. Con estos resultados, se determina que **la capacidad de renovación de la dársena es baja.**

### Caso 1

En las siguientes ilustraciones se aprecia la dificultad que tienen los flujos entrantes en la dársena de disminuir la concentración del trazador dentro de la dársena. La zona más próxima al muelle pesquero, apenas sufre modificaciones en la concentración del trazador.



**Ilustración 30. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 1**  
Fuente: Postproceso IBER



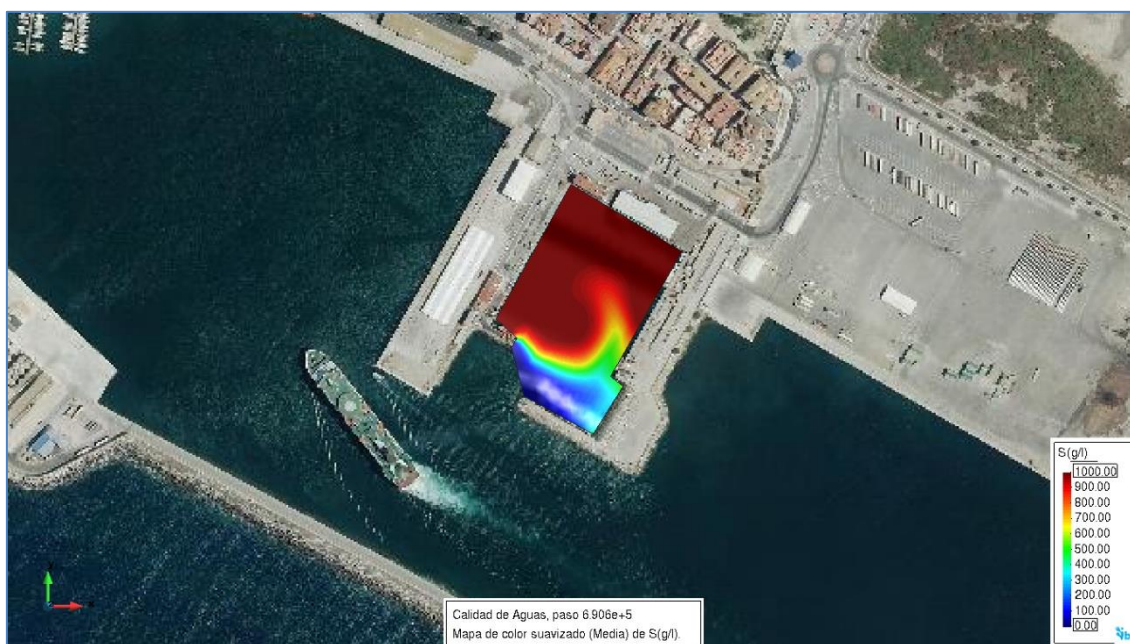
Observando las ilustraciones anteriores, se comprueba que la disminución de la concentración del trazador en el dársena se realiza de forma paulatina. Los espigones presentes en la entrada de la dársena condicionan los efectos hidrodinámicos de las mareas y del viento, provocando que las zonas más alejadas de la bocana y aquellas que se sitúan detrás del espigón Oeste, mantengan una concentración del 100% del trazador.

A la vista del gráfico anterior, la disminución de la concentración sigue un patrón similar con respecto a la dársena de las Azucenas, con la diferencia de que la línea de tendencia es más tendida, lo que hace que la disminución por cada ciclo de marea sea menor.

### Caso 2

En el Caso 2, las siguientes ilustraciones muestran un comportamiento hidrodinámico muy parecido al del Caso 1, en el que la mezcla del agua con concentración nula y el agua con concentración del 100% se produce en la entrada de la dársena.



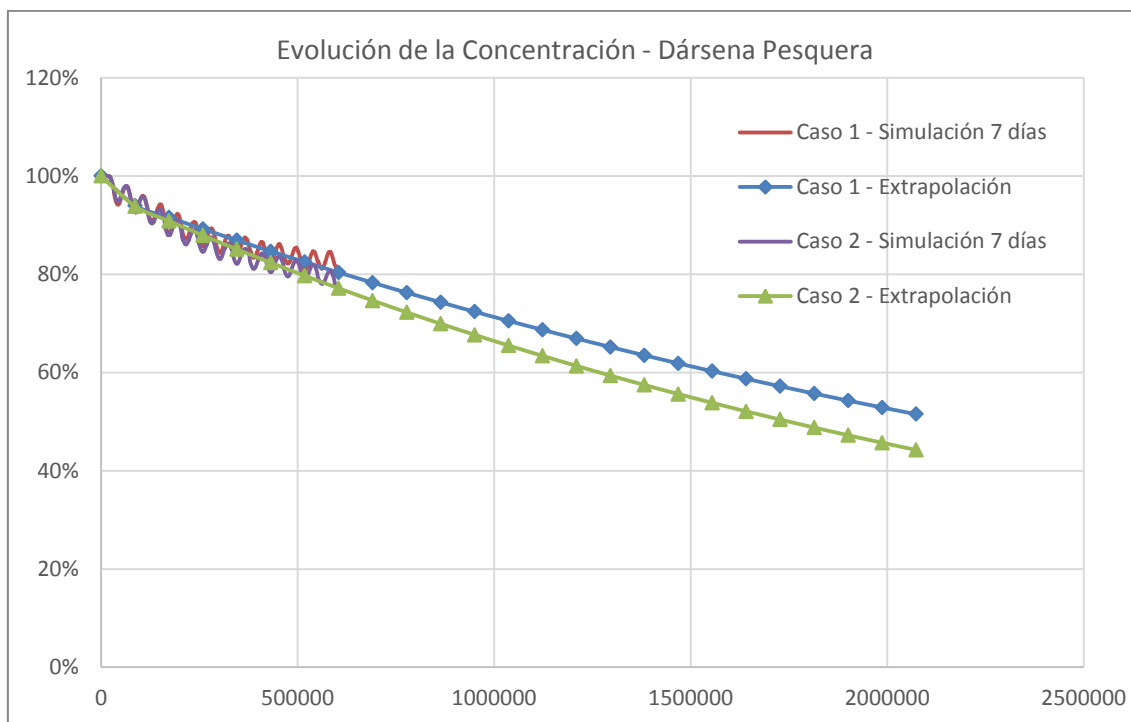


**Ilustración 31. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

La zona más próxima al espigón Oeste y al Muelle Pesquero, mantiene la concentración máxima al final de la simulación, mientras que en la bocana la concentración es prácticamente nula.

En esta dársena, la diferencia entre ambos casos es menor, ya que son las características hidrodinámicas las que más condicionan el comportamiento de la dársena.



**Gráfico 2. Comparativa de los casos de la evolución de la concentración - Dársena Pesquera**

Fuente: Elaboración propia

Observando el Gráfico 2, las simulaciones de ambos casos tienen una evolución muy parecida, en la que en los primeros ciclos de marea las concentraciones son prácticamente iguales. En el Caso 2, la influencia del viento provoca que la reducción de la masa del trazador aumente en conforme avanza el tiempo, sin obtener mejoras significativas. Ante estos dos escenarios, se determina que la dársena tiene una capacidad de renovación baja, influida especialmente por los espigones situados en la entrada de esta.

#### 1.2.2.1.3 Dársena Interior

La Dársena Interior es la que tiene una mayor superficie de lámina de agua. Según se muestra en la Tabla 7, se alcanza una concentración del 9.87% en un tiempo de 60 días para el Caso 1 y en el Caso 2, se alcanza una concentración del 9.68% en 47 días. En ambos casos, el tiempo de renovación de la dársena es bajo.

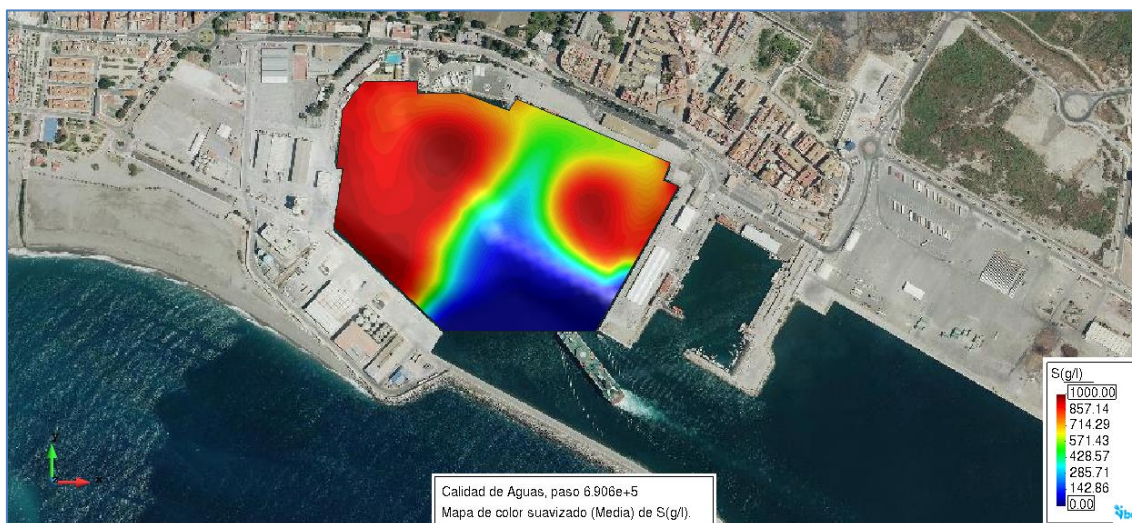
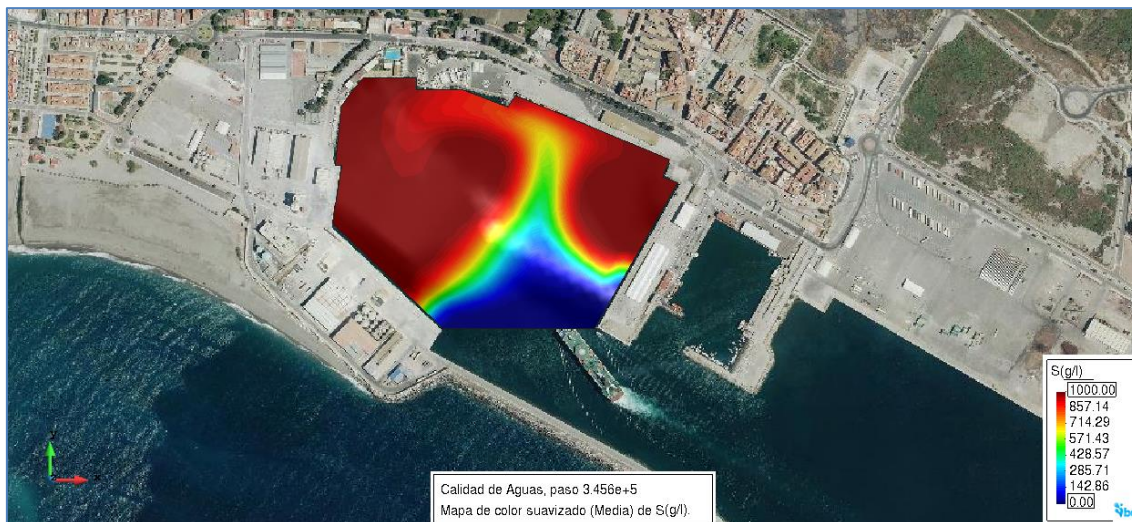
Dado que esta dársena se sitúa al final del canal de entrada del puerto, cabe esperar que los flujos entrantes en la bocana principal y, alcancen la entrada de la dársena, no sufran grandes perturbaciones debido a que no hay obstáculos, como puede ocurrir en la Dársena Pesquera.

Para el Caso 1, se alcanza una concentración del 36.36% en un tiempo de 26 días, mientras que en el Caso 2, se estima una concentración del 36.78% en un tiempo de 20 días. En ambos casos, la **capacidad de renovación es baja**.



### Caso 1

En las siguientes ilustraciones se muestra la evolución de la concentración del trazador en la dársena para el Caso 1. Ante los caudales producidos por los agentes hidrodinámicos, la dársena se comporta de tal manera que las zonas más próximas al Muelle de Graneles y al Muelle Poniente, mantienen una concentración alta a lo largo de la simulación.



**Ilustración 32. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 1**

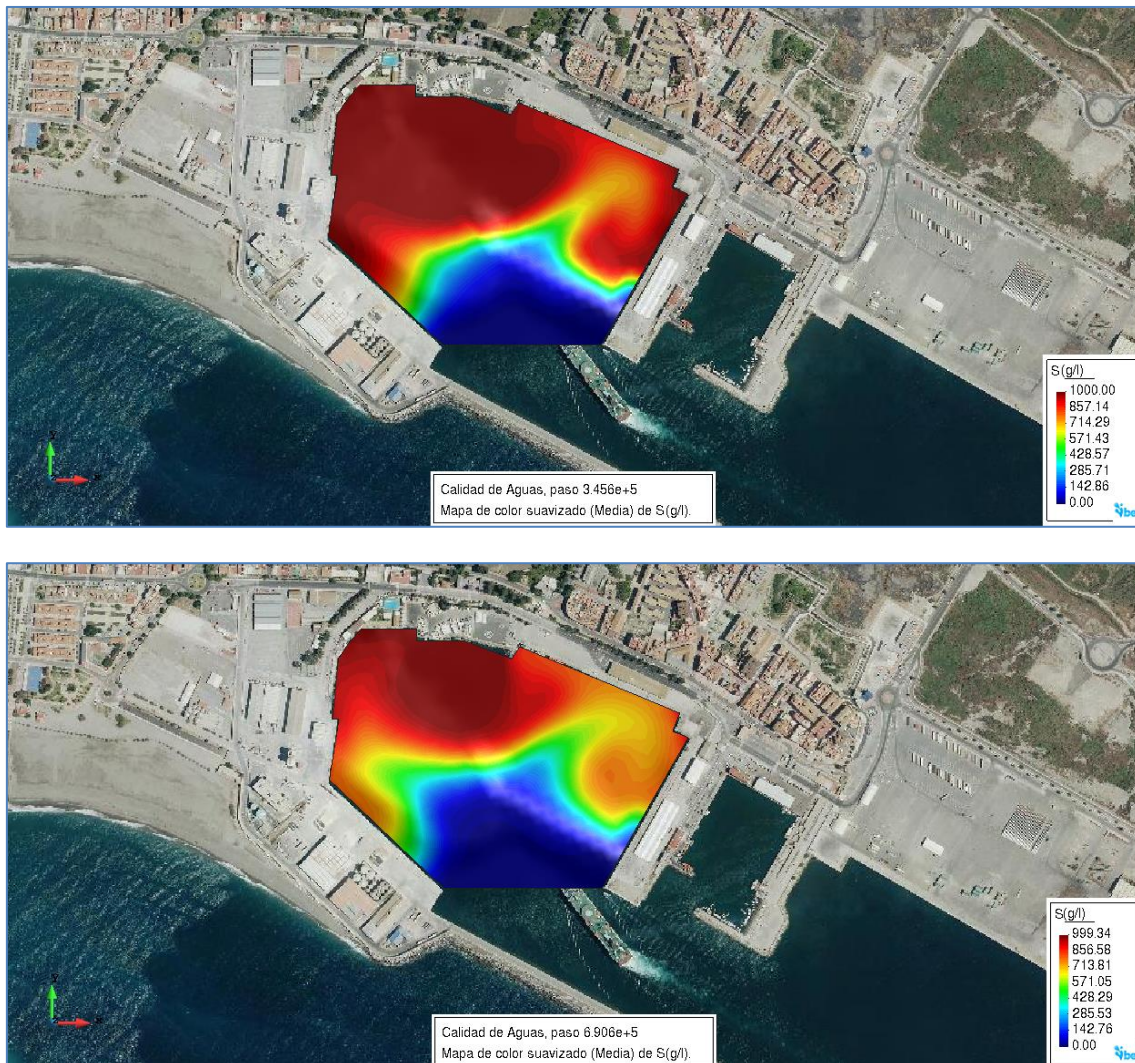
Fuente: Postproceso IBER

Atendiendo a la Ilustración 32, se aprecia que la zona central de la dársena tiene una renovación muy alta, produciéndose una serie de recirculaciones en las zonas más próximas a los muelles. En la entrada de la dársena, las zonas más próximas a los muelles, la velocidad del flujo disminuye conforme se introduce en ella. Con una velocidad de viento no muy alta, su influencia se reduce en gran medida, siendo predominantes los ciclos de marea.



## Caso 2

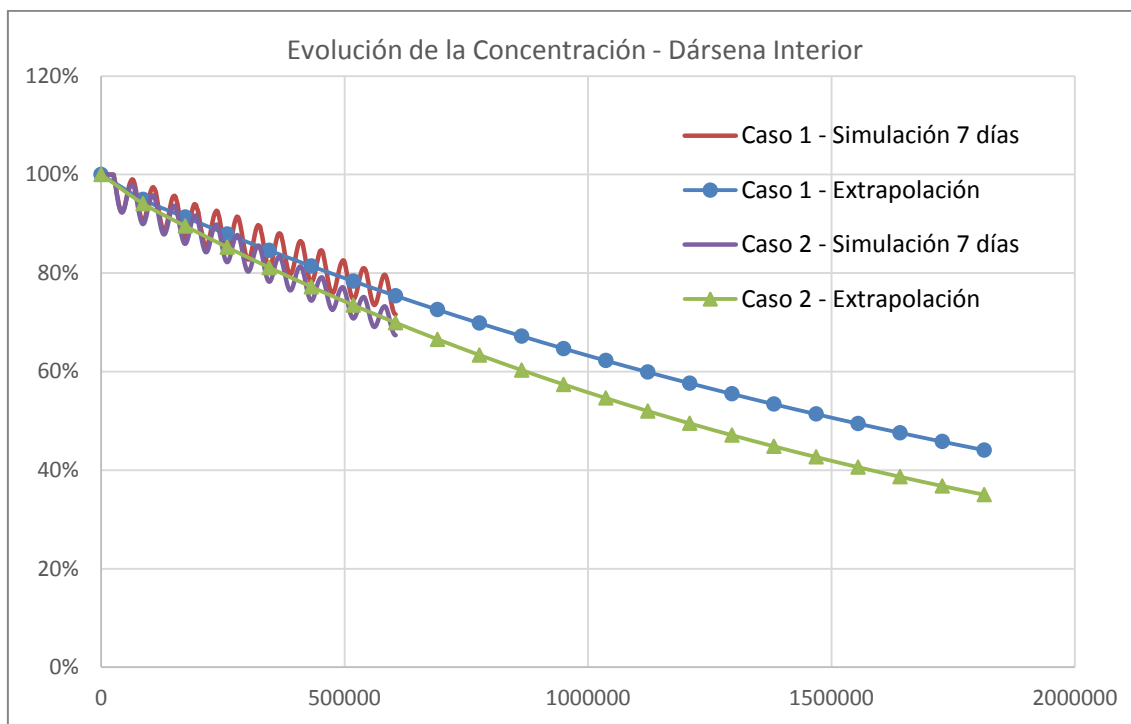
Las siguientes ilustraciones muestran la evolución de la concentración del trazador para el Caso 2. En ellas es apreciable la influencia del viento, ya que la masa del trazador se concentra en mayor medida en la zona del Muelle de Poniente.



**Ilustración 33. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

Tal y como se muestra en la evolución de Ilustración 33, el comportamiento hidrodinámico de la dársena es parecido al del Caso 1, con una diferencia reseñable. Esta diferencia reside en que las zonas próximas al Muelle de Costa y al Muelle Levante, tienen una concentración más uniforme en el Caso 2 que en el Caso 1. Esto ocurre debido a que el viento, al tener una velocidad superior, hace que la masa del trazador se desplace en dirección al Muelle Poniente y la zona de embarcaciones deportivas, donde la concentración llega a ser máxima.



**Gráfico 3. Comparativa de los casos de la evolución de la concentración - Dársena Interior**

Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 3 muestra que, en ambos casos, las curvas de tendencia son muy tendidas, poniendo de manifiesto la baja capacidad de renovación de la dársena. Los resultados mejoran ligeramente con un viento de mayor intensidad, de tal manera que concentra la masa de trazador en las proximidades del Muelle de Poniente, aumentando la renovación de aguas en el resto de la dársena.

#### 1.2.2.2 Situación futura

En la siguiente tabla se resumen los días que transcurren hasta que concentración del trazador es inferior al 37%:

**Tabla 8. Tiempos de renovación de las dársenas estudiadas**

BATIMETRÍA	CASO	DÁRSENA	TR (DÍAS)	% TR	% 7 DÍAS
<b>FINAL</b>	1	AZUCENAS	16	36.63%	60.07%
		DEPORTIVA	3	31.53%	3.98%
		INTERIOR	20	35.71%	69.90%
	2	AZUCENAS	6	35.50%	34.49%
		DEPORTIVA	6	36.62%	28.97%
		INTERIOR	15	36.83%	57.30%

Fuente: Elaboración a partir de los resultados obtenidos en IBER



#### 1.2.2.2.1 Dársena Azucenas

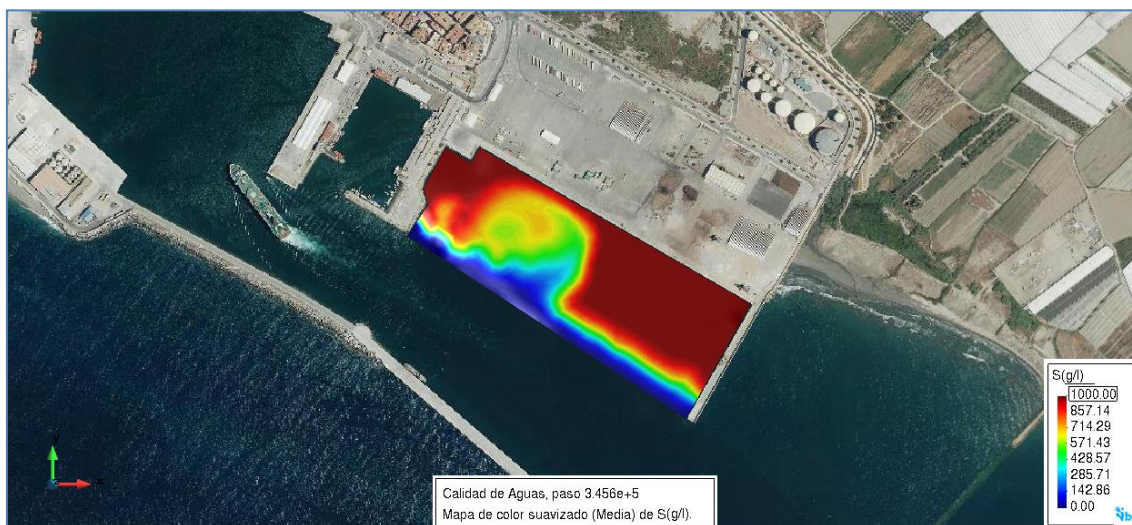
La Dársena de Azucenas, con la nueva configuración del puerto, no sufre ningún tipo de alteración directa. A pesar de ello, se vuelve a modelar para poder obtener las posibles influencias que tiene la nueva configuración del puerto.

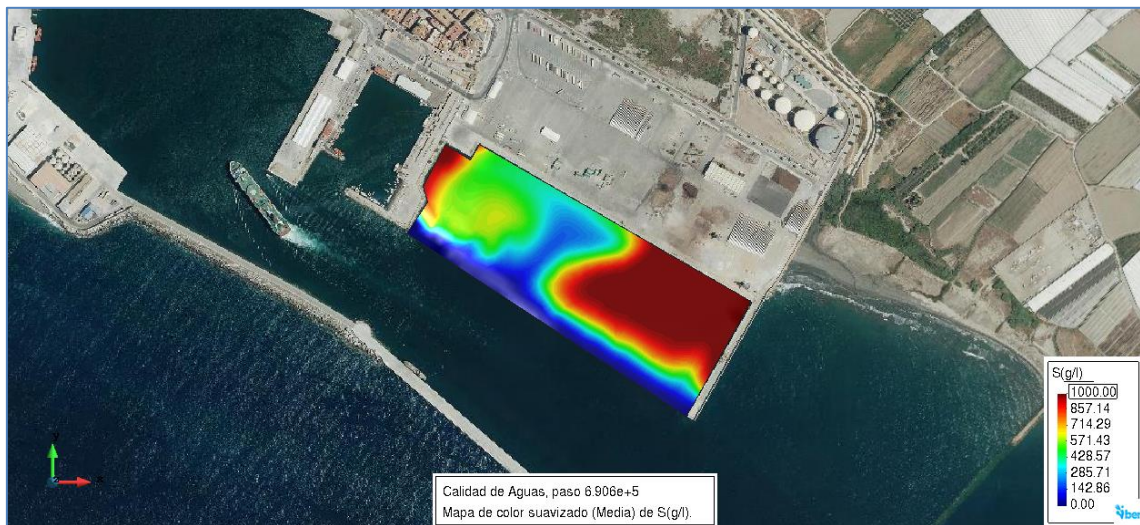
Para el Caso 1, se alcanza una concentración del 36.63% en un tiempo de 16 días, mientras que en el Caso 2, se estima una concentración del 35.50% en un tiempo de 6 días. En el primer caso, **la capacidad de renovación es baja** mientras que en el segundo caso se tiene una **capacidad de renovación alta**. Teniendo en cuenta que, el viento de 4 m/s E es el más frecuente, se determina que **la capacidad de renovación de la dársena es baja**.

##### Caso 1

En las siguientes ilustraciones, se muestra la evolución del trazador a lo largo de la simulación. Igual que en los casos analizados con la batimetría actual, el contradique tiene una gran influencia en el comportamiento hidrodinámico de la dársena.

En este primer caso, se obtiene un tiempo de renovación superior al del caso con la batimetría actual. La nueva configuración del puerto afecta, de forma indirecta, a las condiciones hidrodinámicas de la dársena, reduciendo así su capacidad para movilizar masa del trazador.





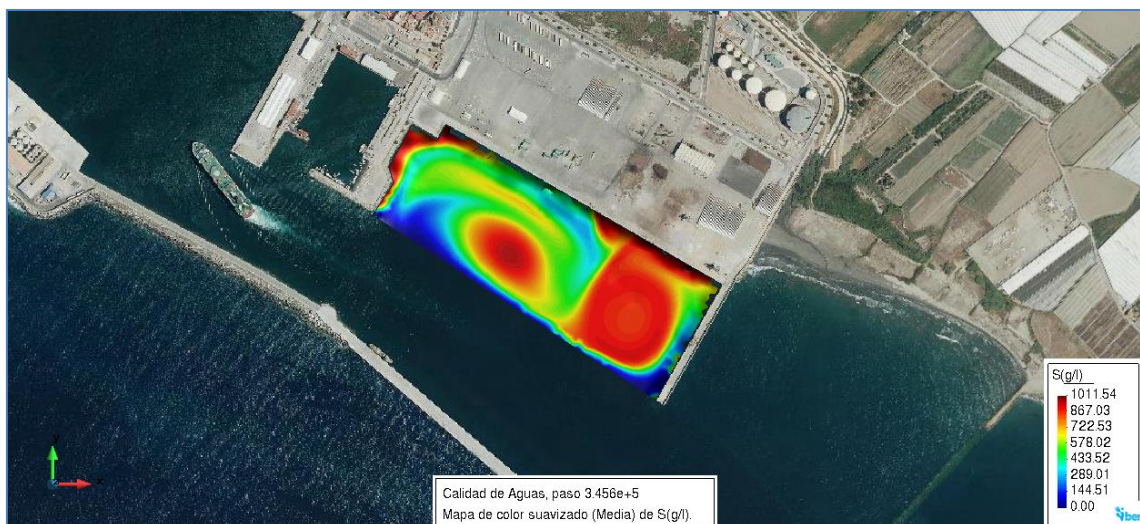
**Ilustración 34. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 1**

Fuente: Postproceso IBER

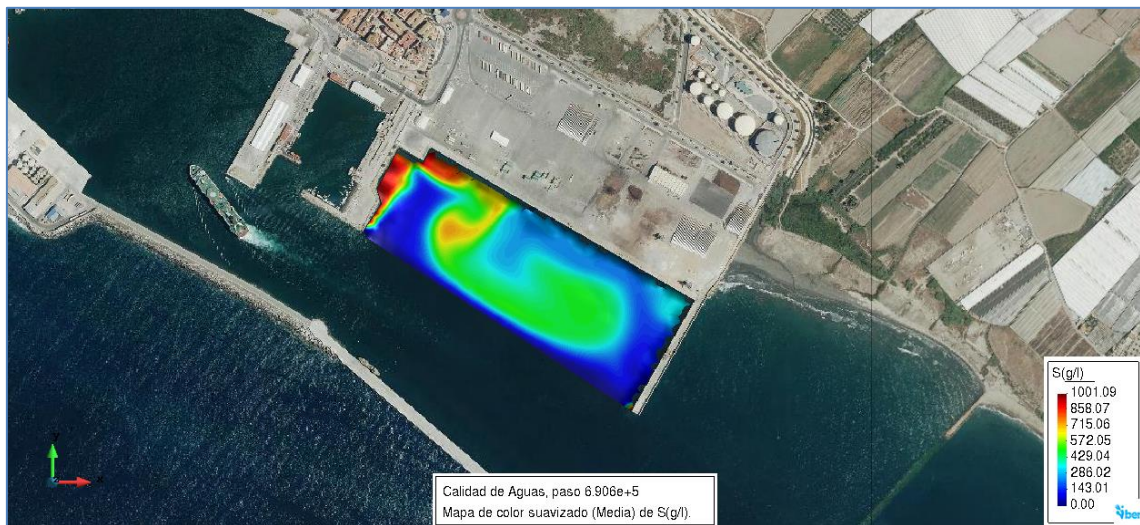
Observando las ilustraciones, se puede apreciar que la dársena tiene un comportamiento diferente con respecto al obtenido en el caso que usa la batimetría actual. En este caso, es más apreciable la influencia del contradique, que provoca que la mayor parte de la masa del trazador se encuentre en la zona más próxima a él. Por otro lado, en esta nueva configuración, es la zona central de la dársena donde la concentración del trazador se reduce al mínimo.

### Caso 2

Ante el escenario planteado en el Caso 2, la dársena muestra un comportamiento hidrodinámico muy similar al del Caso 1, en el que las velocidades de los flujos de recirculación son mayores debido a la influencia del viento, que tiene más intensidad



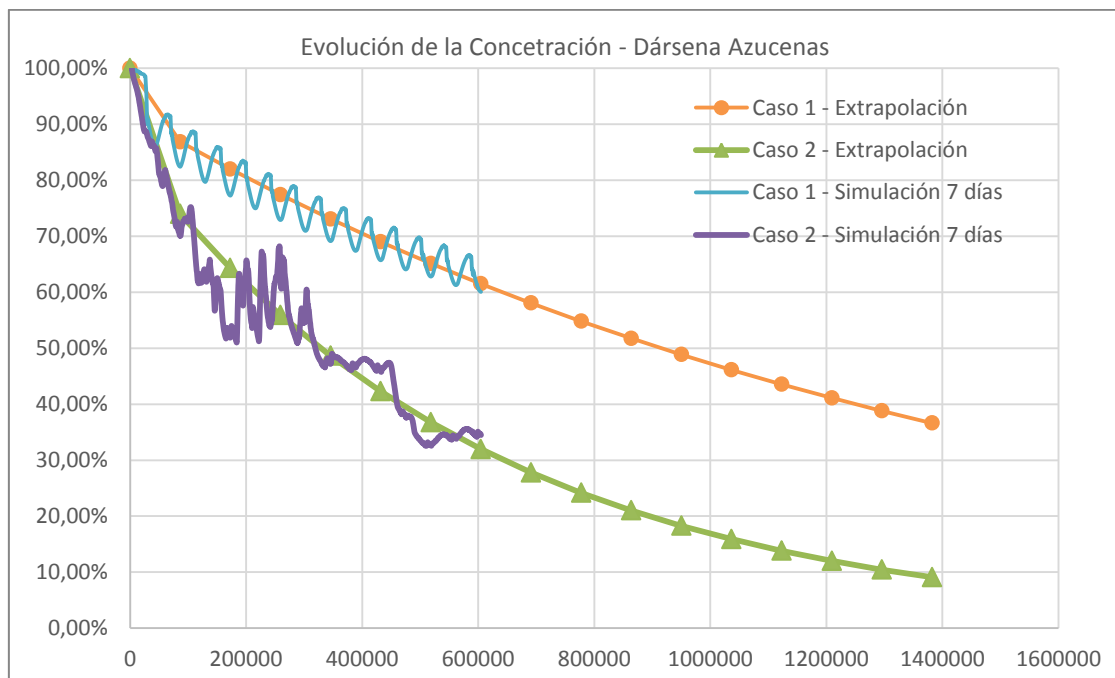




**Ilustración 35. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

El comportamiento de la dársena en este segundo escenario mejora en gran medida, ya que con un viento de 14 m/s E se muestra con una buena capacidad de renovación. A la vista de lo expuesto en la Ilustración 36, las zonas de acumulación de la masa residual del trazador se ubican en la zona Oeste de la dársena, mientras que en la zona central, hay una recirculación de los flujos en los que la concentración va disminuyendo.



**Gráfico 4. Comparativa de los casos de la evolución de la concentración - Dársena Interior**

Fuente: Elaboración propia



En esta comparativa se comprueba como la influencia del viento produce una mayor reducción de masa del trazador dentro de la dársena. Es apreciable como en el segundo caso, los primeros ciclos de marea reducen la concentración en un porcentaje alto, estabilizándose a medida que la simulación avanza. En el primer caso, una vez que el avanzan los días, la disminución tiende a linealizarse, de tal manera que la reducción del trazador es más paulatina.

Igual que en los casos que se engloban dentro de la Situación actual, el comportamiento de la dársena en el Caso 2, difiere del que se puede observar en otras dársenas, donde los ciclos de marea son apreciables.

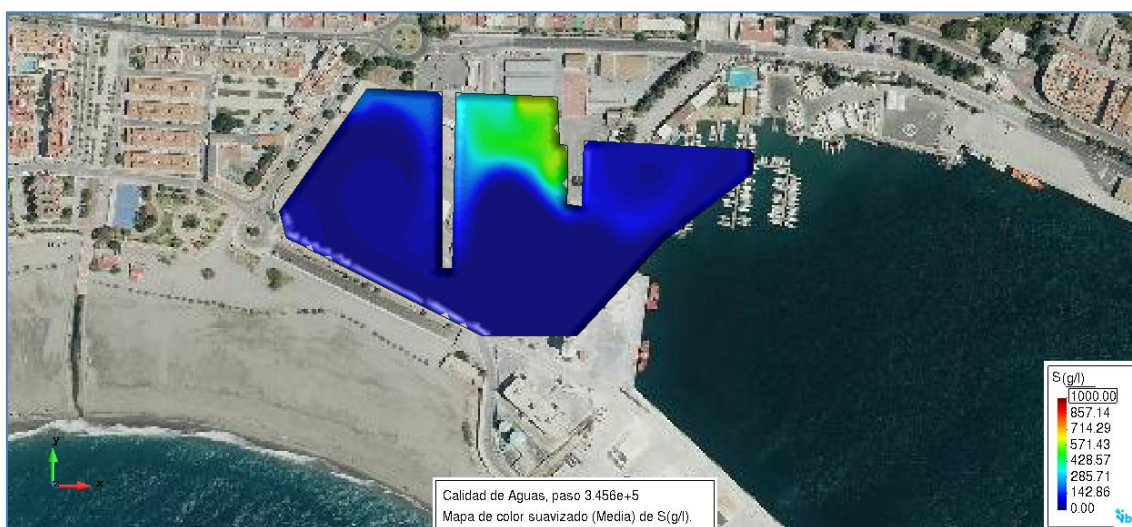
#### 1.2.2.2.2 Dársena Deportiva

En la nueva configuración del Puerto de Motril se abre una dársena con un canal de entrada en la zona Oeste. Esta dársena se destinará a embarcaciones deportivas y pesqueras. Su canal de entrada, tal y como se puede comprobar en la Ilustración 27, tiene un canal de entrada independiente del actual. Se realiza la hipótesis de que el canal está totalmente renovado, de esta manera se obtiene el tiempo de renovación de la propia dársena.

Para el Caso 1, se alcanza una concentración del 31.53% en un tiempo de 3 días, mientras que en el Caso 2, se estima una concentración del 36.62% en un tiempo de 6 días. En ambos casos, **la capacidad de renovación es alta.**

#### Caso 1

Para este primer caso, se muestran las siguientes figuras, en las que se ve la evolución de la concentración del trazador en la dársena.





**Ilustración 36. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 1**

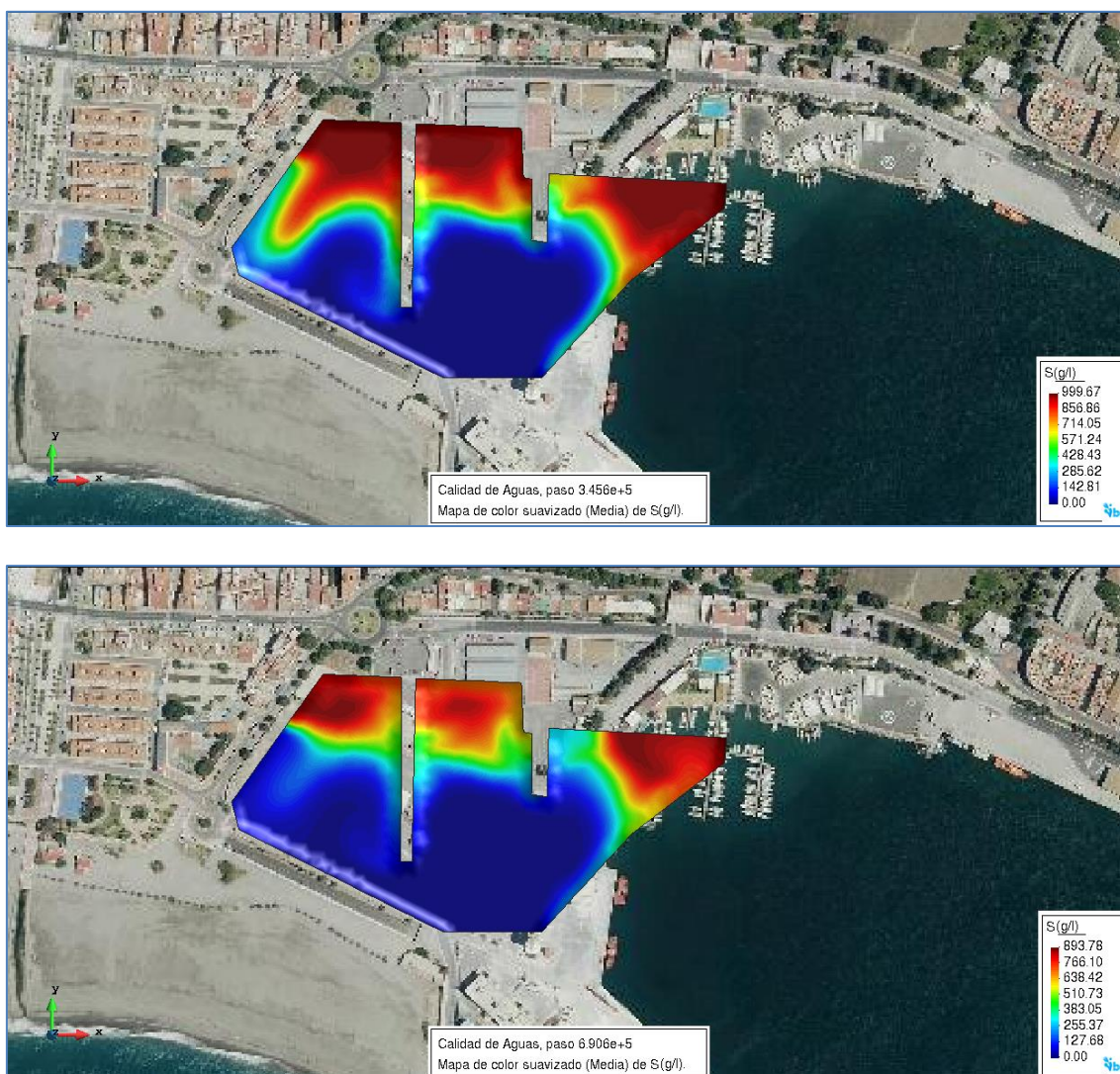
Fuente: Postproceso IBER

Observando lo expuesto en la Ilustración 36, se comprueba que la capacidad de renovación de la nueva dársena es muy alta, para los casos en los que el viento del Este es de baja intensidad. Siendo las mareas el agente predominante, en los muelles que se sitúan al Norte, se producen recirculaciones de la masa del trazador, mezclándose con la masa de agua limpia que reduce y extrae de la dársena.

Una vez terminada la simulación, se tiene una concentración del 3.89%, alcanzándose en el sexto día una concentración inferior al 37%.

### Caso 2

La evolución que se muestra en las siguientes figuras, es apreciable como en la zona Norte de la dársena, se concentra la mayor parte de la masa residual del trazador; alcanzando concentraciones máximas.



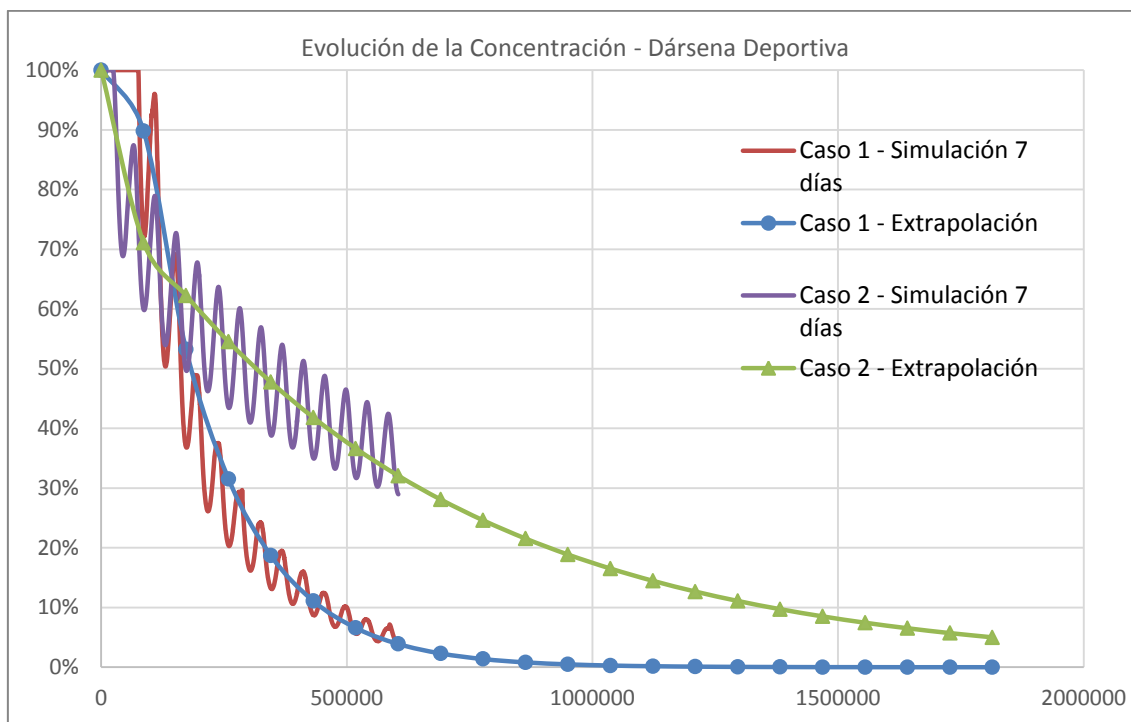
**Ilustración 37. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

El Caso 2, viene condicionado por una velocidad de viento alta que, en la Dársena Deportiva, produce una acumulación de la masa de contaminante en la zona Norte. Estas zonas tienen dos inconvenientes que provocan que sean las zonas más saturadas de la dársena. El primero es la distancia a la entrada de la dársena, siendo las más alejadas. El segundo es la geometría, en la que predominan zonas angulosas y espacios de reducido tamaño, lo que impide que se produzcan unas recirculaciones con una velocidad superior, con mayor capacidad de arrastre.

Con este escenario, la capacidad de renovación de la dársena se ve mermada, ya que no se alcanza una concentración menor al 37% en la dársena hasta el decimosexto día.





**Gráfico 5. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

El Gráfico 5 muestra la diferencia que existe entre ambos casos. En el primer caso, en los dos primeros ciclos de marea, la concentración del trazador disminuye hasta la mitad, siendo esta reducción menor en los siguientes ciclos. Sin embargo, en el Caso 2, la reducción del trazador es más paulatina debido a que en las zonas más alejadas de la bocana de la dársena, la concentración se reduce en menor medida con cada ciclo de marea, tal y como se pudo ver en la Ilustración 37. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2

Ante estos resultados, se puede determinar que con un viento de mayor intensidad, la dársena tendrá mayores dificultades para renovar su masa de agua. Debido a que el canal de entrada está orientado al Este, el viento E dificulta la salida de corrientes de agua con concentración de trazador, manteniéndolas dentro de la dársena más tiempo

#### 1.2.2.2.3 Dársena Interior

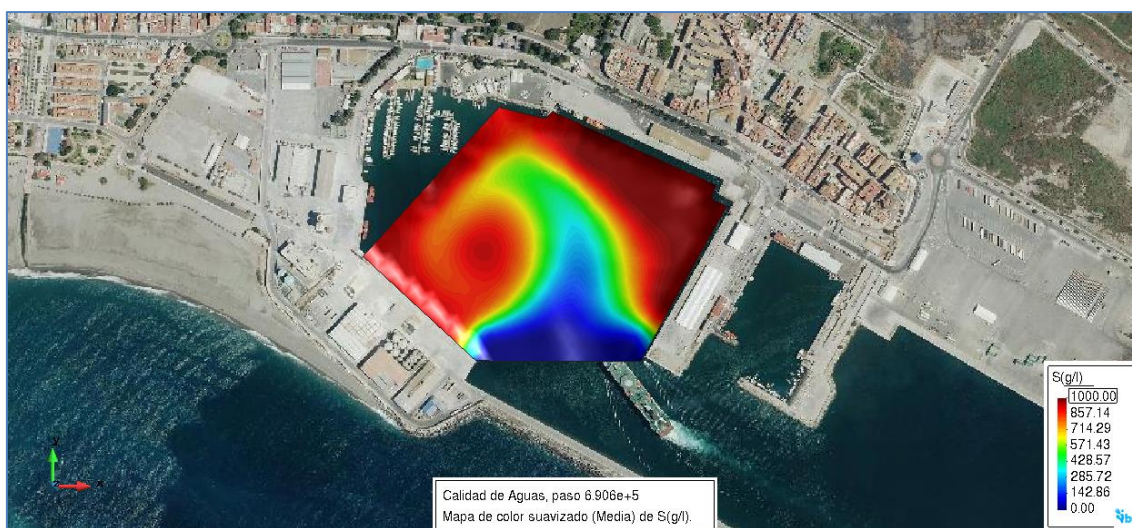
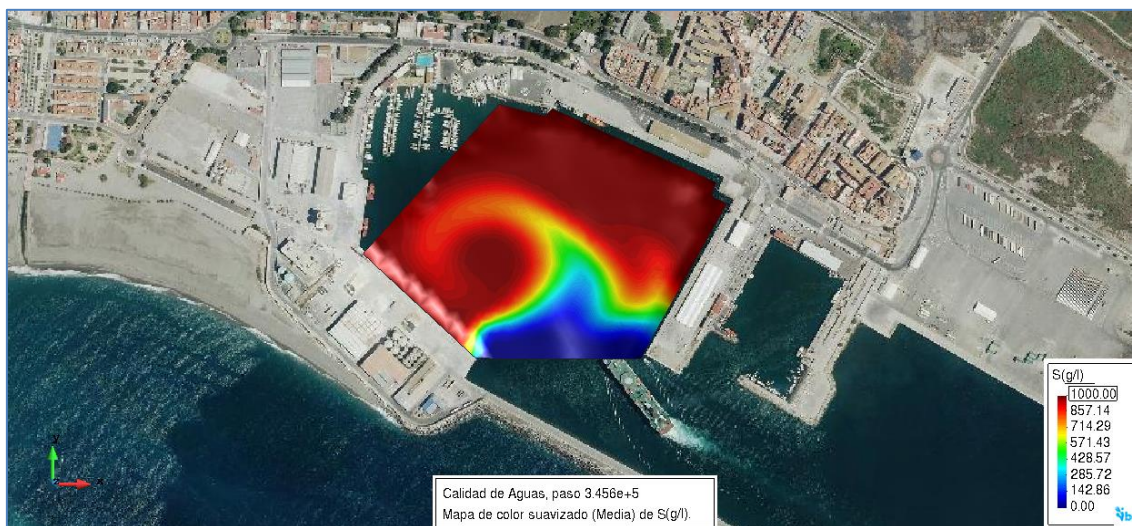
Como se ha expuesto anteriormente, la Dársena Interior, reduce su superficie de lámina de agua y, el Muelle de Poniente cambia drásticamente su orientación, estando más expuesto a las corrientes entrantes en la dársena.

Atendiendo a lo expuesto en la Tabla 8, para el Caso 1 se tiene que la dársena alcanza una concentración del 35.71% en 20 días, mientras que para el Caso 2, en un periodo de 15 días, la concentración disminuye hasta el 36.83%. En ambos casos, **la capacidad de renovación es baja.**

### Caso 1

#### De la misma forma que se producía en el

Caso 1 del estudio con la configuración actual, la parte central de la dársena es la más propensa a renovarse, produciéndose acumulaciones en las zonas del Muelle de Costa y Muelle Levante.



**Ilustración 38. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 1**

Fuente: Postproceso IBER

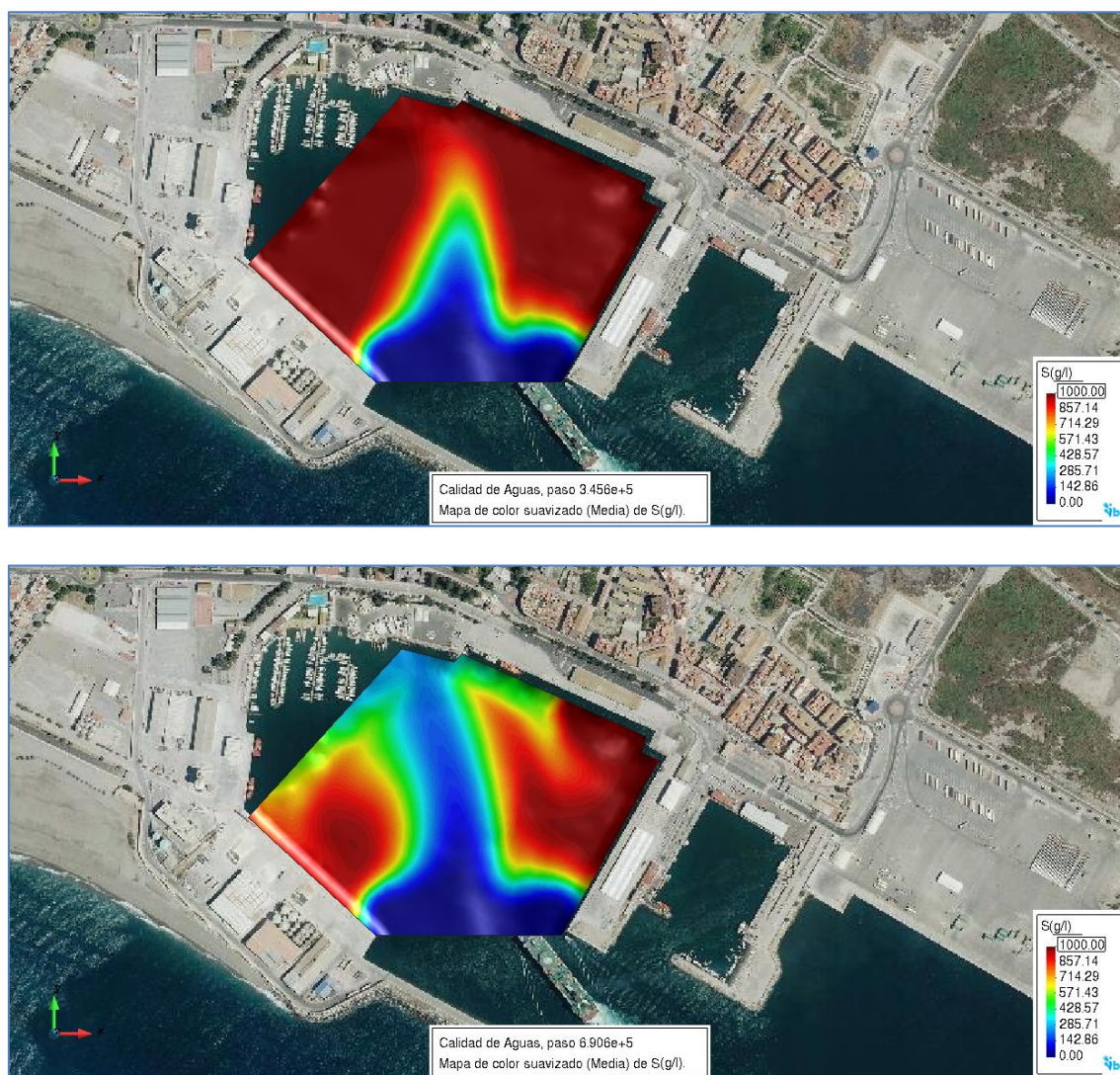
La predominancia del viento dentro de los agentes hidrodinámicos produce un desplazamiento de la masa de agua hacia el Este, provocando que sea esta parte de la dársena la que tenga una mayor renovación. A su vez, produce que en la zona Oeste de la dársena la concentración del trazador sigue siendo máxima.



Comparándolo con lo obtenido para la configuración actual del puerto, el tiempo que tarda la masa de agua de la dársena en renovarse es ligeramente inferior. Esto se debe a diversos factores, como son una menor superficie de la dársena o la nueva orientación del Muelle de Poniente.

### Caso 2

Con la nueva dársena interior, se estudia los efectos bajo el escenario contemplado en el Caso 2, con un viento de 14 m/s Este.



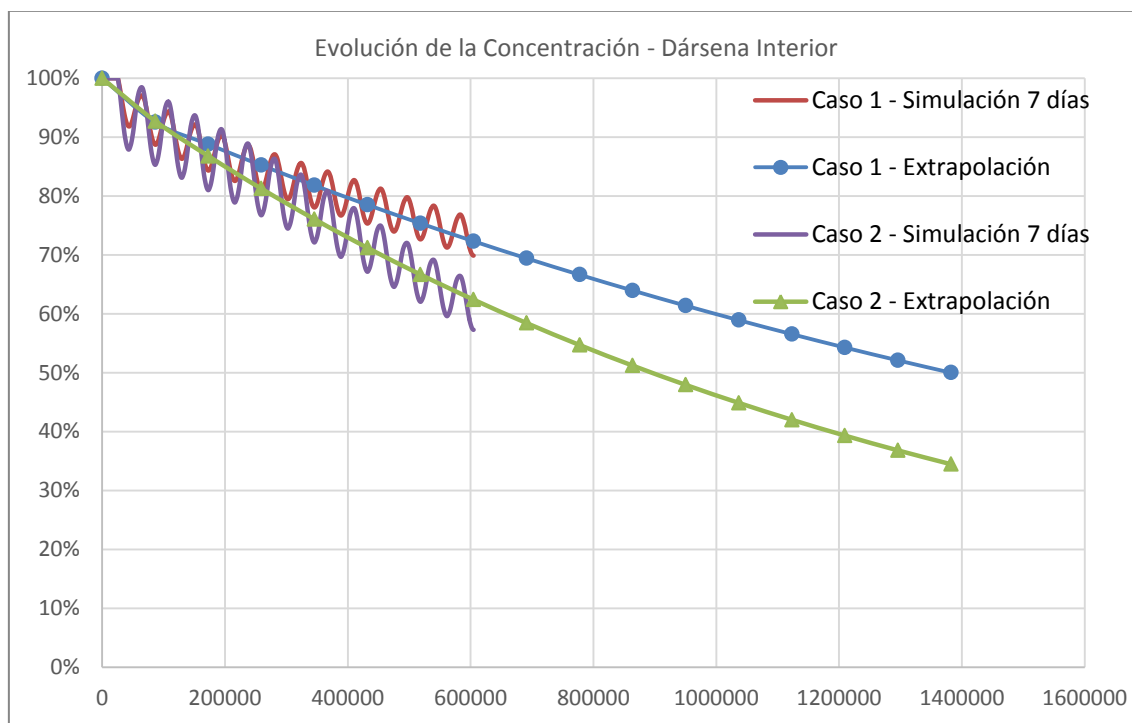
**Ilustración 39. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

En la Ilustración 39, se muestra como la masa del trazador se acumula en las zonas ubicadas entre los Muelles de Costa y Muelle Levante. Las zonas con menor profundidad y la zona central de la dársena son las que más se renuevan, debido a que los muelles son un obstáculo



para aquellas corrientes que entran en la dársena por los laterales, reduciendo la velocidad de éstas.



**Gráfico 6. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

En ambos casos, se tiene una evolución de la disminución de concentración muy paulatina, de manera que la progresión seguida es bastante lineal en cada ciclo de marea. En el Caso 1, la curva de tendencia es más tendida, por lo que se estima un mayor tiempo de renovación, mientras que en el Caso 2, la curva de tendencia tiene una pendiente mayor, mostrando que ante este segundo escenario, la dársena se renueva antes. Ante estos resultados, la influencia del viento es relevante, haciendo que la capacidad de la dársena para renovar la masa de agua que hay en ella aumente.

### 1.2.2.3 Alternativa Poniente 2

Con los resultados obtenidos en los dos apartados anteriores, podemos extrapolarlos al resto de alternativas ya que hay muchos aspectos comunes entre ellos. En el caso de la alternativa Poniente 2, esto no se puede realizar, ya que en la Dársena Interior se realiza la apertura de unos pantalanés para embarcaciones deportivas, que condiciona el comportamiento hidrodinámico de la dársena.

En la siguiente tabla se resumen los días que transcurren hasta que concentración del trazador es inferior al 37%:

**Tabla 9. Tiempos de renovación de las dársenas estudiadas**

BATIMETRÍA	CASO	DÁRSENA	TR (DÍAS)	%	% 7 DÍAS
ACTUAL	1	AZUCENAS	44	36.63%	81.08%
		INTERIOR	19	35.59%	63.40%
	2	AZUCENAS	38	36.48%	79.27%
		INTERIOR	21	35.63%	65.83%

Fuente: Elaboración a partir de los resultados obtenidos en IBER

Para cada caso y dársena se realiza una exposición de la evolución de la concentración del trazador, mostrando la distribución de éste en los días 3 y 7 de la simulación.

#### 1.2.2.3.1 Dársena Azucenas

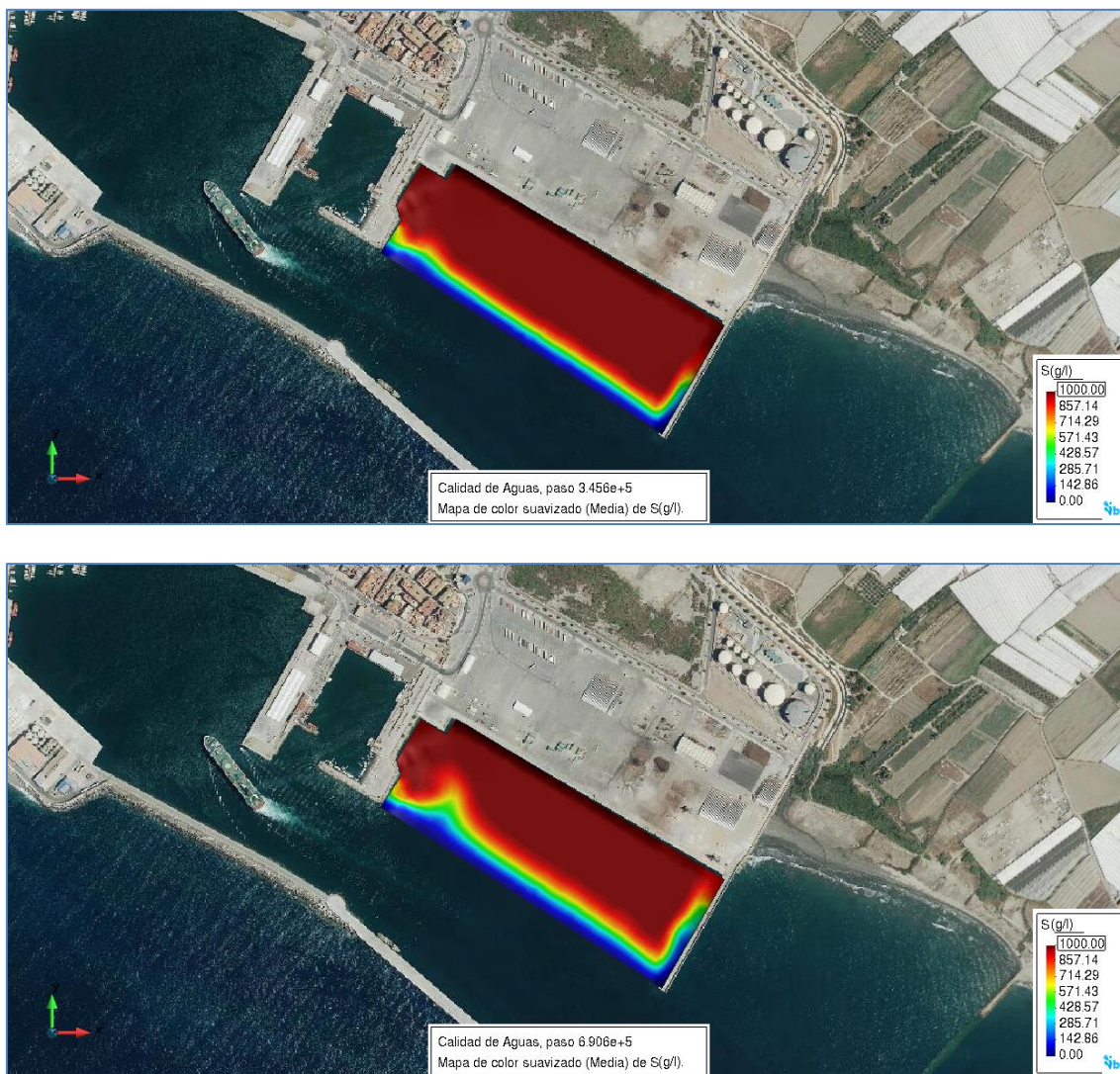
A priori, los resultados obtenidos en esta dársena deberían ser similares a los obtenidos en los casos analizados para la configuración de la alternativa escogida. No obstante se quiere analizar el cierre de la Dársena Pesquera y la apertura de esta nueva zona para embarcaciones deportivas.

Tal y como se muestra en la Tabla 9, los tiempos de renovación de la Dársena de Azucenas son relativamente altos, al compararlos con los obtenidos en las otras dos alternativas. Por lo tanto, con esta configuración, la capacidad de la dársena para renovar sus aguas se ve mermada.

Para el Caso 1, se obtiene una concentración del **36.63% de trazador en 44 días**. En el Caso 2, el tiempo de renovación se reduce mínimamente, alcanzando una concentración del **36.48% en 38 días**. En ambos casos la **capacidad de renovación de la dársena es baja**.

#### Caso 1

En este primer caso, a diferencia de lo que ocurriría en las otras alternativas, la zona cercana al Muelle Contradique reduce su concentración antes que en otras zonas de la dársena.



**Ilustración 40. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 1**

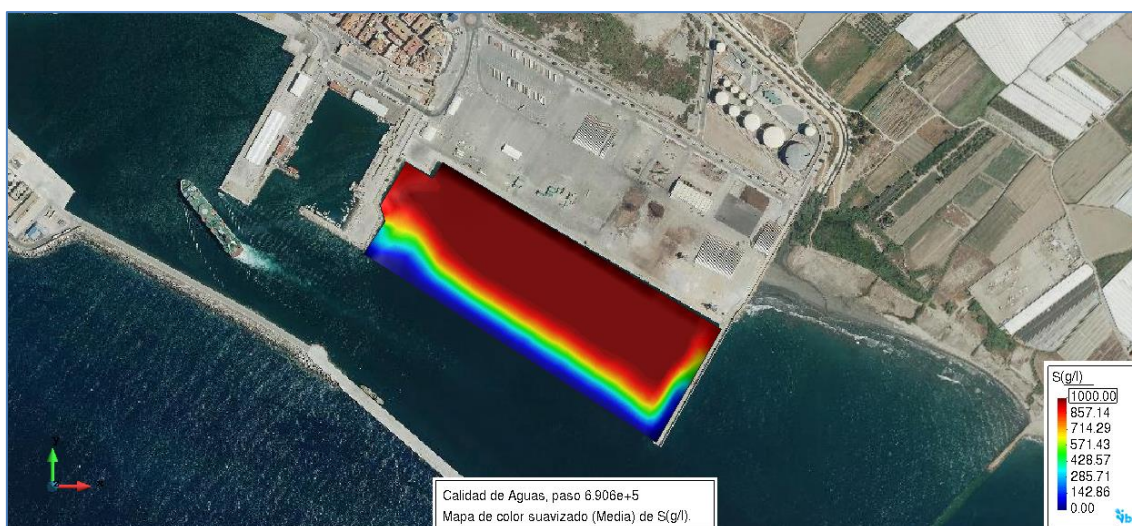
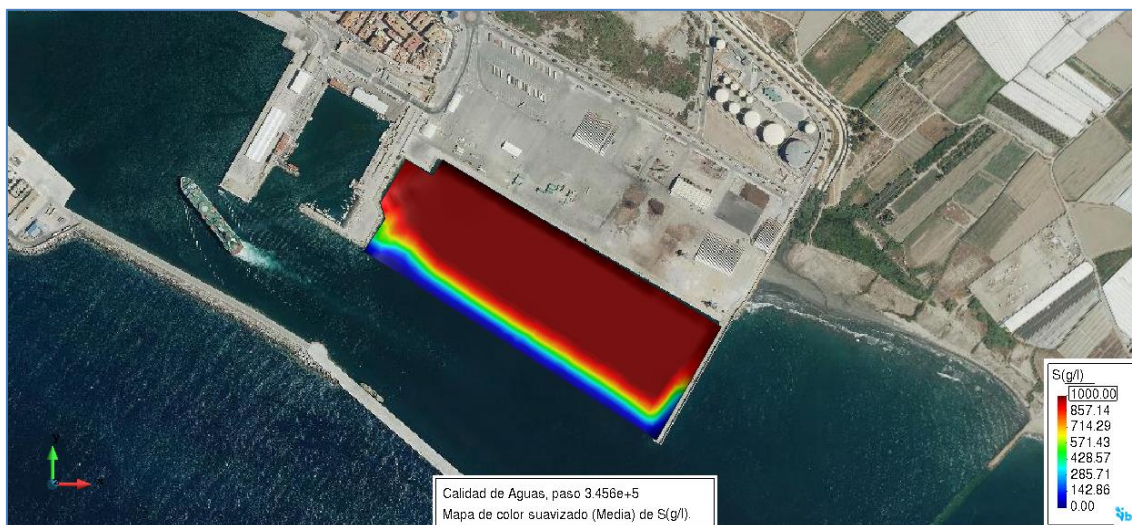
Fuente: Postproceso IBER

Observando la evolución de la concentración del trazador en el agua, se aprecia la dificultad que tienen las corrientes provocadas por los ciclos de marea y el viento considerado para reducir la concentración en el interior de la dársena. Se tiene que en la zona más próxima al Muelle de Azucenas, la concentración es máxima.

### Caso 2

El comportamiento de la dársena en el Caso 2 es muy similar al de primera caso analizado. En ambos, los agentes hidrodinámicos actuantes en la dársena no tienen la capacidad suficiente para producir recirculaciones del flujo que fuesen extrayendo masa de trazador del interior de la dársena.

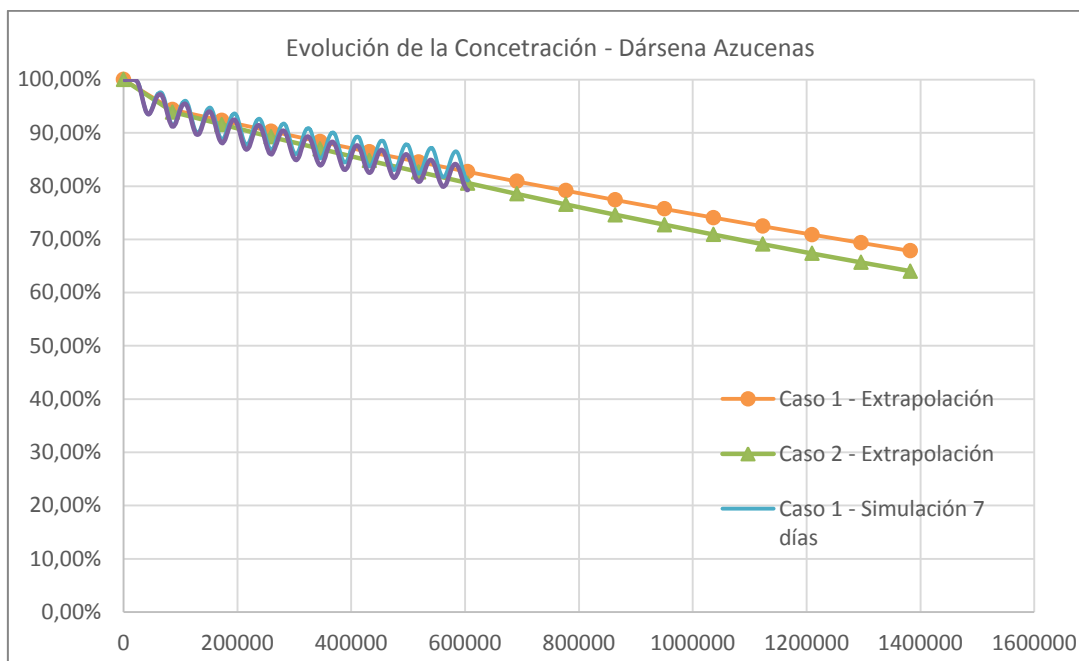




**Ilustración 41. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

Observando la evolución que se muestra en la Ilustración 41, se comprueba que el comportamiento hidrodinámico de la dársena es muy parecido al que se muestra en el Caso 1. Las particularidades de este caso se producen en la zona Este de la dársena, donde la poca profundidad que hay en esa zona, junto con la mayor intensidad de viento, se obtiene una zona con menos concentración. No obstante, la zona central y próxima al Muelle de Azucenas sigue teniendo unas concentraciones máximas en este caso.



**Gráfico 7. Comparativa de los casos de la evolución de la concentración – Dársena Azucenas**

Fuente: Postproceso IBER

Comparando la evolución de la concentración del trazador en ambos casos, se observa que la línea de tendencia es muy similar, siendo la del Caso 2 algo más inclinada y, por lo tanto, alcanzando una concentración menor en menos tiempo.

Conforme los días de simulación van transcurriendo, el porcentaje de masa de trazador que se reduce en cada ciclo de marea se va linealizando, obteniéndose así una función exponencial que en los puntos más alejados del origen tienden a una recta.

#### 1.2.2.3.2 Dársena Interior

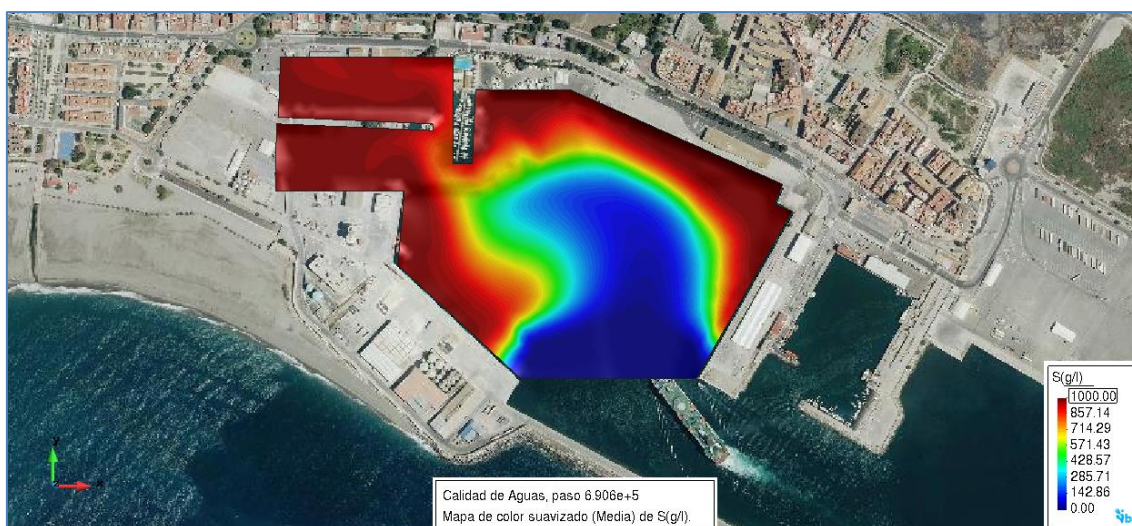
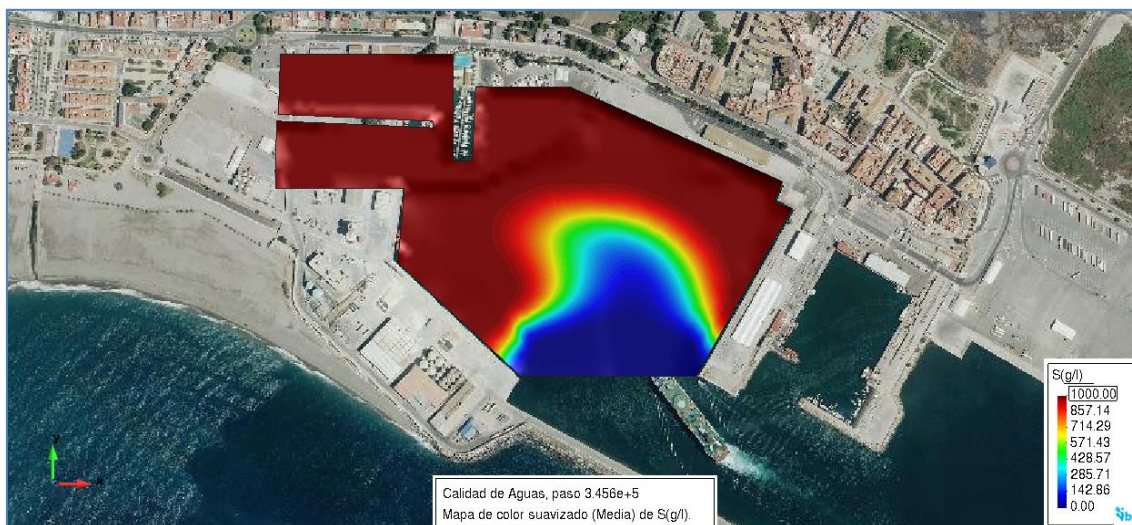
La configuración en planta de la dársena cambia en gran medida, ya que el Muelle de Poniente se abre para tener una zona con pantalanés para embarcaciones deportivas. La batimetría de la dársena cambia ya que en la entrada a esta nueva zona deportiva, el calado varía con respecto al actual, por ello se presupone un comportamiento diferente.

El tiempo de renovación que se obtiene en el Caso 1 es de **19 días, con una concentración del 35.59%**. En el Caso 2, se obtiene una concentración del **35.63% en un periodo de 21 días**. En ambos casos el comportamiento de la dársena es muy parecido y **su capacidad de renovación es baja**.

#### Caso 1

La zona más crítica de la nueva configuración de la dársena se ubica en la nueva zona de embarcaciones deportivas, ya que esta zona es la más alejada de la entrada de la dársena y su disposición en planta, con el pantalán principal, reduce la capacidad de renovación.





**Ilustración 42. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 1**

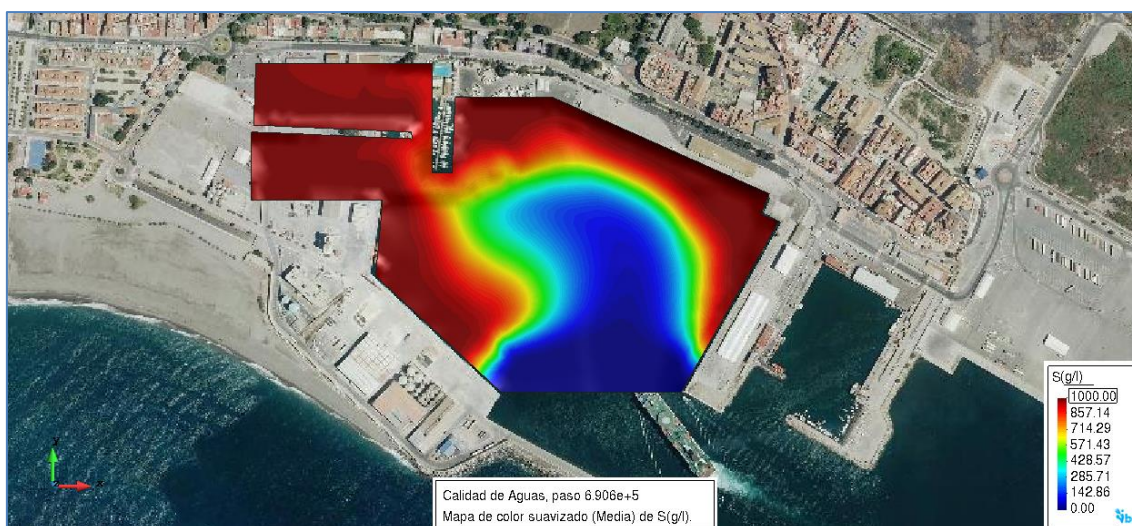
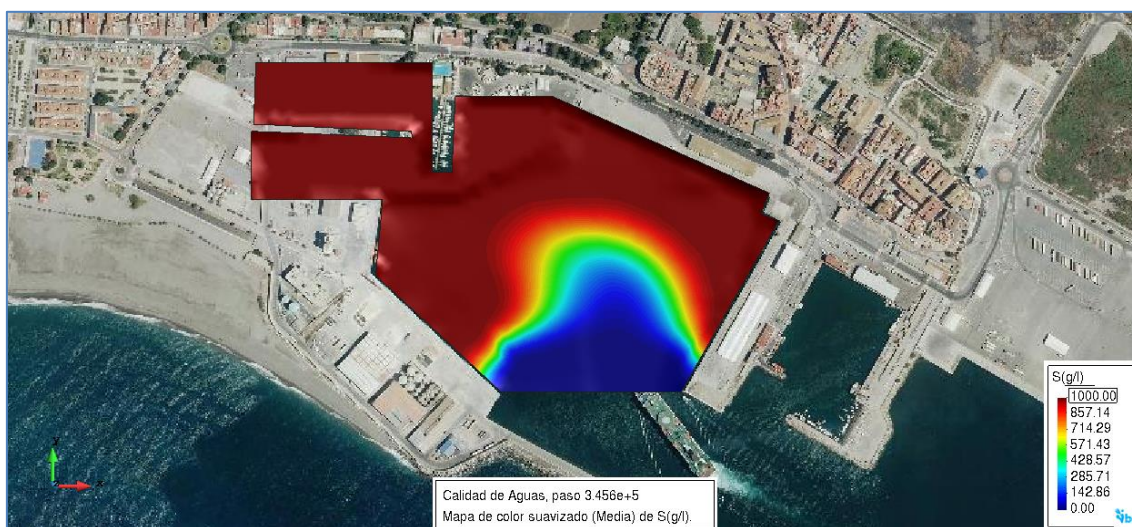
Fuente: Postproceso IBER

A la vista de lo expuesto en la Ilustración 42, la zona central de la dársena se renueva por completo al finalizar la simulación, quedando las zonas ubicadas en las proximidades del Muelle de Graneles, Muelle de Levante y el Muelle de Costa con unas concentraciones máximas del trazador. Por otro lado, tal y como se podría esperar, la zona de las embarcaciones deportivas tiene una tasa de renovación mínima, ya que las corrientes producidas por los agentes hidrodinámicos no tienen la capacidad suficiente para poder extraer la masa de trazador que ahí se encuentra.

### Caso 2

En este segundo caso, ante una mayor velocidad de viento Este, la capacidad de la dársena para renovar sus aguas es menor. Esto es entendible desde el punto de vista de que el viento evitaría la salida del trazador de la zona de embarcaciones deportivas, acumulándolo ahí.

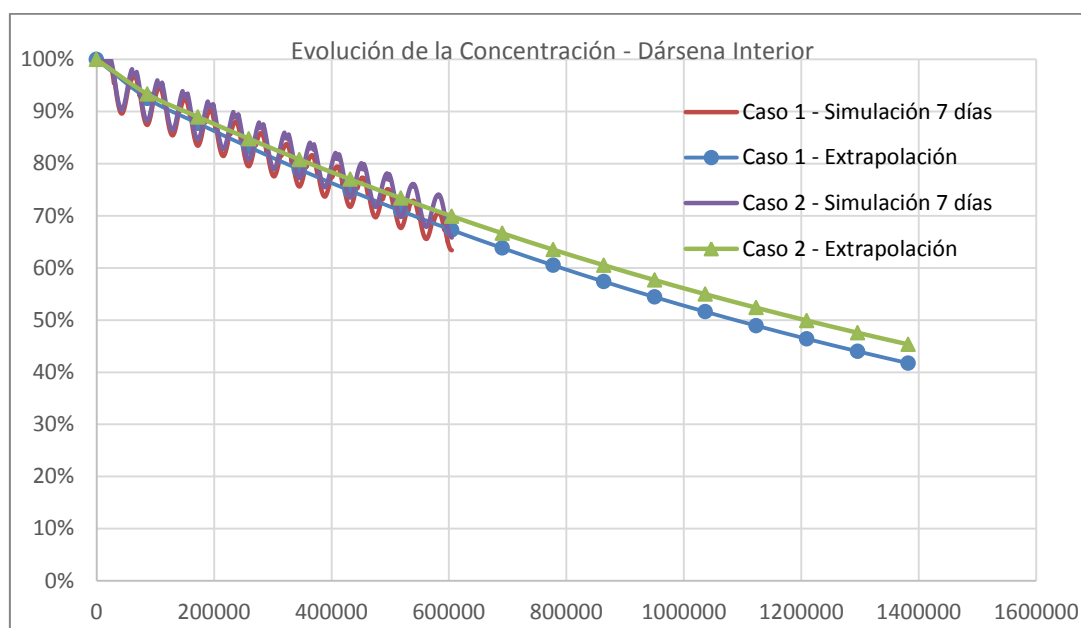




**Ilustración 43. Evolución del trazador al comienzo y al final de la simulación – Caso 2**

Fuente: Postproceso IBER

Observando las figuras de la Ilustración 43, se aprecia que el comportamiento de la dársena en este segundo caso es prácticamente igual al del Caso 1. En él, la zona central es la que reduce al mínimo la masa de trazador que en él se encuentra, acumulándose al zona de los muelles y de las embarcaciones deportivas. Es muy probable, que a mayor velocidad de viento Este, la capacidad de la dársena para reducir la concentración de cualquier contaminante conservativo sea menor, ya que la geometría en planta de la zona deportiva impide que la acción de los agentes hidrodinámicos sea efectiva.



**Gráfico 8. Comparativa de los casos de la evolución de la concentración - Dársena Interior**

Fuente: Elaboración propia

Igual que ocurre en la Dársena de Azucenas, en el Gráfico 8, la evolución de la concentración en los distintos escenarios analizados es muy similar. En esta dársena, las condiciones del Caso 2, son más favorables para la reducción de la concentración del trazador en el interior de la dársena.

Se debe poner de manifiesto que la inclusión de la zona deportiva en el interior de la dársena puede introducir una serie de particularidades que modifiquen los resultados obtenidos, de tal forma, que a pesar de que la función exponencial se adapta en gran medida a la tendencia de la simulación, es probable que a medida que la zona central de la dársena quede renovada, la zona de embarcaciones deportivas siga teniendo concentraciones de trazador muy altas y difíciles de reducir.

### 1.2.3 Conclusiones

Se ha estudiado la capacidad de renovación de las aguas comprendidas en las dársenas del actual recinto portuario de Motril y de la futura configuración del PDI de Motril. Para ello se ha establecido un indicador de calidad siguiendo los criterios establecidos en la ROM 5.1, sobre la calidad de agua en espacios portuarios. Dicha metodología se ha analizado en detalle a fin de confirmar su idoneidad para la resolución del problema planteado, valorándose finalmente de manera positiva.

A la vista de lo expuesto en los resultados, la dársena de Azucenas es la que tiene una mejor capacidad de renovación de sus aguas. El principal motivo es su situación en la entrada del puerto, donde las corrientes entrantes tienen una gran capacidad de arrastre del trazador.

La dársena Pesquera era, a priori, una de las dársenas que tendría más dificultades para renovar sus aguas, debido a que los dos espigones situados en la entrada de ésta disminuyan la capacidad de las corrientes entrantes de movilizar la masa del trazador y extraerlo.

La dársena Interior, con la configuración actual del puerto, se preveía una capacidad de renovación baja, debido a su situación al final del puerto y su extensión. Observando los resultados obtenidos, se confirma que su capacidad de renovación es baja. Con la nueva configuración del puerto, su capacidad aumenta, sin lograr renovar sus aguas en el plazo de 7 días. La disminución de su superficie y la nueva orientación del Muelle de Poniente, son los principales motivos de esta reducción.

La nueva dársena propuesta en el PDI tiene su propio canal de entrada, algo que a priori, tendría beneficios en su capacidad de renovación. Atendiendo a los resultados obtenidos, se comprueba que la dársena es capaz de renovar sus aguas en un plazo inferior a los 7 días.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se concluye que la masa de agua en las dársenas interiores de la futura configuración del PDI de presentan, en general, una capacidad baja de renovación. No obstante se determina que la capacidad de renovación de las dársenas interiores mejora con la nueva configuración.

### 1.3 TASA DE SEDIMENTACIÓN Y NECESIDADES DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO

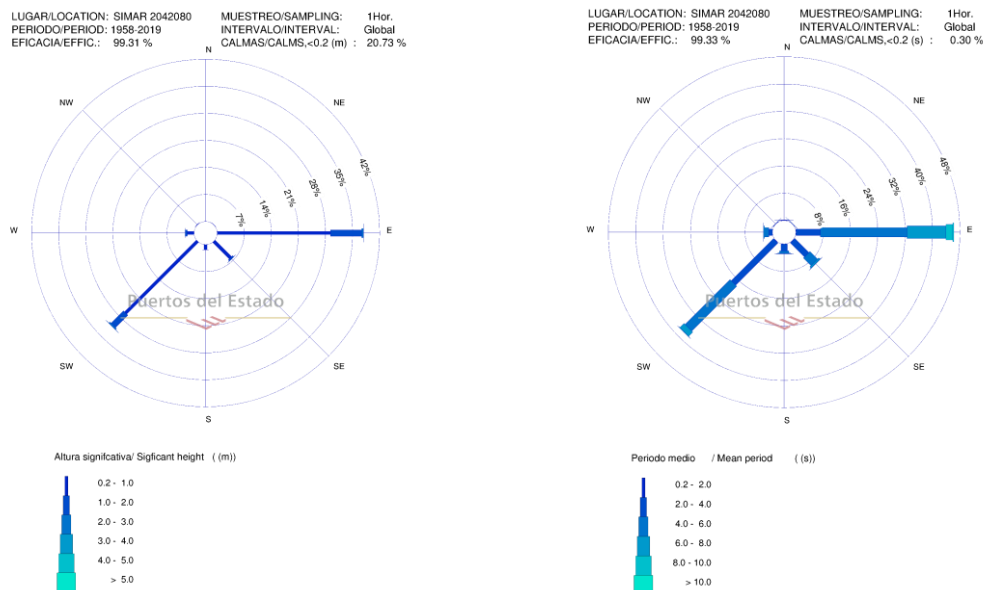
Este apartado del estudio tiene como finalidad realizar una modelización del transporte litoral en las playas colindantes al Puerto de Motril, tanto en la situación actual, como para las distintas alternativas planteadas, al objeto de determinar necesidades de dragados de mantenimiento periódicos.

#### 1.3.1 *Clima marítimo*

Con el fin de establecer los diferentes casos para los que se considera necesario analizar el comportamiento de la sedimentación, se requiere del previo estudio del clima marítimo.

A continuación, se presenta la rosa de oleajes correspondiente con el Punto SIMAR-44 2042080 para la serie temporal disponible en la página web de Puertos del Estado que abarca el periodo comprendido entre enero de 1958 y octubre de 2019, tiempo más que suficiente para caracterizar el clima marítimo de la zona de estudio. Como se puede apreciar, las dos familias de oleajes más frecuentes corresponden a los oleajes procedentes del E y SW, con un 38 % y un 30 % de ocurrencia en la serie temporal considerada, respectivamente.





Rosa de altura de ola significativa

Rosa de periodo medio

Ilustración 44. Rosas de altura de ola significativa y de periodo medio

Fuente: Puertos del Estado.

EFICACIA 99.1% AÑO/YEAR 1958		Hs (m)											TOTAL
		<= 0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	
calmas/calms		22.076											22.076
Dir	N 00	0.023	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.023
	NE 45	0.035	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.035
	E 90	16.828	14.986	6.008	0.794	0.058	---	---	---	---	---	---	38.674
	SE 135	3.234	1.209	0.196	0.023	---	---	---	---	---	---	---	4.662
	S 180	0.806	0.161	0.023	---	---	---	---	---	---	---	---	0.990
	SW 225	14.065	15.090	3.672	0.345	0.012	---	---	---	---	---	---	33.184
	W 270	0.265	0.046	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.311
TOTAL		35.302+22.076	31.492	9.899	1.163	0.069	---	---	---	---	---	---	100%

EFICACIA 99.1% AÑO/YEAR 1958		Tp (s)											TOTAL
		<= 0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	
calmas/calms		0.345											0.345
Dir	N 00	---	---	---	0.046	0.012	---	---	---	0.012	---	0.012	0.081
	NE 45	---	---	---	---	---	---	---	0.023	0.023	---	---	0.046
	E 90	---	---	---	0.012	0.288	1.485	2.970	4.006	4.857	6.377	28.349	48.343
	SE 135	---	---	---	0.081	0.748	2.601	1.128	1.519	0.863	0.576	0.794	8.310
	S 180	---	---	---	0.035	0.368	0.909	0.357	0.380	0.081	0.104	0.115	2.348
	SW 225	---	---	---	0.092	1.669	3.925	4.500	8.391	10.163	6.952	4.190	39.883
	W 270	---	---	---	---	0.058	0.081	0.081	0.104	0.092	0.092	0.023	0.529
TOTAL		---	---	---	0.299	3.177	9.001	9.035	14.399	16.126	14.123	33.494	100%

Ilustración 45. Tabla de probabilidades de altura de ola significativa, Hs, y periodo de pico, Tp, por direcciones

Fuente: Puertos del Estado.

Teniendo en cuenta las dos familias de oleajes más frecuentes, y en base a los gráficos y tablas anteriores, se han identificado los parámetros que van a definir los casos de propagación de

oleaje a considerar para analizar el comportamiento de la sedimentación, y son los que se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 10. Caracterización de casos de oleaje propagados**

DIRECCIÓN	CASO	Hs [m]	Tp [s]
<b>Ponientes</b>	Medias	1,0	4,0
	Temporal	2,5	8,0
<b>Levantes</b>	Medias	1,0	6,0
	Temporal	2,5	10,0

Como primer paso para el estudio de la propagación del oleaje, se hace necesario definir una malla de estudio sobre la batimetría o área en la que se desea analizar la propagación. Por requerimiento del modelo utilizado, el Modelo de Propagación de Oleaje y Corrientes (OLUCA), desarrollado inicialmente en la Universidad de Delaware, USA, y mejorado posteriormente por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica de la Universidad de Cantabria, una de las alineaciones de la malla ha de coincidir con la dirección de propagación del oleaje, o estar comprendida en un ángulo no superior a  $\pm 60^\circ$  respecto a dicha dirección. Por este motivo, y dada la configuración del área de estudio se ha seleccionado una malla única de propagación para los oleajes de levante, tanto medios como de temporal (identificada por B1 en los gráficos de resultados de los anexos que acompañan a este estudio) y dos mallas distintas para la propagación de los oleajes medios y de temporal para la dirección de poniente (identificadas por A1 y C1 en los gráficos de resultados de los anexos que acompañan a este estudio, respectivamente).

Por tanto, utilizando dichas mallas de estudio se han propagado oleajes medios anuales ( $H_s = 1$  m) y temporales ( $H_s = 3$  m) para las dos direcciones dominantes (E y SW) para las ocho alternativas planteadas del Plan Director de Infraestructuras (PDI) del Puerto de Motril, donde se incluye la situación actual (Alternativa 0) y la alternativa seleccionada (Alternativa 3). Los resultados obtenidos en cada propagación se almacenan en archivos de datos, a partir de los cuales se pueden obtener multitud de gráficos, como por ejemplo el gráfico de isoalturas de ola significativa o el gráfico de vectores de altura de ola significativa-dirección media de propagación. En este documento se va a centrar el interés en los gráficos de corrientes, dado que son éstas las que van a condicionar los procesos de erosión/sedimentación que tienen lugar en la zona de estudio.

La rotura del oleaje genera un sistema de corrientes longitudinales, fundamentalmente paralelas a la playa, que son función del ángulo con que el oleaje aborda la costa (corrientes de incidencia oblicua) y de su altura de ola. Estas corrientes, denominadas corrientes longitudinales, son de especial importancia en la disposición de equilibrio en una playa y, más concretamente, en su forma en planta, debido a su capacidad de transporte de arena. De este modo, para que la forma en planta de una playa esté en equilibrio, es necesario que el transporte de sedimento sea nulo.

Las corrientes longitudinales se producen en la zona de rotura del oleaje y, por tanto, en un área donde el sedimento se encuentra en suspensión por la acción de la propia rotura del oleaje, por lo que es fácilmente transportable por efecto de dichas corrientes. El gradiente longitudinal de la altura de ola genera un sistema circulatorio de corrientes, llamadas corrientes de retorno que determinan también la trayectoria del sedimento, las zonas de erosión y de depósito.

Estas corrientes longitudinales pueden ser obtenidas por medio de expresiones analíticas en ciertos casos, cuando la geometría de la playa es simple. En el caso que nos ocupa, debido a la complejidad de los contornos y de la batimetría existente, estas corrientes sólo pueden ser calculadas por métodos numéricos. Se ha utilizado como modelo de cálculo de corrientes asociado a la rotura del oleaje, el modelo COPLA, desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria.

Del conjunto de simulaciones de oleaje descritos anteriormente, se han obtenido los sistemas de corrientes asociados. Dado el elevado volumen de figuras que supondría la presentación de los gráficos de corrientes para los cuatro casos de oleaje planteados para cada una de las ocho alternativas (un total de 32 gráficos, 4 gráficos por alternativa), se ha optado por presentar dichos resultados en el Anejo I - Corrientes.

Las principales conclusiones obtenidas del estudio de corrientes son las siguientes:

A continuación, se presentan las conclusiones de cada alternativa por separado:

▪ **Alternativa 0 – situación actual**

- Los temporales procedentes de levante generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal S-N, generando ciertas corrientes de retorno en la Playa de las Azucenas, así como aguas adentro a partir del primer dique construido recientemente al este del puerto. Se aprecia también una concentración de corrientes longitudinales en dirección S-N de menor entidad en la Playa del Cable.
- Los oleajes medios procedentes de levante generan corrientes que siguen la misma trayectoria que en el caso anterior de los temporales. Sin embargo, dichas corrientes son de menor entidad que las anteriores. En la Playa del Cable incluso pueden considerarse despreciables.
- Los oleajes medios procedentes de poniente generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal N-S en el tramo situado al este del espigón y en sentido contrario en la Playa de las Azucenas, de entidad menor. Se generan también ciertas corrientes de retorno, especialmente en la Playa de las Azucenas. Se aprecia también una concentración de corrientes en dirección N-S de menor entidad en la Playa del Cable.



- Los temporales procedentes de poniente generan corrientes de mayor entidad que en el caso de los oleajes medios. Sin embargo, la trayectoria se mantiene únicamente en la Playa de las Azucenas. El resto presenta ciertas corrientes de retorno más caóticas, en especial en la zona este del dique situada más al exterior.
- **Alternativa Levante**
  - Los temporales procedentes de levante generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal S-N, generando ciertas corrientes de retorno en la Playa de las Azucenas. Se aprecia también una concentración de corrientes longitudinales en dirección S-N de menor entidad en la Playa del Cable.
  - Los oleajes medios procedentes de levante no generan corrientes en la Playa del Cable. Las corrientes que se generan al este del puerto son de menor entidad que las anteriores y no existe una componente longitudinal bien definida.
  - Los oleajes medios procedentes de poniente generan pequeñas corrientes principalmente con una componente longitudinal N-S, generando ciertas corrientes de retorno en la Playa de las Azucenas. Se aprecia también una concentración de corrientes longitudinales en dirección N-S de menor entidad en la Playa del Cable.
  - Los temporales procedentes de poniente generan corrientes de mayor entidad que en el caso de los oleajes medios. Son corrientes que se concentran puntualmente en los límites del puerto a ambos lados de este, siendo más numerosas y caóticas al este.
- **Alternativa Poniente Playa**
  - Los temporales procedentes de levante generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal S-N hasta el primer dique al este del puerto, generando pequeñas corrientes de retorno en la Playa de las Azucenas y alrededores. Las corrientes que se generan en la Playa del Cable son despreciables.
  - Los oleajes medios procedentes de levante no generan corrientes en la Playa del Cable. Las corrientes que se generan al este del puerto son de menor entidad que las anteriores y no existe una componente longitudinal bien definida. Se generan también ciertas corrientes de retorno, especialmente en la Playa de las Azucenas.
  - Los oleajes medios procedentes de poniente generan pequeñas corrientes principalmente con una componente longitudinal N-S en el tramo situado al este del dique y en sentido contrario en la Playa de las Azucenas, de entidad menor. Se aprecia también una concentración de corrientes de menor entidad en la Playa del Cable sin una componente longitudinal bien definida.
  - Los temporales procedentes de poniente generan corrientes de mayor entidad que en el caso de los oleajes medios. Son corrientes que se concentran en los

límites del puerto a ambos lados de este, siendo más numerosas y caóticas al este, en sentido antihorario en la Playa de las Azucenas y en sentido horario a medida que se alejan de dicha playa. Se aprecia también una concentración de corrientes de menor entidad en la Playa del Cable sin una componente longitudinal bien definida.

▪ **Alternativa Poniente 1 – configuración futura**

- Los temporales procedentes de levante generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal S-N, generando ciertas corrientes de retorno en la Playa de las Azucenas. Se aprecia también una concentración de corrientes de menor entidad con componente longitudinal en dirección S-N en la Playa del Cable.
- Los oleajes medios procedentes de levante generan corrientes que siguen la misma trayectoria que en el caso anterior de los temporales. Sin embargo, dichas corrientes son de menor entidad que las anteriores.
- Los oleajes medios procedentes de poniente generan pequeñas corrientes principalmente con una componente longitudinal N-S en el tramo situado al este del dique y en sentido contrario en la Playa de las Azucenas. Se aprecia también una concentración de corrientes de menor entidad en la Playa del Cable sin una componente longitudinal bien definida, y un poco alejadas de canal de entrada a la dársena deportiva.
- Los temporales procedentes de poniente generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal S-N, especialmente en la Playa de las Azucenas. Se aprecia también una concentración de corrientes de menor entidad con componente longitudinal en dirección S-N en la Playa del Cable, en este caso en el límite con el canal de entrada a la dársena deportiva.

▪ **Alternativa Poniente 2**

- Los temporales procedentes de levante generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal S-N, generando ciertas corrientes de retorno en la Playa de las Azucenas. Se aprecia también una concentración de corrientes de menor entidad con componente longitudinal en dirección S-N en la Playa del Cable y en el interior del puerto.
- Los oleajes medios procedentes de levante generan corrientes de menor entidad que las anteriores. No existe una componente longitudinal claramente definida, a excepción de la Playa de las Azucenas, que sigue la dirección N-S. Cabe destacar que las corrientes se concentran en las playas, y no afectan al canal de entrada al puerto, como si ocurre en el caso de los temporales.
- Los oleajes medios procedentes de poniente generan pequeñas corrientes principalmente con una componente longitudinal N-S en el tramo situado al este del dique y en sentido contrario en la Playa de las Azucenas. Se aprecian también

corrientes de menor entidad en la Playa del Cable sin una componente longitudinal bien definida.

- Los temporales procedentes de poniente generan corrientes que siguen la misma trayectoria que en el caso anterior de los temporales. Sin embargo, dichas corrientes son de mayor entidad que las anteriores. Se aprecia también una concentración de corrientes con componente longitudinal en dirección S-N en la Playa del Cable en las inmediaciones del puerto.

■ **Alternativa Poniente 3**

- Los temporales procedentes de levante generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal S-N, generando ciertas corrientes de retorno en la Playa de las Azucenas. Las corrientes no se limitan a la zona de las playas, sino que se extienden hasta las inmediaciones del dique de abrigo del puerto. Se aprecia también una pequeña concentración de corrientes de menor entidad con componente longitudinal en dirección N-S en la Playa del Cable.
- Los oleajes medios procedentes de levante generan corrientes que siguen la misma trayectoria que en el caso anterior de los temporales. Sin embargo, dichas corrientes son de menor entidad que las anteriores y se limitan a la zona de las playas, y están un poco desplazadas hacia el sur en la Playa del Cable.
- Los oleajes medios procedentes de poniente generan pequeñas corrientes principalmente con una componente longitudinal N-S en el tramo situado al este del dique y en sentido contrario en la Playa de las Azucenas. Se aprecian también corrientes de menor entidad en la Playa del Cable sin una componente longitudinal bien definida.
- Los temporales procedentes de poniente generan corrientes que siguen la misma trayectoria que en el caso anterior de los oleajes medios. Sin embargo, dichas corrientes son de mayor entidad que las anteriores, y se extienden hasta las inmediaciones del dique de abrigo del puerto tanto en la entrada al puerto como al sur de este.

■ **Alternativa Poniente 4**

- Los temporales procedentes de levante generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal S-N, generando ciertas corrientes de retorno en la Playa de las Azucenas. Las corrientes no se limitan a la zona de las playas, sino que se extienden hasta las inmediaciones del dique de abrigo del puerto. Se aprecia también una pequeña concentración de corrientes de menor entidad con componente longitudinal en dirección N-S en la Playa del Cable.
- Los oleajes medios procedentes de levante generan corrientes que siguen la misma trayectoria que en el caso anterior de los temporales. Sin embargo, dichas corrientes son de menor entidad que las anteriores y se limitan a la zona de las



playas, y están un poco desplazadas hacia el sur en la Playa del Cable, donde se pueden considerar incluso despreciables.

- Los oleajes medios procedentes de poniente generan pequeñas corrientes principalmente con una componente longitudinal N-S en el tramo situado al este del dique y en sentido contrario en la Playa de las Azucenas. Se aprecian también corrientes de menor entidad en la Playa del Cable sin una componente longitudinal bien definida. Las corrientes se limitan a la zona de las playas.
- Los temporales procedentes de poniente generan corrientes que siguen la misma trayectoria que en el caso anterior de los oleajes medios. Sin embargo, dichas corrientes son de mayor entidad que las anteriores y más caóticas al este del puerto. Al igual que en caso de los oleajes medios, las corrientes se limitan a la zona de las playas. Sin embargo, en la Playa del Cable aparecen más concentradas al norte de esta.

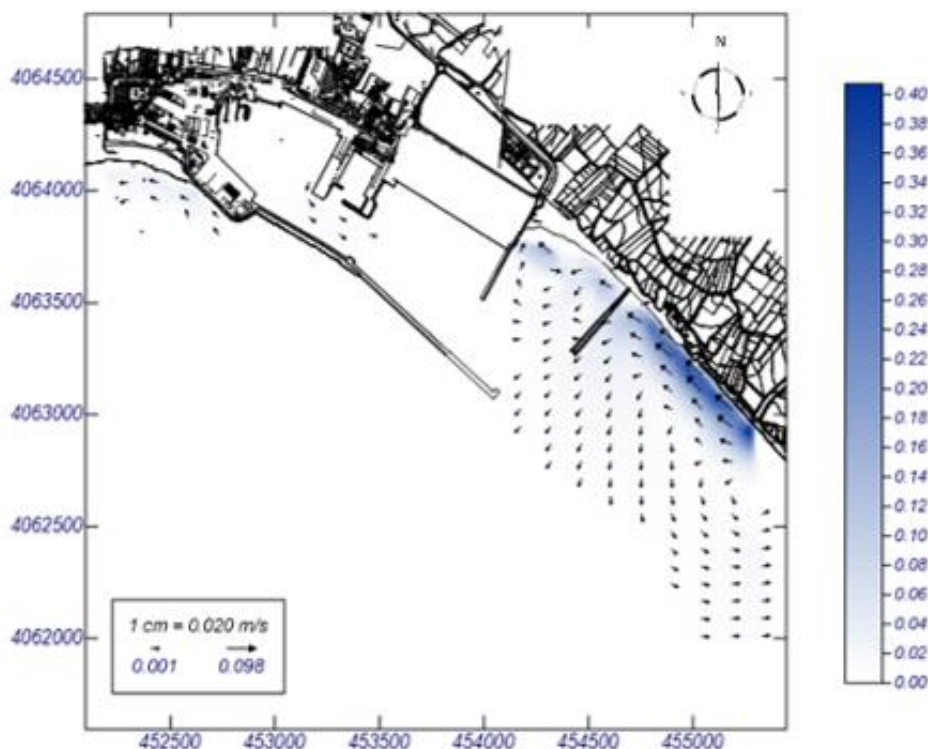
■ **Alternativa Exterior**

- Los temporales procedentes de levante generan corrientes significativas principalmente con una componente longitudinal S-N, generando ciertas corrientes de retorno en la Playa de las Azucenas. Las corrientes se limitan a la zona de las playas. Se aprecia también una pequeña concentración de corrientes de menor entidad con componente longitudinal en dirección S-N en la Playa del Cable, aunque casi despreciable.
- Los oleajes medios procedentes de levante generan corrientes que siguen la misma trayectoria que en el caso anterior de los temporales. Sin embargo, dichas corrientes son de menor entidad que las anteriores, y se limitan igualmente a la zona de las playas.
- Los oleajes medios procedentes de poniente generan pequeñas corrientes principalmente con una componente longitudinal N-S en el tramo situado al este del dique y en sentido contrario en la Playa de las Azucenas. Se aprecian también corrientes de menor entidad en la Playa del Cable sin una componente longitudinal bien definida y una pequeña concentración de corrientes en el canal que une la dársena interior y la dársena de las Azucenas en el interior del puerto. Las corrientes en este caso no se limitan a la zona de las playas, sino que se extienden hasta las proximidades del dique abrigo al este del puerto.
- Los temporales procedentes de poniente generan corrientes que siguen la misma trayectoria que en el caso anterior de los oleajes medios. Sin embargo, dichas corrientes son de mayor entidad que las anteriores aunque se limitan a la zona de las playas. En la Playa del Cable aparecen más concentradas al norte de esta, y se aprecia más fácilmente la componente longitudinal resultante, que sigue la dirección N-S y retorna al encontrarse con la dársena deportiva.

En general, las corrientes con mayor frecuencia de presentación serán las generadas por los oleajes más energéticos y frecuentes. Si se observa la rosa de oleaje en la zona de estudio

(¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), se corresponden con los oleajes del sector E, de tal forma que predominarán las corrientes en dirección S-N que dichos oleajes generan sobre la Playa de las Azucenas y en las proximidades del puerto en la Playa del Cable, aunque en algunas alternativas estas últimas no se producen o son tan pequeñas que se hacen casi despreciables.

A modo de ejemplo, en la siguiente gráfica se representan las corrientes generadas por un temporal típico de levante en la situación actual, que genera corriente N-S.



**Ilustración 46. Alternativa 0. Propagación temporal levante. Gráfico de vectores de corrientes-magnitud**  
Fuente: SMC y elaboración propia.

Y para finalizar, si se comparan las alternativas planteadas entre sí, hay que destacar que las mayores corrientes son generadas por los oleajes procedentes de levante para la Alternativa 1, tanto para oleajes medios como de temporal, mientras que las menores corrientes generadas por oleajes procedentes de esa misma dirección corresponden a la Alternativa 0, que corresponde con la configuración actual del puerto. Por otro lado, para los oleajes de temporal procedentes de poniente, las menores corrientes corresponden con la Alternativa 3 y las mayores corrientes se producen en la Alternativa 4, siendo de entidad similar en el resto de las alternativas. Y en su caso, los oleajes medios procedentes de poniente producen corrientes de magnitud similar en todas las alternativas, a excepción de la Alternativa 4, donde son un poco mayores.

### 1.3.2 Sedimentación

En el presente apartado se analiza la dinámica litoral de las playas de Las Azucenas y El Cable, límites con el Puerto de Motril, examinando los procesos de erosión y sedimentación, los cuales vendrán condicionados por su comportamiento característico frente a oleajes medios y temporales.

La principal causa modificadora de la dinámica litoral de las playas del municipio de Motril ha sido la construcción del Puerto de Motril y sus posteriores ampliaciones. Asimismo, cada alternativa planteada como configuración futura del PDI de Motril repercutirá en la dinámica litoral de dichas playas, y es lo que se va a analizar a continuación.

En definitiva, el análisis de la dinámica litoral de las playas de Las Azucenas y El Cable se ha realizado para cada una de las alternativas planteadas del PDI del Puerto de Motril, incluida la situación actual como Alternativa 0.

Atendiendo a los resultados de corrientes obtenidos en el apartado anterior para las distintas alternativas (los cuales se presentan en el Anejo I – Corrientes), se puede analizar el transporte sedimentario que se produce en la zona de estudio tras un temporal.

Mediante el módulo EROS del programa Sistema de Modelado Costero (SMC), desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, se realiza la simulación del transporte longitudinal de sedimentos, indicando las zonas de erosión y sedimentación tras la acción de un oleaje temporal. Las simulaciones se han realizado con las mismas mallas establecidas para la propagación del oleaje de las dos direcciones más frecuentes, cuyos parámetros característicos ya han sido presentados anteriormente en la Tabla 10. Dado el elevado volumen de figuras que supondría la presentación de los gráficos de sedimentación y transporte longitudinal para los dos casos de oleaje temporales planteados para cada una de las ocho alternativas, incluida la situación actual (un total de 32 gráficos, 4 gráficos por alternativa), se ha optado por presentar dichos gráficos en el Anejo II – Topografía final. Erosión/Sedimentación y en el Anejo III - Transporte Longitudinal.

Las principales conclusiones obtenidas del estudio de transporte de sedimentos son las siguientes:

- **Alternativa 0 – situación actual**
  - El mayor transporte de sedimentos es producido por los oleajes más energéticos correspondientes a los temporales procedentes de levante. La erosión se produce a lo largo de toda la costa, especialmente después del espigón que limita la Playa de las Azucenas hacia el este, en los 1,6 primeros metros de profundidad, depositándose a lo largo del perfil activo hasta los 6,6 m de profundidad.
  - Los temporales procedentes de poniente producen un transporte de sedimentos similar a los temporales de levante, aunque de magnitud menor. En cuanto a las zonas de erosión y sedimentación, cabe destacar que en este caso en la Playa del



Cable sólo existe sedimentación. Por su parte, en la zona este del puerto, la erosión y sedimentación se concentra puntualmente en las proximidades del espigón este de la Playa de las Azucenas en las mismas profundidades que para los temporales de levante.

▪ **Alternativa Levante**

- El mayor transporte de sedimentos es producido por los oleajes más energéticos correspondientes a los temporales procedentes de levante, que va en dirección S-N en la Playa de las Azucenas y N-S en la Playa del Cable (de entidad menor). La erosión se produce a lo largo de toda la costa en las playas de Las Azucenas y El Cable, en los 1,6 primeros metros de profundidad, depositándose a lo largo del perfil activo hasta los 6,6 m de profundidad.
- Los temporales procedentes de poniente apenas producen un transporte de sedimentos significativo en comparación con el de los temporales de levante. Se producen zonas de erosión y sedimentación con tendencia similar al caso anterior, pero de magnitud muy inferior.

▪ **Alternativa Poniente Playa**

- El mayor transporte de sedimentos es producido por los oleajes más energéticos correspondientes a los temporales procedentes de levante, en dirección S-N hasta el primer dique al este del puerto, generando un transporte mucho menor y contrario en la Playa de las Azucenas y alrededores. El transporte que se genera en la Playa del Cable puede considerarse despreciable. La erosión se produce a lo largo de toda la costa en la Playa de las Azucenas y va aumentando a medida que se aleja del puerto, en los 1,6 primeros metros de profundidad, depositándose a lo largo del perfil activo hasta los 6,6 m de profundidad.
- Los temporales procedentes de poniente apenas producen un transporte de sedimentos significativo en comparación con el de los temporales de levante. Se producen zonas de erosión y sedimentación con tendencia similar al caso anterior, pero de magnitud muy inferior.

▪ **Alternativa Poniente 1**

- El mayor transporte de sedimentos es producido por los oleajes más energéticos correspondientes a los temporales procedentes de levante, en dirección S-N hasta el primer dique al este del puerto, generando un transporte mucho menor y contrario en la Playa de las Azucenas. El transporte que se genera en la Playa del Cable va en dirección S-N y es de magnitud similar al que se produce en la Playa de las Azucenas. La erosión se produce a lo largo de toda la costa en la Playa de las Azucenas y va aumentando a medida que se aleja del puerto, en los 1,6 primeros metros de profundidad, depositándose a lo largo del perfil activo hasta los 6,6 m de profundidad. En la Playa del Cable solo hay erosión y es muy pequeña, prácticamente despreciable.

- Los temporales procedentes de poniente apenas producen un transporte de sedimentos significativo en comparación con el de los temporales de levante. Se producen zonas de erosión y sedimentación con tendencia similar al caso anterior, pero de magnitud muy inferior.
- **Alternativa Poniente 2**
  - El mayor transporte de sedimentos es producido por los oleajes más energéticos correspondientes a los temporales procedentes de levante, en dirección S-N hasta el primer dique al este del puerto, generando un transporte mucho menor y contrario en la Playa de las Azucenas. El transporte que se genera en la Playa del Cable va en dirección N-S y es de magnitud similar al que se produce en la Playa de las Azucenas. La erosión se produce a lo largo de toda la costa en la Playa de las Azucenas y va aumentando a medida que se aleja del puerto, en los 1,6 primeros metros de profundidad, depositándose a lo largo del perfil activo hasta los 6,6 m de profundidad. En la Playa del Cable solo hay erosión y es muy pequeña, prácticamente despreciable.
  - Los temporales procedentes de poniente apenas producen un transporte de sedimentos significativo en comparación con el de los temporales de levante. Se producen zonas de erosión y sedimentación con tendencia similar al caso anterior, pero de magnitud muy inferior.
- **Alternativa Poniente 3**
  - El mayor transporte de sedimentos es producido por los oleajes más energéticos correspondientes a los temporales procedentes de levante, en dirección S-N hasta el primer dique al este del puerto, generando un transporte mucho menor y contrario en la Playa de las Azucenas. El transporte que se genera en la Playa del Cable puede considerarse despreciable. La erosión se concentra en el extremo oeste de la Playa de las Azucenas y va disminuyendo a medida que se aleja del puerto volviendo a aumentar pasado el espigón, en los 1,6 primeros metros de profundidad. La sedimentación actúa de forma similar a la erosión lo largo del perfil activo hasta los 6,6 m de profundidad.
  - Los temporales procedentes de poniente apenas producen un transporte de sedimentos significativo en comparación con el de los temporales de levante. Se producen zonas de erosión y sedimentación con tendencia similar al caso anterior, pero de magnitud muy inferior.
- **Alternativa Poniente 4**
  - El mayor transporte de sedimentos es producido por los oleajes más energéticos correspondientes a los temporales procedentes de levante, en dirección S-N hasta el primer dique al este del puerto, generando un transporte mucho menor y contrario en la Playa de las Azucenas y alrededores. El transporte que se genera en la Playa del Cable puede considerarse despreciable. La erosión se concentra en el extremo oeste de la Playa de las Azucenas y va disminuyendo a medida que se

aleja del puerto volviendo a aumentar pasado el espigón, en los 1,6 primeros metros de profundidad. La sedimentación actúa de forma similar a la erosión lo largo del perfil activo hasta los 6,6 m de profundidad.

- Los temporales procedentes de poniente apenas producen un transporte de sedimentos significativo en comparación con el de los temporales de levante. Se producen zonas de erosión y sedimentación con tendencia similar al caso anterior, pero de magnitud muy inferior.

▪ **Alternativa Exterior**

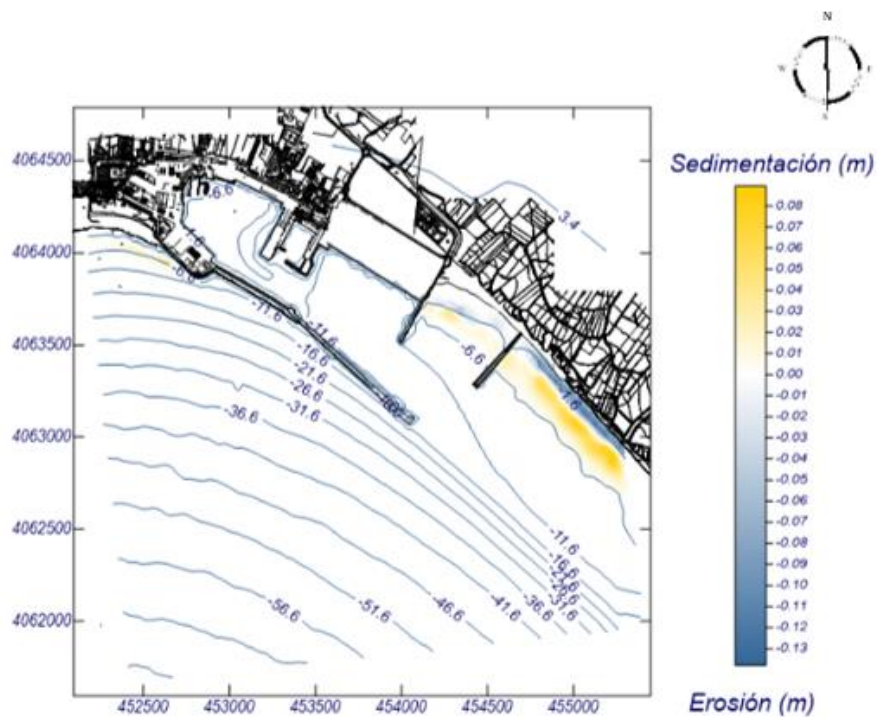
- El mayor transporte de sedimentos es producido por los oleajes más energéticos correspondientes a los temporales procedentes de levante, en dirección S-N hasta el primer dique al este del puerto, generando un transporte mucho menor y contrario en la Playa de las Azucenas. El transporte que se genera en la Playa del Cable puede considerarse despreciable. La erosión se concentra en el extremo oeste de la Playa de las Azucenas y va disminuyendo a medida que se aleja del puerto volviendo a aumentar pasado el espigón, en los 1,6 primeros metros de profundidad. La sedimentación actúa de forma similar a la erosión lo largo del perfil activo hasta los 6,6 m de profundidad.
- Los temporales procedentes de poniente apenas producen un transporte de sedimentos significativo en comparación con el de los temporales de levante. Se producen zonas de erosión y sedimentación con tendencia similar al caso anterior, pero de magnitud muy inferior.

En general, el mayor transporte de sedimentos es producido por los oleajes más energéticos y frecuentes, que como ya se ha mencionado anteriormente se corresponden con los oleajes de temporal del sector E, y, en este caso, al predominar las corrientes en dirección S-N, el transporte neto de sedimentos resultante también es hacia el Norte.

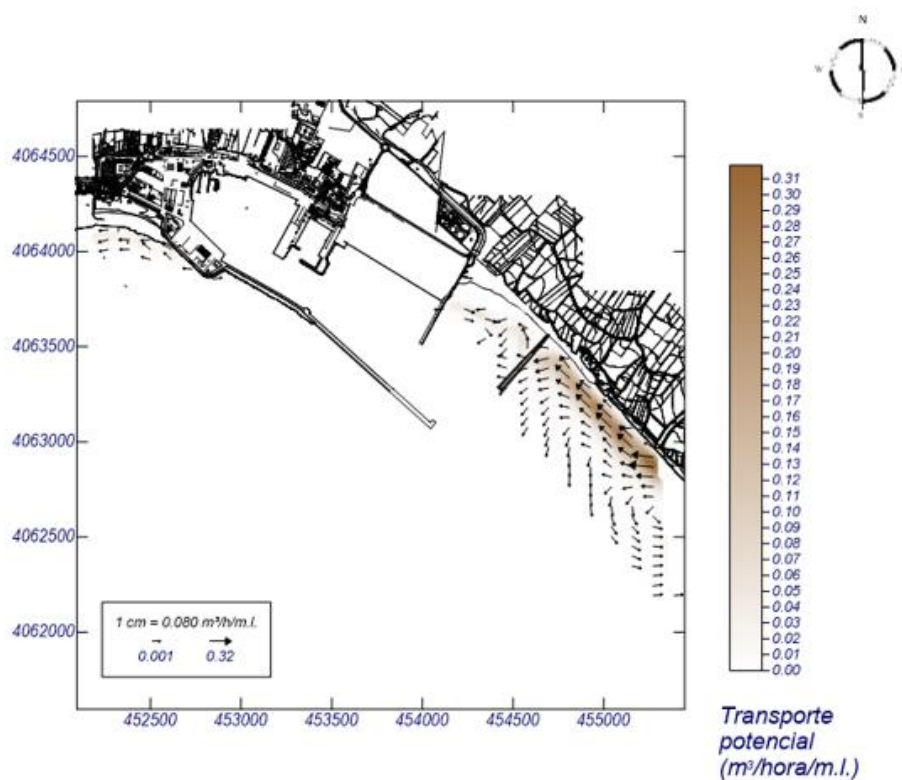
Y para finalizar, si se comparan las alternativas planteadas entre sí para los oleajes de temporal de levante, hay que destacar que, en general, las magnitudes del transporte son similares en todas las alternativas planteadas, a excepción de la Alternativa 0, que representa la situación actual del Puerto de Motril, y presenta el menor transporte potencial de sedimentos.

A modo de ejemplo, en las siguientes gráficas se representan las zonas de erosión y sedimentación y los resultados del transporte potencial de sedimentos producidas por un temporal típico de levante en la situación actual.





**Ilustración 47. Alternativa 0. Topografía final y variación de la topografía. Temporal levante**



**Ilustración 48. Alternativa 0. Temporal levante. Gráfico de vectores de transporte-magnitud.**  
Fuente: SMC y elaboración propia.

### 1.3.2.1 Tasas de sedimentación

En el presente apartado se realiza una estimación del transporte neto medio anual que se producirá en las playas de Las Azucenas y El Cable, limítrofes con el Puerto de Motril, para la situación actual (Alternativa 0) y la alternativa Poniente 1.

Mediante el módulo Odín del programa Sistema de Modelado Costero (SMC), desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, se puede estimar el transporte potencial, es decir, aquel que se producirá en un año medio si hubiese total disponibilidad de sedimentos, por las dos formulaciones más habituales (CERC y Kamphius), empleando los parámetros de ajuste propuestos por Schoones y Theron (1996, 1999). De esta forma, se puede estimar el transporte potencial bruto (sin atender a su sentido a lo largo de la línea de costa), y el transporte potencial neto (realizando el balance del transporte por sentidos). En este último es en el que se va a centrar este análisis.

Para el cálculo del transporte potencial de sedimentos mediante Odín, es necesario definir dos parámetros característicos de la playa objeto de estudio, y son: la pendiente media del perfil de playa y el tamaño medio de sedimento. Tomando como referencia las fichas de las playas desarrolladas por el Ministerio del Medio Ambiente, con código G182 para la Playa de las Azucenas y código G183 para la Playa de Pelaillo o Poniente (que incluye la Playa del Cable), los valores de dichos parámetros para las playas de las Azucenas y El Cable se recogen en la siguiente tabla:

**Tabla 11. Parámetros característicos de las playas de estudio.**

PLAYA	PARÁMETRO	MAGNITUD
Las Azucenas	Tamaño de grano (mm)	1,01
	Pendiente media (adimensional)	0,04
El Cable	Tamaño de grano (mm)	1,76
	Pendiente media (adimensional)	0,08

Se han considerado tres puntos de control para la estimación del transporte neto de sedimentos en la zona de estudio: dos puntos en la Playa de las Azucenas, uno próximo al puerto y otro más al este, dado que varía ligeramente la alineación media en ese tramo de costa; y el tercer punto corresponde a la Playa del Cable, y se sitúa en las inmediaciones del puerto.

Además, hay que destacar que los oleajes incidentes en las playas de estudio varían ligeramente entre la situación actual y la configuración futura, siendo el abanico de oleajes incidentes algo menor en el segundo caso, ya que vendrán condicionados por los nuevos puntos de difracción. Los ángulos límites del oleaje incidente para las playas de estudio se recogen en la siguiente tabla:

**Tabla 12. Abanico de oleaje incidente para la situación actual y la configuración futura.**

ALTERNATIVA	PLAYA	ABANICO OLEAJE INCIDENTE (°)
<b>Alternativa 0 Situación actual</b>	Las Azucenas	150 a 215
	Las Azucenas (este)	140 a 268
	El Cable	125 a 254
<b>Alternativa 3 Alternativa seleccionada</b>	Las Azucenas	164 a 210
	Las Azucenas (este)	140 a 265
	El Cable	110 a 254

A continuación, se presentan los resultados de transporte neto medio anual estimados en base a lo expuesto anteriormente:

**Tabla 13. Resultado del transporte neto medio anual para la situación actual y la configuración futura.**

ALTERNATIVA	PLAYA	TRANSPORTE NETO MEDIO ANUAL CERC (m <sup>3</sup> /año)	TRANSPORTE NETO MEDIO ANUAL KAMPHIUS (m <sup>3</sup> /año)
<b>Alternativa 0 Situación actual</b>	Las Azucenas	62.964,07 (→)	18.487,03 (→)
	Las Azucenas (este)	2.095.373,92 (←)	532.769,01 (←)
	El Cable	620.408,66 (←)	220.773,16 (←)
<b>Alternativa 3 Alternativa seleccionada</b>	Las Azucenas	52.810,17 (→)	14.506,69 (→)
	Las Azucenas (este)	2.020.644,26 (←)	519.340,32 (←)
	El Cable	479.985,25 (→)	207.159,02 (→)

Las principales conclusiones obtenidas de la estimación de tasas de transporte de sedimentos son las siguientes:

- El transporte neto medio anual sigue la dirección N a S en el punto de control más próximo al puerto en la Playa de las Azucenas, siendo de mayor entidad (>>>) y contrario (S a N) en el punto de control definido más al este para esa misma playa, tanto para la situación actual como para la configuración futura.
- El transporte neto medio anual sigue la dirección N a S en la Playa del Cable para la situación actual, mientras que en la configuración futura la magnitud resultante de transporte es menor y va en sentido contrario (S a N).
- El transporte neto medio anual (en magnitud) es de entidad menor en el caso de la alternativa seleccionada (configuración futura) en las dos playas de estudio, en comparación con la situación actual.



Por tanto, de acuerdo con las conclusiones anteriores, se corroboran los resultados obtenidos en el apartado 1.3.2 del presente documento, para el transporte litoral de sedimentos en playas de la zona de estudio.

## 2 NOTAS FINALES Y FIRMAS

El presente Trabajo 4: Modelización Hidrodinámica, ha sido elaborado en Santander. A continuación, la siguiente tabla recoge las personas que han participado en la redacción de la documentación:

**Tabla 14. Equipo de redacción**

AUTOR	DNI	TITULACIÓN
<b>Macario Fernández Alonso Trueba</b>	13691450 X	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos MSc in Business Administration PRINCE2 Practitioner
<b>Sara Calvo Fernández</b>	79327740G	Ingeniera de Caminos Canales y Puertos
<b>Jared Ortiz Angulo Cantos</b>	78977703G	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Máster en Ingeniería Costera y Portuaria
<b>Carmen Díaz García</b>	72082780K	Ingeniera Civil Especialidad Hidrología
<b>Ángel Mateos Alonso</b>	44494165K	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

En Santander, a 30 de octubre 2019



Fdo. Sara Calvo Fernández  
MCVALNERA