

**ANEJO 3: ESTUDIOS DEL MEDIO FÍSICO
Y CRITERIOS JUSTIFICATIVOS DE LOS BIENES DE
DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE**

ÍNDICE GENERAL

Memoria.

Anexos a la Memoria.

Anexo 1: Estudio Geomorfológico.

Anexo 2: Descripción general de la Dinámica Litoral en el entorno del tramo de estudio

Anexo 3: Estudio para la determinación del alcance del nivel máximo que asciende el mar.

Anexo 4: Determinación y criterios justificativos del DPMT

Memoria.....	<u>4</u>
1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	5
2 ESTUDIO DEL MEDIO FÍSICO	6
2.1 Mapa de unidades morfogénicas.	6
2.2 Descripción general de la dinámica del litoral.	7
2.3 Estudio para la determinación del alcance del nivel máximo que asciende el mar.....	8
3 DETERMINACIÓN Y CRITERIOS JUSTIFICATIVOS DEL DPMT Y DE LA RIBERA DEL MAR	9
<u>Anexo nº1: Estudio Geomorfológico</u>	<u>12</u>
1 SITUACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y FÍSICAS	13
2 ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	16
2.1 Marco geológico	16
2.2 Marco geológico local	17
3 DOMINIO MORFOGENÉTICOS.	20
3.1 Dominio Morfogénico Marino.	20
3.2 Dominio Morfogénico Continental	22
3.3 Dominio Morfogénico Antropizado.....	22
4 MAPA DE UNIDADES MORFOGENÉTICAS	25
<u>Anexo nº2: Descripción General de la Dinámica Litoral en el entorno del tramo de estudio.</u>	<u>28</u>
1 ESCRIPCIÓN GENERAL DEL CLIMA MARÍTIMO	29
<u>Anexo nº3: Estudio para la determinación del alcance del nivel máximo que asciende el mar</u>	<u>35</u>
1. ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ALCANCE DEL NIVEL MÁXIMO QUE ASCIENDE EL MAR DURANTE LOS MÁXIMOS TEMPORALES CONOCIDOS. 36	
1.1 Planteamiento justificado de la estimación del nivel máximo que asciende el mar 36	
1.2 Obtención de los datos de clima marítimo necesarios para la identificación de los mayores temporales desde que se tienen registros.	38
1.3 Cálculo de la cota de inundación asociada a cada evento de temporal estimado.	43
<u>Anexo nº4: Determinación y criterios justificativos del deslinde del dominio público marítimo-terrestre.</u>	<u>47</u>
1. OBJETO	48
2 DETERMINACIÓN Y CRITERIOS JUSTIFICATIVOS DEL DESLINDE DEL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE	48
2.1 Criterios justificativos del deslinde del dominio público marítimo terrestre en el tramo en estudio	48
2.2 Determinación del dominio público marítimo-terrestre en el tramo en estudio.....	49
3 CAMBIO CLIMÁTICO: CONSECUENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES. PROTECCIÓN DE LA COSTA Y DEL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE. 58	

Memoria

1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio es la determinación de las características físicas de los bienes litorales de un tramo de la costa del término municipal de Algarrobo, que es objeto de deslinde del dominio público marítimo-terrestre y su cumplimiento con lo establecido en la legislación de costas vigente. Este tramo en estudio cubre una longitud conjunta de unos trescientos veintitrés metros (323 m) de poligonal de deslinde de la zona de Algarrobo-Costa, entre el término municipal de Vélez-Málaga y la urbanización Pueblo Nuevo. Con la información obtenida, se justificará qué terrenos, por sus características físicas o administrativas, han de pertenecer al dominio público marítimo-terrestre de acuerdo a lo expresado en la Ley 22/88, de Costas, en la Ley 2/2013 de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, y el Reglamento General de Costas, que las desarrolla, aprobado por Real Decreto 876/2014 de 10 de octubre.

El tramo se caracteriza por ser uniforme y completamente urbanizado. La costa está formada por una playa regresiva donde, al final del tramo se construyó un espigón para retener en lo posible la arena de la playa entre éste y el puerto de Caleta de Vélez. Al interior existe un vial rodado, con sus correspondientes aceras, paralelo a la playa y separado de ella por un pequeño muro y una escollera defensiva baja.



Ortofotografía PNOA 2022.

Los estudios del medio de la zona de deslinde tratan de establecer una justificación conforme a los preceptos jurídicos recogidos en la legislación vigente, basados en las características físicas del terreno, mediante el apoyo en los estudios técnicos necesarios y desde el análisis y valoración de éstos, confirmar que las características del deslinde son acordes a dichos preceptos jurídicos y así mismo establecer, en base a sus características físicas, el límite interior de la ribera del mar para el consecuente establecimiento de las franjas de servidumbre asociadas a todo dominio público marítimo-terrestre.

Dada la morfología de la costa, se ha analizado la dinámica del litoral, se han interpretado fotografías aéreas y sobre el terreno y la geomorfología del tramo, cuyos resultados han permitido establecer las unidades morfogenéticas del ambiente litoral y mediante la interpretación conjunta de todos estos resultados, obtener criterios objetivos que han servido para poder marcar el límite entre los dominios puramente marinos, los continentales y los de transición (marino-continentales), teniendo en cuenta a su vez las

actuaciones de origen antrópico que han transformado dichos dominios dándole en este caso también la denominación de dominio antrópico a los terrenos que han sido transformados por el hombre para su establecimiento (zonas urbanizadas).

2 ESTUDIO DEL MEDIO FÍSICO

2.1 Mapa de unidades morfogenéticas.

El mapa de unidades morfogenéticas se ha elaborado con el objetivo de permitir una identificación de terrenos con unas características determinadas por la legislación vigente en materia de costas que permita su inclusión en el dominio público marítimo terrestre y caracterice aquellos incluidos en la ribera del mar porque cumplen con las características naturales que dicha legislación indica al respecto.

El mapa de unidades morfogenéticas clasifica éstas dentro de tres dominios geomorfológicos; Marino, Continental y Antrópico, según la naturaleza del mismo o su grado de modificación por la acción de la actividad humana.

La metodología que se realiza para obtener la clasificación morfogenética es:

- Consulta de la información existente: Han sido consultados e investigados los principales trabajos existentes (publicaciones, trabajos de investigación o universitarios, Estudio Ecocartográfico de la provincia de Málaga, etc.), de índole geomorfológica, geológica y morfológica, sobre la zona costera de Málaga en general y del entorno de la zona de estudio en particular.
- Análisis fisiográfico: Se han estudiado y analizado en una primera aproximación los mapas a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional en la zona de estudio. A continuación, se ha realizado un análisis más detallado fisiográfico realizado sobre cartografía obtenida mediante restitución fotogramétrica digitalizada utilizada en el Estudio Ecocartográfico de la provincia de Málaga, encargado por la Dirección General de Costas (así denominada entonces), con apoyo de revisión topográfica sobre el terreno donde ha sido necesario actualizar alguna referencia, y con refuerzo de fotografía aérea de vuelos actuales, bien sean los propios de la Demarcación de Costas o los consultables libremente como los del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), así como las fotografías aéreas históricas: desde los Vuelos Americanos hasta la actualidad.
- Estudios de condicionantes de la Dinámica Litoral y el Clima Marítimo: Se han estudiado las características principales que definen y determinan tanto el clima marítimo de la zona como su dinámica litoral, con la obtención de los datos de la web de Puertos del Estado en referencia a las boyas más cercanas de caracterización del oleaje, y sus series históricas, que sirven para determinar los valores temporales máximos observados en un periodo de años determinado, y a partir de estos datos, los alcances máximos producidos por el oleaje durante los mayores temporales conocidos.
- Realización del Mapa de unidades morfogenéticas: Se han identificado las distintas unidades y dominios geomorfológicos, primeramente, mediante técnicas fotogeológicas, con apoyo fisiográfico, y después mediante su reconocimiento en campo. En el conjunto de la zona litoral se han distinguido, según los objetivos a determinar en este estudio, diversas unidades morfogenéticas, que han sido agrupadas dentro de tres grandes dominios

posibles, según el agente morfológico que las ha originado: Dominio Marino, Dominio Continental y Dominio Antrópico.

❖ Dominio Marino:

- Acumulaciones eólicas de arena de playa.
- Playas de arenas y gravas.
- Zonas de interferencia playa-fluvial.
- Modificaciones antrópicas del Dominio Marino:
 - ◆ Duna antropizada.
 - ◆ Escolleras.
 - ◆ Terrenos de interferencia marino-continental (dunar-fluvial).

❖ Dominio Continental:

- Sustrato rocoso.
- Depósitos cuaternarios de ladera y fluviales.
- Depósitos cuaternarios fluviales.

❖ Dominio Antrópico:

- Terraplenes, formaciones de movimiento de tierras.
- Vías y carreteras (paseos marítimos).
- Edificaciones.
- Memoria explicativa del estudio geomorfológico: En el anexo 1 se presenta una memoria explicativa del mapa geomorfológico. En esta memoria se describen los contextos fisiográficos y geológicos, como base para entender la geomorfología, las diversas formas y dominios morfogenéticos identificados, y la evolución geomorfológica.

2.2 Descripción general de la dinámica del litoral.

Se ha realizado un estudio genérico que define la dirección principal de la dinámica litoral del entorno de costa del tramo objeto de este estudio mediante el flujo medio de energía. En general, se puede decir que en el tramo que nos ocupa la energía del oleaje se produce en modo oblicuo respecto al plano de la costa con tendencia principal de Levante. La afección de las playas por el movimiento de sedimentos es importante por lo que se han construido, a lo largo de la costa de Algarrobo, diversos espigones para reducir el efecto del mar sobre la arena de las playas. En general, hay dos tipos de playas: las expuestas, que son estrechas, como la que nos ocupa y las tipo "cala", que están protegidas por afloramientos rocosos, por lo que estas últimas no suelen estar muy afectadas por el flujo de energía del oleaje. La construcción de los espigones en esta zona trata de simular el efecto de las playas tipo cala mediante infraestructuras artificiales.

La estabilidad de las playas en esta zona está condicionada por las corrientes locales que la infraestructura del puerto de La Caleta ha producido en la zona por lo que, debido al flujo de energía del oleaje y la modificación de las corrientes locales por dicha infraestructura, ha sido necesaria la instalación de espigones. La playa no es estable tendiendo a perder progresivamente arena por lo que es necesario el aporte periódico

de arena de forma artificial para el mantenimiento o crecimiento de la anchura de la playa y mantener el servicio turístico al que está destinada.

Otras características definitorias de la dinámica del litoral en estas zonas es el aumento de los eventos de temporal con alturas superiores a los 5 metros en las últimas dos décadas, la alta presión antrópica y la creación de infraestructuras en el litoral, como las escolleras, los espigones, el relleno de terrenos para ampliación de zonas emergidas, etc.

2.3 Estudio para la determinación del alcance del nivel máximo que asciende el mar.

Para la determinación del nivel máximo que asciende el mar hay que contextualizar en primer lugar el tramo de costa estudiado, en referencia al deslinde objeto de este anejo, y su relación con zonas demaniales deslindadas con anterioridad, como las correspondientes a la zona marítimo terrestre (ZMT), y la legislación con la que se aprobaron éstos (Ley de Costas de 1969, Ley de Puertos de 1928, etc.), y en segundo lugar, la aprobación de las diferentes legislaciones sobre costas de los últimos años (Ley de costas de 1988 y reglamento general de costas de 1989).

En octubre de 2014 se publicó un nuevo Reglamento General de Costas mediante el Real Decreto 876/2014 de 10 de octubre que derogó el anterior de 1989.

Además de la circulación de energía del oleaje, otras características definitorias de la dinámica del litoral es el aumento de los eventos de temporal con alturas significantes superiores a los 5m en las últimas dos décadas, la alta presión antrópica y la creación de diversas infraestructuras en el litoral como urbanizaciones, paseos marítimos, escolleras, espigones, etc.

Para la determinación de alcance de la inundación por oleaje hay que contextualizarlo en las consideraciones que sobre el alcance se hace en la Ley de Costas y su Reglamento ya que es el marco en el cual se sitúa este estudio de oleaje, como también lo es el cambio climático por la elevación prevista del nivel del mar y el incremento de la intensidad y frecuencia de los temporales marinos.

En función del estudio para la determinación del alcance del nivel máximo que asciende el mar durante los mayores temporales conocidos, analizando los diferentes planteamientos teóricos de distintas formulaciones empíricas, contrastados con el Atlas de Inundación en el Litoral Peninsular Español desarrollado por la Universidad de Cantabria, se pueden realizar las siguientes aseveraciones:

- La zona de estudio queda encuadrada en el Área V, subzona b, según el Atlas de Inundación del litoral peninsular español efectuado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica de la Universidad de Cantabria.
- Para la obtención del régimen de mareas para el cálculo de la cota de inundación se ha tenido en cuenta los datos registrados por el mareógrafo de Málaga.
- Para la obtención de datos de oleaje en los últimos años se ha utilizado la información del punto SIMAR 2036080 ya que es el punto más significativo para la zona objeto del estudio.
- A efectos del cálculo del alcance máximo del oleaje en los mayores temporales conocidos, se han considerado las variaciones del nivel del mar y del oleaje registrados, para lo que se han tenido en cuenta los valores significantes de altura de ola desde que existen registros. Se han

utilizado los datos registrados por Puertos del Estado, que datan del año 1958 hasta la actualidad, siendo, además, públicos y disponibles para cualquier interesado.

- Se usaron todos los registros para determinar los mayores temporales conocidos desde que hay registros (desde 1958) buscándose el periodo de cinco años de alcance del oleaje y con ellos se estudiaron en detalle aquellos cuya altura de ola significativa fue mayor junto con sus periodos pico y dirección predominante. Con ellos se hicieron los cálculos necesarios para establecer la cota de inundación del temporal que alcanza por quinta vez en cinco años la zona como se establece en el artículo 4 del Reglamento General de Costas de 2014.
- Se puede establecer que la cota de inundación a la que alcanza el quinto temporal ocurrido en la zona de estudio en playa abierta y sin estructuras de limitación (cuya estructura y cotas no aparezcan representadas en la cartografía) puede situarse en los +2,21 metros sobre el nivel medio del mar en Alicante. Esto se explicará en detalle en el cuerpo de este estudio.

Respecto al cálculo de la cota de inundación y el alcance de la inundación hay que tener en cuenta las siguientes precauciones de las que se da cuenta en la información de Puertos del Estado para los datos de partida que han sido usados, su relación con los cálculos y resultados finales, así como con el objetivo de este estudio:

- Los modelos generados por los puntos SIMAR *“tienden a subestimar los picos en las velocidades de viento y en las alturas de ola en situaciones de temporal muy extremo”*, es decir, los datos de altura de ola y viento que ofrece durante los mayores temporales suelen ser inferiores a la altura real de las olas o la velocidad real del viento. Esto es importante en el objetivo que nos ocupa puesto que, con los datos subestimados de los temporales, la extensión de la inundación también estará subestimada y por tanto, la anchura del DPMT también estará “subestimada” en aquellas zonas caracterizadas por el alcance del oleaje durante los mayores temporales conocidos, por lo que se puede decir que esta circunstancia es más favorable para los posibles afectados en dichas zonas.
- Además, para el cálculo de la cota de inundación y del alcance de la inundación se usan la altura de ola significativa (Hs) y el periodo pico (Tp) principalmente. Así Puertos del Estado explica que la altura de ola significativa (Hs) *“equivale aproximadamente a la altura media del tercio de olas más altas”* y el periodo pico (Tp) es *“el periodo del grupo de ondas con más energía”*. Por lo que el uso de Hs (ya subestimado porque los valores extremos los puntos SIMAR los subestiman), al ser una media, también subestima aún más los resultados de cota y alcance de la inundación y con el Tp ocurre lo mismo al tratarse de una media de un grupo de ondas (no de la máxima) por lo que es aún más favorable para los posibles afectados ya que el límite de la ribera del mar a causa del alcance del oleaje por los mayores temporales conocidos está “doblemente” subestimado (además de la subestimación de los datos extremos que tiene el uso de los puntos SIMAR).

3 DETERMINACIÓN Y CRITERIOS JUSTIFICATIVOS DEL DPMT Y DE LA RIBERA DEL MAR

Una vez estudiados los aspectos que condicionan la delimitación del deslinde del dominio público marítimo-terrestre, de la ribera del mar, así como de sus servidumbres asociadas, se analizan conjuntamente todos ellos de acuerdo a los preceptos jurídicos de la Ley de

Costas que permiten la inclusión en este demanio de los diferentes ambientes que configuran esta zona del litoral.

Los criterios jurídicos seguidos para esta división se presentan en el anexo 4, y se han basado en las características identificadas en los estudios realizados.

Además, se hace referencia somera sobre las posibles consecuencias que los efectos del cambio climático sobre los eventos meteorológicos locales pudieran tener en la configuración futura del DPMTy de sus características en este sector de la costa de la provincia de Málaga.

ANEXOS A LA MEMORIA.

Anexo n°1: Estudio Geomorfológico

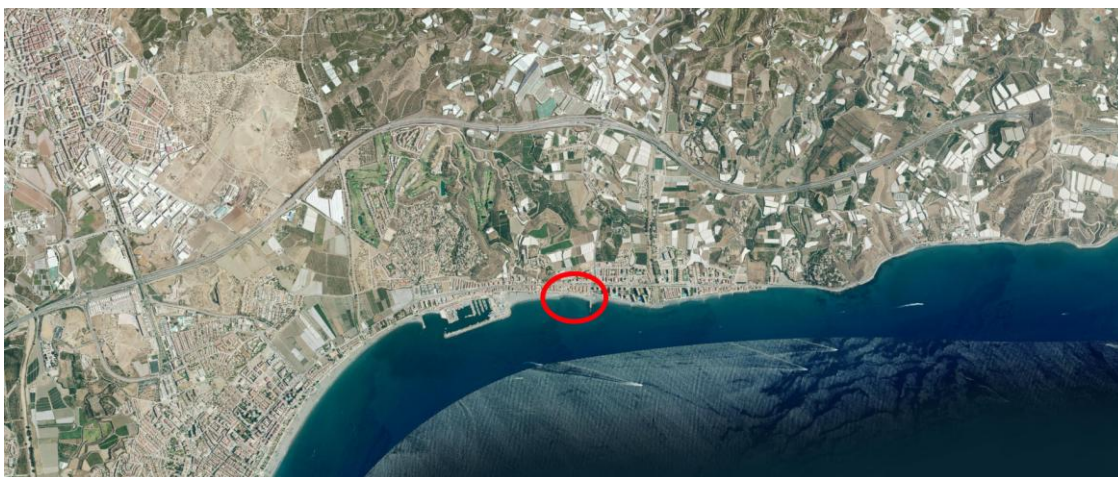
1 SITUACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y FÍSICAS

El municipio de Algarrobo está situado en la Comarca de la Axarquía, al este de la provincia de Málaga. El caso urbano de Algarrobo encuentra situado a una altitud de 86 metros y a 39 km de la capital de la provincia, Málaga, y a 10.4 km de la cabecera comarcal, Vélez-Málaga. Limita al norte con el municipio de Arenas y Sayalonga, al este y oeste con Vélez-Málaga y al sur con el mar Mediterráneo.

La extensión superficial del término municipal es de 9,73 km². Las fuertes pendientes de este territorio se deben a la orografía del área en que se ubica en el pie del monte suroccidental de la Sierra Tejeda y Almajara, y la sierra Bentomiz. Junto a esta área abrupta se abre paso, el valle del río Algarrobo.

El río Algarrobo parte de la sierra Almajara atraviesa longitudinalmente el término municipal en un recorrido de unos 6 km, define el paisaje en las distintas áreas del término.

El sistema de infraestructuras viarias del término municipal de Algarrobo se vertebra por la Autovía A-7 del Mediterráneo, la carretera costera del Estado N-340 y la carretera autonómica de Cádiz (A-7206).



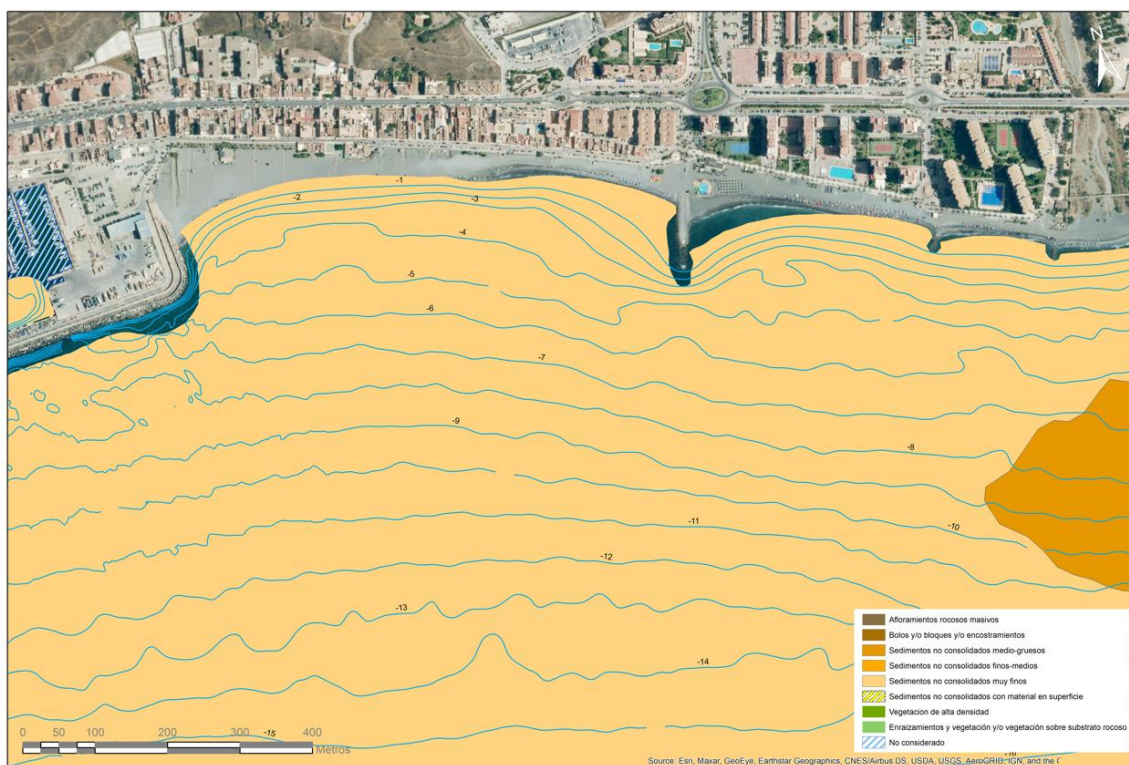
Emplazamiento de la zona de estudio.

Los ríos y arroyos tienen en general un trazado casi rectilíneo con dirección N-S y con un comportamiento estacional claro, que está condicionado por la proximidad de las elevaciones montañosas a la costa y una pluviometría irregular con marcado carácter estacional pudiendo alcanzar importantes volúmenes de agua a alta velocidad en situaciones de lluvias torrenciales que es posible que causen daños aguas abajo por la ocupación de algunas zonas de la llanura de inundación.

En relación a la disposición natural de la costa, ésta es W-E y por tanto expuesta a los principales temporales marinos de esta zona del Mediterráneo que proceden, principalmente, del ESE. Por ello la playa de la zona tiende a perder arena, sobre todo, en los últimos años debido al incremento de los temporales severos tanto en frecuencia como en intensidad unido a instalaciones que modifican la dinámica litoral natural como es el puerto de La Caleta de Vélez por lo que la playa ha de ser regenerada periódicamente, aunque se instalaran en su momento espigones perpendiculares a la costa para reducir la incidencia de los temporales de levante y la pérdida de arena de las playas.

La costa sumergida del tramo en estudio está formada, (según la cartografía de los fondos marinos extraída de la REDIAM de la Junta de Andalucía) en su mayoría por "sedimentos no consolidados muy finos" y, frente a la desembocadura del río Algarrobo,

se encuentra una zona restringida con sedimentos medio-gruesos, probablemente debido al aporte de sedimento por el río por los arrastres durante aguaceros intensos.



Morfología de los fondos del litoral de Málaga (REDIAM, Junta de Andalucía).

El tramo de costa emergida en estudio se caracteriza por una orografía abrupta con elevadas pendientes al encontrarse, al interior, las sierras de Tejeda y Almijara, sierras donde se encuentra el punto más alto de la provincia de Málaga, el pico Tejeda (2.069m) situado a menos de 18 km de la costa, lo que es un indicativo de las elevadas pendientes de esta zona de la comarca de la Axarquía.

Destacable es el río Algarrobo en la parte central del ligero saliente costero entre el puerto de la Caleta de Vélez y Punta de las Ballenas. Se trata de una configuración deltaica de la desembocadura del río Algarrobo ya que es un río estacional que arrastra importantes cantidades de sedimento por la erosión y alta pendiente del cauce. En la fotografía aérea de 1964 se aprecia un cauce ancho con importantes cantidades de áridos, que actualmente han sido ocupados por campos de cultivo, instalaciones deportivas o una depuradora de aguas residuales.



Fotografía aérea 1964.



Ortofotografía PNOA 2022.

Tras la construcción del puerto de La Caleta de Vélez la regresión de la costa a levante del mismo produjo una reducción significativa de las playas por lo que para el mantenimiento de ellas se tuvieron que construir una serie de espigones sucesivos, principalmente en la parte Este, entre la punta de las Ballenas y el río Algarrobo sumándose escolleras defensivas para reducir el efecto del oleaje sobre la costa:



Ortofotografía PNOA 2022. Serie de espigones.

Aunque también existe este tipo de infraestructura en la parte oeste con espigones (uno de ellos muy prominente) así como una escollera baja al exterior del muro de separación de la playa con el vial para defender el vial del oleaje como se ve en la siguiente fotografía de mayo de 2024.

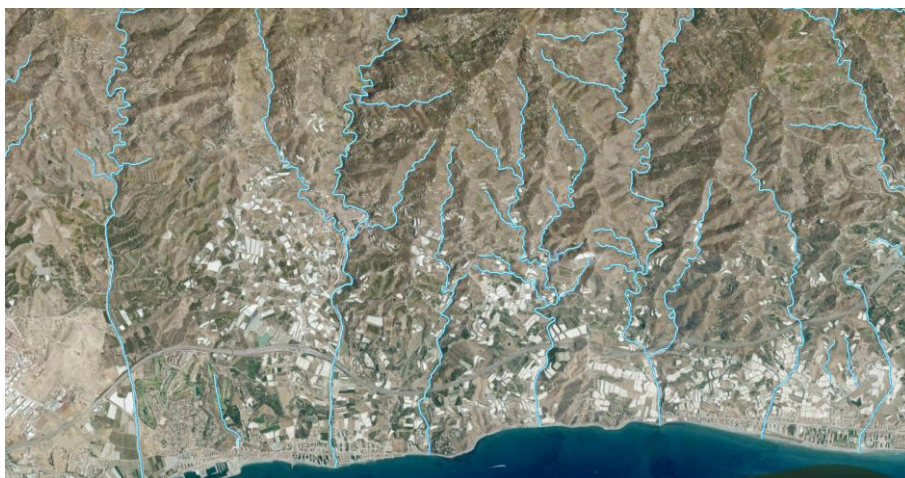


El tramo en estudio se encuentra en una de las zonas del sur de la península Ibérica donde la incidencia térmica está influida por el régimen de vientos, siendo suavizada la temperatura con los vientos de procedencia marítima, mientras que la temperatura es incrementada de manera ostensible con los vientos secos de terral, es decir, los de procedencia interior y principalmente los que atraviesan las sierras por producirse en esas masas de aire el efecto Foehn. La temperatura media oscila entre los 16 y los 17 °C. La zona de Algarrobo-costa por efecto de los vientos, la amortiguación térmica que produce el mar, la latitud en la que se encuentra, la orografía, las escasas precipitaciones y el efecto de los vientos genera un clima mediterráneo subdesértico suave.

2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.1 Marco geológico

A grandes rasgos, la hidrología es del tipo dendrítico con formación arborescente en el que los afluentes se unen a las corrientes principales formando ángulos agudos dada la escasa longitud de los cauces como en el río Algarrobo.



Cauces de ríos y arroyos tipo dendrítico en la zona de estudio.

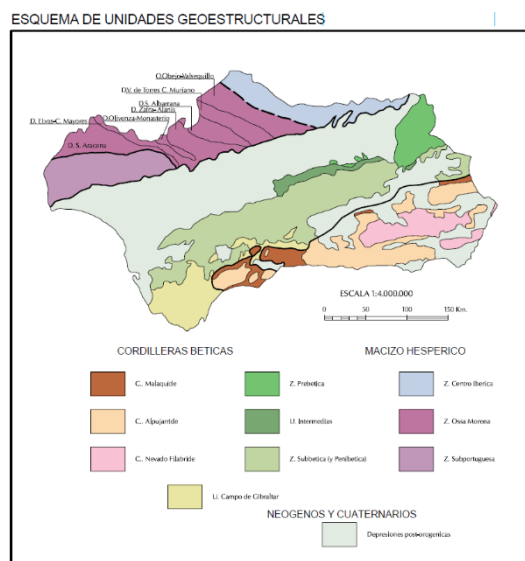
Desde el punto de vista geológico, la zona de Algarrobo se localiza en las cordilleras Béticas, unidad orográfico-estructural compleja y muy variada que corre en dirección ENE-WSW desde las islas Baleares y Alicante hasta Málaga y Cádiz. En la zona del

Estrecho de Gibraltar, las estructuras béticas giran, cruzándolo en dirección N-S y continuando, ya en Marruecos, en direcciones E-W (cordillera del Rif), para finalizar en las proximidades de la Ciudad Autónoma de Melilla. A toda esta estructura también se la denomina Orógeno Bético-Rifeño.

Las Cordilleras Béticas y del Rif se han subdividido en Zonas Externas (o Dominios Sudibérico y Magrebí) e Internas (o Dominio de Alborán), siendo su diferencia principal la no presencia de afloramientos de zócalo paleozoico en las Zonas Externas, y la existencia de metamorfismo de edad Cretácico superior y Terciario en las Internas. Las Zonas Internas se localizan en el mar de Alborán y su entorno, mientras que las Externas se localizan hacia el norte, oeste y sur de las anteriores. Otros rasgos geológicos característicos del Orógeno Bético-Rifeño son la existencia de cuencas terciarias intra-montañosas o de antepaís (la del Valle del Guadalquivir es la correspondiente a las Cordilleras Béticas) y la presencia de un volcanismo neógeno-cuaternario en la parte oriental del mismo.

La hipótesis más comúnmente aceptada es que el Dominio de Alborán constituye un dominio cortical alóctono (un "terreno" en el sentido tectónico) que cabalgó durante el Mioceno sobre los Dominios Sudibérico y Magrebí, correspondientes a los paleomárgenes mesozoico-cenozoicos de las Placas Ibérica y Africana, respectivamente. Estructuralmente, entre el Dominio de Alborán y los Dominios Sudibérico y Magrebí se encuentran las Unidades del Surco de Flyschs y las Unidades Predorsalianas.

Respecto a su ubicación, los materiales que están representados en el término municipal de Algarrobo se distinguen varios conjuntos, el Alpujárride, la unidad de Benamocarra (con afinidad Alpujárride) una pequeña parte de la unidad de Sayalonga (Manto de los Guajares) y partes del Neógeno y cuaternario.



2.2 Marco geológico local

El tramo en estudio se sitúa en la zona de depresiones post-orogénicas correspondiente a la cuenca del río Algarrobo flanqueada por el complejo de la unidad de Benamocarra.

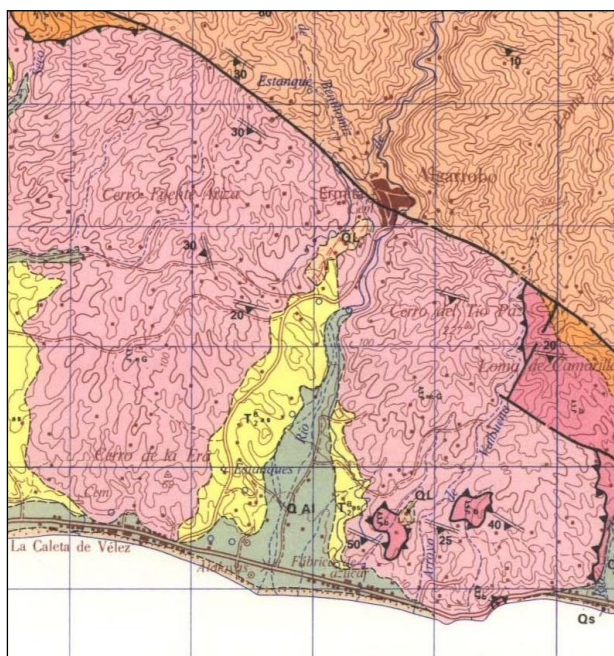
La unidad de Benamocarra, dentro del término municipal de Algarrobo, está formado por diversos materiales del Paleozoico entre los que se encuentran esquistos oscuros, principalmente micaesquistos y cuarzo-esquistos azulados y grises muy oscuros, con fenoblastos de estaurilita, granate y andalucita helicítica, además de otros componentes en menor medida como cloritas, menas, apatito y zircón.

Del complejo Alpujárride, que se sitúa en la parte más al norte del término municipal, se encuentra la unidad de Sayalonga (Manto de los Guajares) donde los materiales predominantes son esquistos negros grafitosos con sillimanita y muy raramente cianita también del Paleozóico. Esta unidad de Sayalonga está separada de la unidad de Benamocarra por una falla con indicación de hundimiento superior

Por otro lado, los materiales del Neógeno y cuaternario se pueden dividir en 3 sectores con contacto discordante:

La parte del litoral donde se acumulan las arenas de playa que son los materiales depositados más recientemente y que se encuentran en contacto con los materiales aluviales de la cuenca del río Algarrobo. Estos materiales aluviales se extienden desde la costa hacia el interior siguiendo el cauce de dicho arroyo. Ambos tipos de materiales recientes pertenecen al Holoceno (Cuaternario).

En contacto con los materiales aluviales y en ambas márgenes del río se pueden observar materiales del Plioceno, algo más antiguos que los anteriores formando areniscas, conglomerados, limos y arcillas. Su interés radica en la existencia de una sedimentación marina durante el Plioceno cuyos sedimentos llegan a estar en la actualidad a varias decenas de metros por encima del nivel del mar. El afloramiento del Plioceno de la zona de Vélez-Málaga y Algarrobo están representados principalmente por areniscas, margas y limos en el afloramiento mientras que, en el afloramiento próximo de Almayate Bajo, los conglomerados y términos arenoso - limosos son su principal característica. La potencia de las areniscas y limos y margas azules del afloramiento de Vélez-Málaga puede llegar hasta los 50 metros o más (Memoria Magna 1054, IGME). En la cuenca del río Algarrobo, los materiales más recientes son los depósitos aluviales que se encuentran flaqueados por los materiales del Plioceno antes reseñados, y en la costa los materiales recientes compuesto por la arena de las playas y otros depósitos como gravas y gravas finas son los que afloran en el litoral de Algarrobo.



Mapa geológico de España 1:50.000. Hoja 1053-Málaga. IGME.

Geomorfológicamente la acción del modelado marino fue el principal agente escultor de la costa dada su capacidad erosiva, transportadora y depositaria de los materiales junto con la acción fluvial del río Algarrobo. Luego, el ser humano con su capacidad de modelar y transformar el medio ha actuado sobre este tramo de costa ganando terrenos al mar para la creación del puerto de la Caleta de Vélez ocasionando un cambio en las corrientes

litorales de transporte de materiales eliminando los arenales a levante del mismo y generando la necesidad de construir diques y una sucesión de espigones perpendiculares a la costa para recuperar de alguna forma los materiales que formaron la playa hasta la década de 1970.

En el modelado marino son importantes los fenómenos de los temporales, así como la dinámica natural de regresión y/o progresión de la costa que da lugar a zonas de costa claramente regresivas, otras progresivas o de crecimiento continuo, y otras que dependen de las características de los temporales o las corrientes marinas; éstas dan lugar a costas basculantes, muy visible en los depósitos de arena que conforman las playas de este tipo, donde, dependiendo de los años, se producen acumulaciones de arena a levante o a poniente de la playa mientras que en el lado contrario ésta puede llegar a desaparecer por completo aflorando en estos casos la roca sobre la que se asienta la playa o, en otros casos llegar hasta la zona continental (taludes, bermas, etc) y erosionarla. Ambos fenómenos, temporales y corrientes, poseen una alta capacidad erosiva sobre el frente continental y que puede suponer un alto costo económico por la capacidad destructora de las infraestructuras.

Por ello es necesario crear otras infraestructuras para defender las playas creadas artificialmente construyendo espigones, diques, como en la playa que nos ocupa, o bien actuando mediante la llamada regeneración de playas (o ambas), básicamente aportando arena a estas playas que pierden su anchura a lo largo del tiempo, ya sea por las corrientes litorales o por los temporales que las erosionan por lo que es necesario aportar arena.

Por las características morfogenéticas en la costa se pueden distinguir tres tipos de dominios: Dominio Marino (playas, terrenos inundables por el mar, el lecho marino, etc); Dominio Marino-Continental (zonas de transición como los acantilados); dominio antrópico (terrenos antes pertenecientes a los dominios marinos o marino-continental que ha perdido sus características naturales debido a la acción constructiva humana).

El tramo en estudio está compuesto por dos unidades básicas pertenecientes al Dominio Marino y al Dominio Antrópico. La playa de Algarrobo pertenece al dominio marino ya que, aunque sea ahora mantenida artificialmente mediante espigones, en origen (antes de la construcción del puerto de la Caleta de Vélez) existía una amplia playa natural de arena, por ello se considera que pertenece a este dominio.

En general, las playas se definen como acumulaciones arenosas o pedregosas que se extienden a lo largo de la costa. Su formación se produce en costas relativamente bajas donde la energía del oleaje disminuye al ser amortiguada por algún tipo de obstáculo natural o artificial. Para su preservación requieren un aporte continuado de sedimentos, que debe ser distribuido a lo largo de la costa por la deriva litoral, o bien aportaciones artificiales. El origen de las playas puede ser natural o bien artificial cuando se realizan grandes obras transformadoras del litoral como son los espigones, diques, etc. para que se formen acumulaciones de arena donde antes no existían de manera natural y, cuando estas infraestructuras no son suficientes para formar la playa, se forma mediante la aportación artificial de áridos.

Por otro lado, se encuentra la parte del tramo al interior de la superficie actual de arena de la playa, y es el correspondiente a los terrenos antropizados del núcleo urbano de Algarrobo-costa. Por sus características no se puede atribuir actualmente a ningún dominio natural por lo que se clasifica en el denominado dominio Antrópico ya que se trata de una zona transformada y que ha perdido su aspecto natural por estar completamente urbanizado.

3 DOMINIO MORFOGENÉTICOS.

En el conjunto de la zona litoral de Algarrobo que nos ocupa se han distinguido, desde el punto de vista de los objetivos de este estudio, diversas unidades morfogénéticas, que han sido agrupadas dentro de tres grandes dominios, según cual haya sido el agente morfológico que les ha originado: dominio morfogénético Marino (playas y depósitos de materiales sueltos como arenas y gravas, así como los terrenos inundables por el mar, el lecho marino, etc.), dominio morfogénético Marino-continental (zonas de transición como los acantilado), y dominio morfogénético antrópico (terrenos antes pertenecientes a los dominios marino o marino-continental que han perdido sus características naturales debido a la construcción de diversos tipos de edificaciones y otras infraestructuras artificiales).

3.1 Dominio Morfogénético Marino.

Todas las formaciones superficiales, formas geológicas y, por consiguiente, unidades morfogénéticas, han sido originadas por la acción del mar conjuntamente con la acción de los vientos de procedencia marina. Asimismo, la acción del mar y de los vientos marinos ha podido modificar también depósitos de origen inicialmente continental como son las arenas de las playas que, en su mayor parte proceden de los sedimentos continentales cuyo origen es la erosión de los ríos y arroyos que arrastran estos materiales hasta el mar y éste con la acción del oleaje y las corrientes litorales alcanzan y se depositan en la costa formando las playas.

Las modificaciones antrópicas (antropizaciones de origen turístico, residencial, agrícola o industrial) sobre las unidades morfogénéticas del dominio Marino han sido notables, debido no solo a la presión urbanizadora en sí sino también, a la estrechez de la franja litoral, como corresponde a una fachada litoral abrupta, al encontrarse en las estribaciones de las sierras de Tejeda y Almijara. Para distinguir las unidades originales afectadas y/o enmascaradas por dichas modificaciones antrópicas, han sido de utilidad en examen de las fotografías aéreas más antiguas.

Desde el punto de vista de los objetivos de este estudio se han distinguido las siguientes unidades morfogénéticas del Dominio Marino:

Playa:

Las playas conforman la unidad morfogénética más típica del dominio Marino siendo en este tramo situado geográficamente entre la desembocadura del río Algarrobo y el puerto de la Caleta de Vélez, cortas en longitud y estrechas debido a los importantes desniveles del terreno al llegar las faldas de los montes de las sierras de Tejeda y Almijara hasta la costa, como el pico de Tejeda de 2069 msnm a 17 km de la costa.



Vista en 3D de la zona de costa en estudio y, al fondo a 2.069 msnm el Pico Tejeda (La Maroma, Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama).

En este tramo de costa, la construcción del puerto de la Caleta de Vélez a finales de la década de 1970 ocasiona el cambio en las corrientes litorales locales a levante de esta infraestructura ocasionado una importante regresión de las playas próximas.

Para el mantenimiento de estas playas se hizo necesaria la construcción de sucesivos espigones que retuviesen sedimentos y mantener, las playas aquí existentes antes de la construcción del puerto. En la siguiente imagen comparativa de los años 1964 y 2022 se muestra como los espigones han conseguido recuperar la anchura de las playas antes existentes y que, tras la construcción del puerto, se perdieron. Así mismo, los temporales marítimos ocasionan pérdidas de arena que ha de aportarse periódicamente mediante la regeneración artificial de playas, dentro de los planes de regeneración de playas.



A continuación, se muestra sobre la ortofotografía del PNOA de 2022 las líneas de costa en 1964, antes de la construcción del puerto y la de 1977 ya con los diques y espigones del puerto terminado y habiendo modificado las corrientes locales costeras en ella se aprecia la pérdida de arena que se produjo con la construcción del puerto y cómo actualmente la anchura de la playa se ha recuperado gracias a la mencionada serie de espigones que se instalaron entre Punta de la Ballena y el puerto de la Caleta de Vélez:

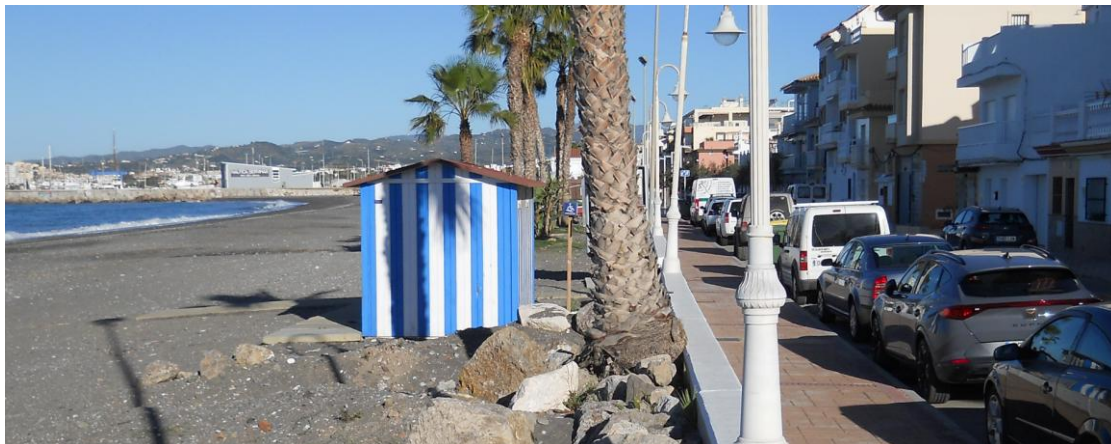


Ortofotografía PNOA 2022

Esta playa aun mantenida por las diversas obras artificiales se considera que pertenece al dominio Marino a pesar de su recuperación por actuaciones antrópicas y podría pensarse en su pertenencia al dominio Antrópico, se considera que estas obras ejecutadas consiguen unas dimensiones de playa cercanas a las previas de la playa natural, no siendo una playa de nueva generación donde no existiría en condiciones naturales.

Instalaciones desmontables y/o fijas sobre la playa:

Es una modificación antropizada en el medio marino. Se corresponden con instalaciones de temporada de verano (sombrillas, cambiadores, pasarelas, etc), que se emplazan sobre la playa o en el borde interior de ésta y que pueden ser desmontables (preferentemente) o, instalaciones fijas con edificación:



Instalación de temporada: cambiador.



Instalaciones de temporada: cambiador, pasarela, caseta de socorrista

Estas instalaciones no se consideran en sí pertenecientes a ningún dominio, pero se ha contemplado incluirlas en el dominio Marino por situarse sobre la arena de la playa por lo que la superficie que ocupan sí se estima perteneciente al dominio marino.

3.2 Dominio Morfogenético Continental

La acción del hombre ha modificado el estado natural de zonas al interior de la playa y su transición al Dominio Continental con la transformación del suelo en terrenos de cultivo, urbanizaciones y viales no siendo el dominio continental objeto de este estudio por su distancia a la costa y su estado transformado.

3.3 Dominio Morfogenético Antropizado

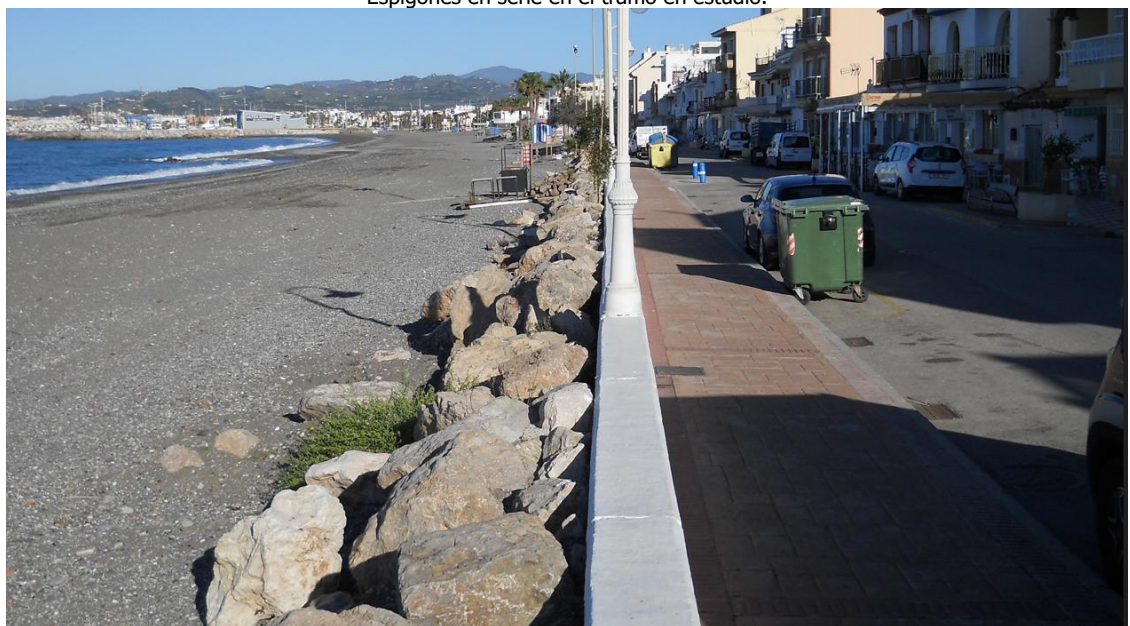
Es el otro principal dominio existente junto con el dominio Marino. Se incluyen aquí las zonas antropizadas correspondientes a anteriores dominios marino o marino-continental. Se trata de aquellos terrenos como playas o zonas de alcance del oleaje así como los terrenos de la interfaz marino-continental que hoy día han perdido sus características naturales originarias por una actuación de carácter artificial como paseos marítimos, escolleras, viales, zonas agrícolas, etc. Desde el punto de vista de los objetivos de este estudio se han distinguido los siguientes componentes del dominio antropizado:

Muros, espigones y escolleras.

Se trata de terrenos modificados artificialmente para la protección de los bienes situados a su interior y que también son infraestructuras artificiales que han modificado las características originales del terreno. Encontramos espigones para provocar la retención de arena y mantener la anchura de la playa frente a la regresión:



Espigones en serie en el tramo en estudio.



Escollera defensiva frente al oleaje durante los temporales marinos.

Viales:

Son aquellos terrenos pertenecientes al dominio Marino que han sido modificados artificialmente para la creación de vías para el tránsito rodado y/o peatonal, generalmente sobre antigua la antigua playa, inmovilizando la arena como ocurre en el caso del tramo que nos ocupa. En la siguiente imagen aérea tomada en el año 1964 se muestra que la playa llega hasta las edificaciones bajas de primera línea quedando detrás los campos de cultivo y la carretera N-340.



1964

En la fotografía aérea de 1977 que se muestra a continuación se aprecia cómo los campos de cultivo que existían tras las casas bajas de primera línea de playa han sido edificados, pero aun no existe vial en el frente de las casas bajas llegando la arena de la playa hasta las fachadas de estos edificios.



1977

Actualmente existe un vial rodado con aceras peatonales en el frente de las edificaciones de primera línea de playa quedando actualmente dicho vial entre el límite interior de la arena de la playa y la fachada de los edificios, como se muestra en la ortofotografía del PNOA de 2022:



2022

Por tanto, este vial se corresponde con el dominio Antrópico porque se construyó en una zona del dominio Marino que le hizo perder sus características naturales de playa.

4 MAPA DE UNIDADES MORFOGENÉTICAS

El mapa de unidades morfogénicas confeccionado para este estudio se ha elaborado con el objeto de permitir una identificación de terrenos con unas características naturales o artificiales que, conforme a las condiciones jurídicas recogidas en la Ley 22/1988, de Costas, en la Ley 2/2013 de Protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio de Costas, así como en el Reglamento General de Costas aprobado por el Real Decreto 876/2014, determine su inclusión o no dentro del dominio público marítimo-terrestre, y así establecer de manera adecuada la alineación poligonal que lo delimite, de acuerdo a criterios objetivos que justifiquen su trazado.

En el establecimiento del límite interior del dominio público marítimo-terrestre no sólo influyen aspectos puramente geomorfológicos, sino que también se deben considerar de manera conjunta con otros factores, como son el alcance de los temporales, regresión de la costa, actuaciones anteriores realizadas por la administración en materia de deslindes, evolución temporal de la actuación antropizadora del hombre en relación a lo anterior, evolución de la costa por actuaciones humanas como escolleras semisumergidas, puertos, inundación marina artificial, terrenos rellenados o colmatados, etc. Por ello, se considera adecuado dejar constancia mediante plano con base ortofotográfica, que recoja la información de las zonas morfogénicas.

Sobre este plano cabe hacer las siguientes consideraciones aclaratorias e informativas:

- 1) Para la base del mapa de la zona se ha utilizado la ortofotografía del PNOA del año 2022 por ser la de más reciente distribución por las administraciones públicas.
- 2) El deslinde del dominio público marítimo-terrestre se ha grafiado con la coloración y simbología que aparece en los planos 1:1000 oficiales. En relación a esto último, se realizan las siguientes consideraciones:

- a. Si el deslinde del dominio público marítimo-terrestre y su ribera del mar es coincidente con el que se delimitó en los deslindes de la zona marítimo terrestre (ZMT) anteriores con legislaciones previas, las unidades morfogénicas no justifican necesariamente sus límites por sí mismas ya que han de considerarse también las razones de carácter legal que impliquen que determinados terrenos pertenezcan al demanio, es decir, aquellos terrenos que son bienes de dominio público marítimo-terrestre por determinación legal.
- b. Cuando discurre por la alineación diferente de los deslindes vigentes de la ZMT, puede deberse, no solo a factores geomorfológicos o de alcance de oleaje sino también a cuestiones definidas por el artículo 4 como puede ser la mutación demanial de terrenos, adquisiciones colindantes al dominio público, etc. que no fueron contemplados en el momento de la realización de los deslindes de la ZMT por ocurrir en un momento posterior al procedimiento de deslinde anterior.
- c. Cabe recordar que el deslinde en estudio se delimita según las características actuales de los terrenos a deslindar y los eventos ocurridos hasta la fecha de los que existan registros, aunque debe tenerse en consideración los posibles cambios futuros debido a los previsibles efectos del cambio climático como el aumento del nivel del mar debido al aumento de la temperatura media del agua del mar (y su correspondiente aumento de volumen), los efectos del aumento de dicha temperatura tanto del agua del mar como de la atmosfera que genera un incremento de la energía liberada por los temporales, ocasionando una mayor altura del oleaje y periodo pico y, por tanto, un mayor alcance hacia el interior del agua del mar; aumento de las mareas meteorológicas por bajadas de presión atmosférica local (eventos tormentosos con mayor energía), etc.

Se adjunta a continuación los planos de las unidades morfogénicas identificadas sobre base ortofotográfica del entorno del tramo de costa del estudio.



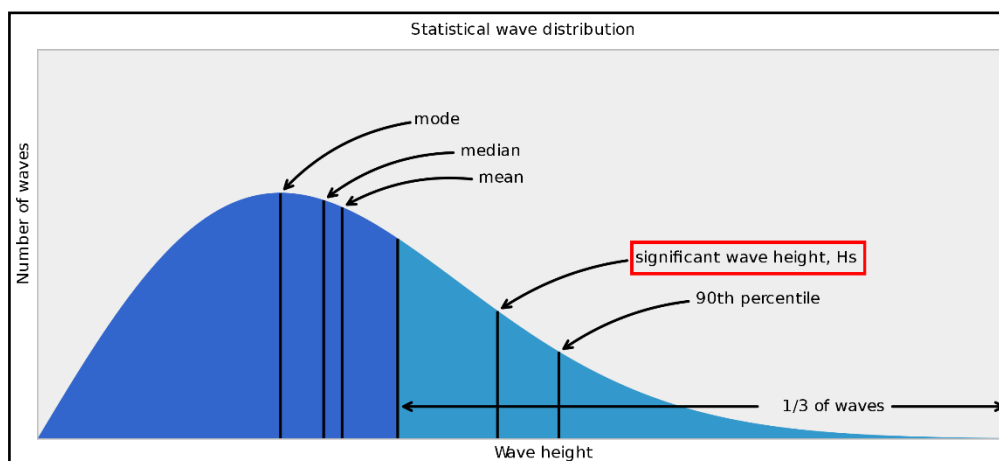
Anexo nº2: Descripción General de la Dinámica Litoral en el entorno del tramo de estudio.

1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CLIMA MARÍTIMO

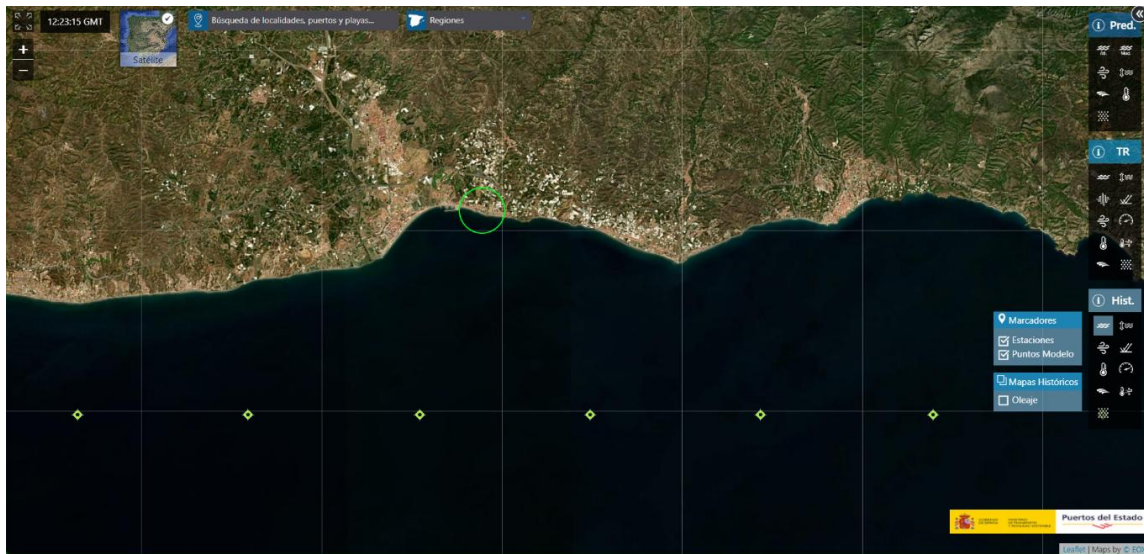
La costa del Término Municipal de Algarrobo se emplaza en la zona oriental de la provincia de Málaga. Existe un punto que caracteriza el oleaje incidente en el tramo de costa del estudio, perteneciente a la red SIMAR; este punto está codificado con la numeración 2036080. El conjunto de datos SIMAR está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico. Son, por tanto, datos generados por procesos de simulación y no proceden de medidas directas de la naturaleza. Las series SIMAR surgen de la concatenación de los dos grandes conjuntos de datos de simulación de oleaje con los que tradicionalmente ha contado Puertos del Estado: SIMAR y WANA. El objetivo es el de poder ofrecer series temporales más extensas en el tiempo y actualizadas diariamente. De este modo, el conjunto SIMAR ofrece información desde el año 1958 hasta la actualidad.

Como precaución en su uso, según la información de Puertos del Estado, es que los modelos generados por los puntos SIMAR "tienden a subestimar los picos en las velocidades de viento y en las alturas de ola en situaciones de temporal muy extremo", es decir, los datos de altura de ola y viento que ofrece durante los mayores temporales suelen ser inferiores a la altura real de las olas o la velocidad real del viento. Esto es importante en el objetivo que nos ocupa puesto que, con los datos subestimados de los temporales, la extensión de la inundación del temporal también estará "subestimada".

Además, para el cálculo de la cota de inundación y del alcance de la inundación se usan la altura de ola significativa (H_s) y el periodo pico (T_p) principalmente. Así Puertos del Estado explica que la altura de ola significativa (H_s) "equivale aproximadamente la altura media del tercio de olas más altas" y el periodo pico (T_p) "el periodo del grupo de ondas con más energía". Por lo que el uso de H_s (ya subestimado porque los valores extremos los puntos SIMAR los subestiman), al ser una media, también subestima aún más los resultados de cota y alcance de la inundación; con el T_p ocurre lo mismo al tratarse de una media de un grupo de ondas (no de la máxima) por lo que el alcance del oleaje por los mayores temporales conocidos está "doblemente" subestimado (además de la subestimación de los datos extremos que tiene el uso de los puntos SIMAR).

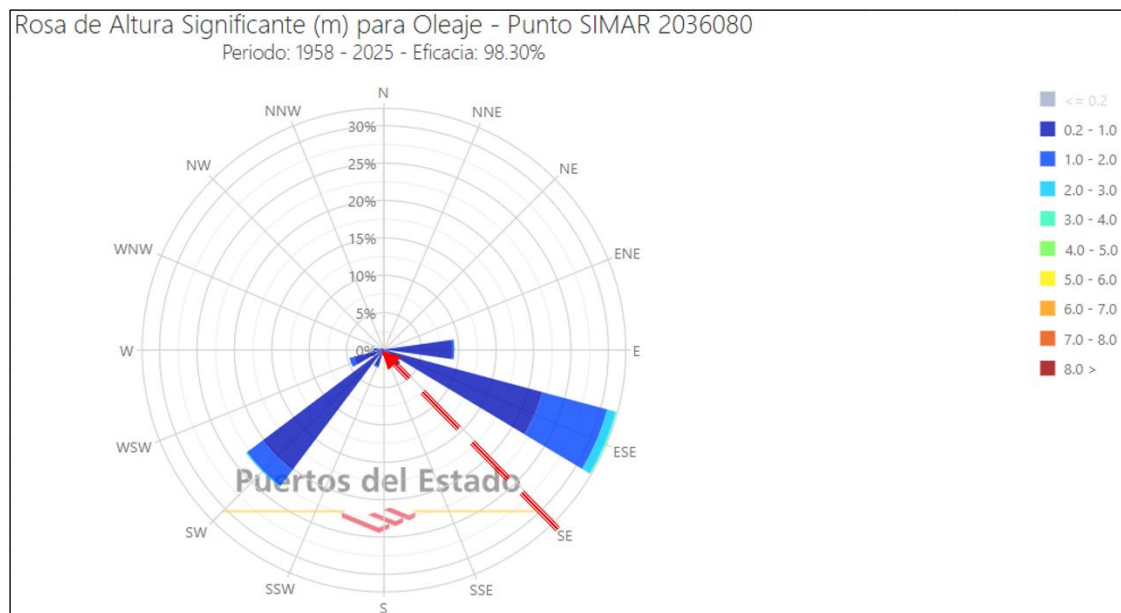


Los datos de oleaje en general y posicionamiento está disponible para consulta pública en la web www.puertos.es perteneciente a Puertos del Estado del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. En la zona de estudio, el punto de la red SIMAR más significativo es el numerado como 2036080:



Posición de los puntos de la Red SIMAR y la zona de costa en estudio.

El régimen general de vientos unidos a su disposición geográfica provoca una presencia de oleaje bimodal, procedente del levante, dirección Este-Sureste, y procedente de poniente, dirección Suroeste, que se puede observar en la rosa de oleajes, en donde además se representa la dirección del flujo medio de energía, *es decir*, la dirección de la media de todos los oleajes incidentes en la costa, y que determina las formas en planta de equilibrio del tramo de costa, que tenderá siempre a bascular para alinearse perpendicularmente a esta dirección para minimizar al máximo la energía incidente:



Rosa de Oleaje del punto SIMAR 2036080, y dirección del Flujo Medio de Energía.

La línea que sigue la costa es entorno a WSW-ENE. La energía media del oleaje tiende a provenir de la dirección SE por lo que no existe equilibrio en la zona para la presencia de arenales de manera natural en la actualidad.



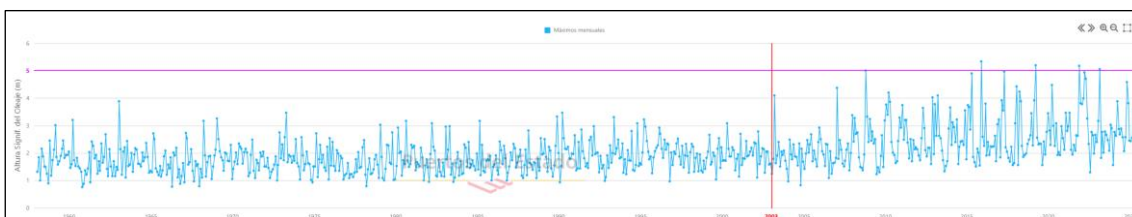
Alineación de la costa y dirección media de la energía del oleaje.

Genéricamente, la estabilidad de los arenales no protegidos por barreras naturales como afloramientos rocosos, cabos, etc. se produce cuando el arenal se conforma en posición perpendicular al flujo medio de energía de los temporales y no es compensado por el flujo de las corrientes. En este tramo de costa el litoral está formado por una playa formada por la protección de dos espigones y el puerto de la Caleta de Vélez. El flujo medio de energía del oleaje incide de forma oblicua a la línea media de costa, por ello, la oblicuidad de este flujo ocasiona que esta playa tenga tendencia a la regresión durante los temporales, por el desequilibrio entre el flujo de energía de dichos temporales, la procedencia de los temporales más intensos y la orientación de la costa.

Las corrientes locales tienden en ocasiones a compensar de forma activa en los periodos entre temporales la deposición de los materiales o bien los materiales de "almacenes" interiores como son los sistemas dunares costeros. En el caso que nos ocupa, previamente a la construcción del puerto de la Caleta de Vélez, aunque el oleaje y su flujo de energía era similar a la media actual, probablemente las corrientes locales costeras compensaban las pérdidas de materiales de las playas, existiendo hasta la década de 1970 una playa más o menos estable a largo plazo; esto no quiere decir que no se redujera o se perdiese su anchura durante los temporales de la época pero que se recuperaban por la acción de las corrientes y el oleaje medio y leve.

Los mayores episodios de erosión de los arenales tienen lugar en los eventos de temporal con los oleajes más intensos, principalmente los procedentes de levante (véase rosa de oleaje).

Respecto a los temporales, los eventos de oleaje más severos se están produciendo con mayor intensidad en los últimos 20 años como puede deducirse de la gráfica de oleaje que a continuación se presenta (extraída de www.puertos.es):



En ella se representan la altura de ola significativa máxima mensual entre el 1 de enero de 1958 y el 30 de junio de 2025. Como se puede observar, en un intervalo de 45 años comprendido entre 1958 y 2003 no se produce ningún evento de más de 4 metros de altura de ola (H_s), ni tampoco de más de 5 metros, mientras que en el intervalo de 21 años siguiente (menos de la mitad del intervalo anterior), desde 2003 hasta 2024, se

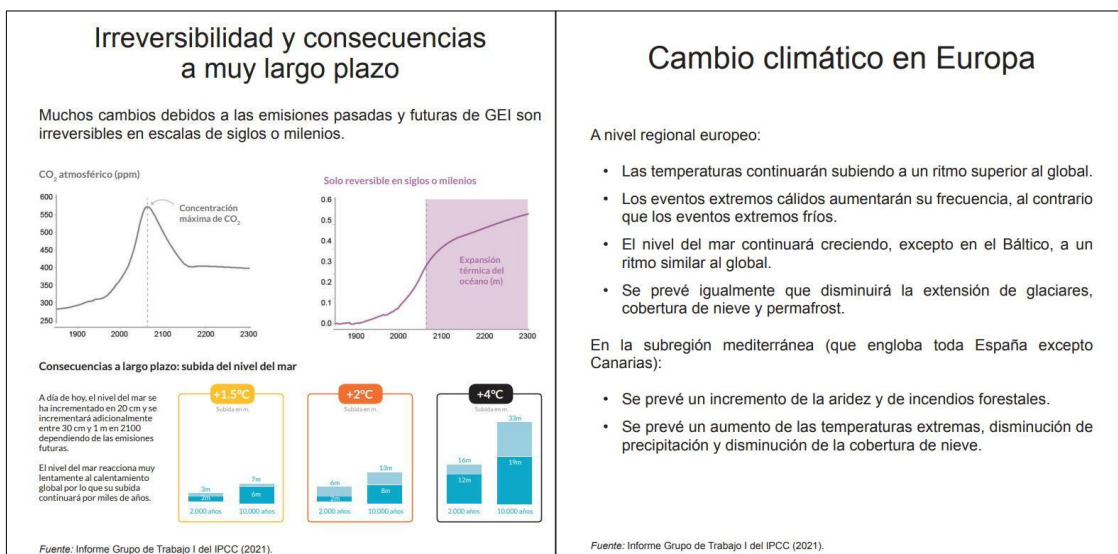
producen 18 eventos de más de 4 metros de altura de ola significativa (H_s) de los cuales 5 eventos tienen más de 5 metros de altura de ola significativa máxima mensual.

Esto podría indicar, aun siendo un análisis simplificado de la gráfica del histórico de temporales anterior que, en los últimos años debido al aumento en la frecuencia de temporales intensos, se produce una mayor reducción de la arena en las playas de la zona y de mayor erosión de los terrenos emergidos en general, de no existir los espigones y que puede deberse, en parte, a ese incremento de los temporales unido a otras de gran afección a la dinámica litoral como la construcción de infraestructuras portuarias que modifican las corrientes locales, la reducción del aporte de los sedimentos continentales o la antropización de los arenales litorales que impide la compensación del volumen de arenas perdidas por el oleaje con el aporte desde estos depósitos, imprescindibles para la estabilidad de las playas, con lo que esos depósitos de arena transportados por el viento marino eliminados no permanecen junto a las playas para la recuperación de éstas tras los temporales como aporte natural que recupere su superficie.

Además de lo dicho anteriormente sobre la dinámica del litoral en la costa del término municipal de Algarrobo hay que hacer mención a los efectos del cambio climático que, como se ha visto en la gráfica de oleaje anterior y siendo una visión básica de un proceso tan complejo como es el calentamiento global y, por tanto, el cambio en el clima con todos los eventos que ello conlleva; el aumento de los eventos de temporal marítimo en las últimas 2 décadas respecto a las 4 anteriores es un indicativo asociable a dicho proceso y, por tanto, se hace necesario tenerlo en consideración con visión de futuro en todas aquellas actuaciones que se hagan en el litoral español y, concretamente en este tramo de la costa, para evitar las posibles pérdidas económicas y la pérdida de seguridad para la población en general como usuarios del dominio público que puedan producirse.

En este sentido, las condiciones climáticas de diversas variables marinas, tales como la temperatura, el viento o nivel del mar, se están viendo alteradas por el efecto del cambio climático, convirtiéndose en generadores de daños que pueden afectar a los bienes, infraestructuras o ecosistemas litorales. Los principales impactos identificados en la costa, son la inundación y la erosión que, a su vez, dependen principalmente de variables superficiales marinas, tales como el oleaje, la marea meteorológica y el aumento del nivel medio del mar, siendo estas variables de la dinámica litoral las que se están viendo modificadas por el cambio climático incrementando su frecuencia e intensidad.

Dicho esto, según los modelos predictivos que se vienen utilizando por parte de diversos organismos sobre las consecuencias del cambio climático en la línea de costa, se prevé que los eventos meteorológicos incrementarán su energía siendo más destructivos en las zonas costeras por el aumento del nivel medio del mar, también se prevé un incremento en la intensidad de los vientos y de la altura de las olas durante los temporales extremos y, además, por su mayor frecuencia (que ya se está produciendo como puede verse en la gráfica de oleaje máximo mensual para el periodo 1958-2023 que se ha representado más arriba), las afecciones en las infraestructuras costeras serán mayores. Así mismo las consecuencias a largo plazo del aumento de nivel del mar se presume prácticamente irreversible en los diferentes escenarios de aumento de la temperatura global:



Informe Grupo de Trabajo I del IPCC (2021)

Por tanto, se deberá considerar que la línea de costa es previsible que se vaya desplazando aún más al interior respecto a la que tenemos actualmente perdiéndose anchura de las playas (o incluso playas completas) porque la recuperación de éstas entre dos eventos severos será menor ya que en ese lapso de tiempo acortado no es suficiente para que la dinámica natural aporte la arena necesaria desde el mar para la recuperación de la superficie perdida y, en consecuencia, el impacto del oleaje en este tramo de costa se verá incrementado.

Esto ha de tenerse en cuenta porque la franja de defensa para las infraestructuras artificiales que supone el DPMT deberá ser revisada cada vez con más frecuencia, conforme la línea de costa se vaya viendo modificada por dichos eventos y la intensidad del oleaje así lo indique, contemplando tanto las consecuencias medioambientales como las económicas y sociales que se irán produciendo. Se considera necesaria la realización de una estrategia para la conservación integral de la costa y, por tanto, del DPMT.

Por otro lado, dado el incremento de los temporales y de su intensidad se recomienda, como adaptación frente al cambio climático, y salvaguarda de los habitantes de las zonas costeras, el traslado más al interior de las infraestructuras antrópicas como los viales, paseos marítimos e incluso las edificaciones habitacionales y turísticas antes de que los más que probables efectos del aumento del nivel del mar a consecuencia del cambio climático afecte a dichas infraestructuras actuales y produzca daños económicos y sociales (y sus consecuentes afecciones al erario público en razón de posibles indemnizaciones, gastos extraordinarios por actuaciones de emergencia, presión para la construcción de escolleras y espigones, regeneración de la arena de las playas, diques semisumergidos, etc.), teniendo en cuenta que este tramo de costa ya existen varias zonas en que, durante los mayores temporales, se producen afecciones a las edificaciones en primera línea de agua a pesar de contar con escolleras y espigones.



Escollera



Espigón

Así mismo, se deberá generar una legislación acorde a los cambios que se producirán a consecuencia del cambio climático para la obtención de una seguridad jurídica adecuada para todas aquellas actuaciones que sea necesario realizar de cara a la defensa de la población y del dominio público marítimo-terrestre en el marco de la transformación y resiliencia de la costa que se ha de conseguir para amortiguar los efectos de los eventos meteorológicos severos que se prevén y que, además, dé cumplimiento en su visión más amplia, al artículo 45 de la CE:

Artículo 45

1. Todos tienen el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo.
2. Los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva.
3. Para quienes violen lo dispuesto en el apartado anterior, en los términos que la ley fije se establecerán sanciones penales o, en su caso, administrativas, así como la obligación de reparar el daño causado.

Anexo nº3: Estudio para la determinación del alcance del nivel máximo que asciende el mar

1. ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ALCANCE DEL NIVEL MÁXIMO QUE ASCIENDE EL MAR DURANTE LOS MÁXIMOS TEMPORALES CONOCIDOS

1.1 Planteamiento justificado de la estimación del nivel máximo que asciende el mar

El objeto de este apartado es estudiar justificadamente la cota que alcanzan los máximos temporales conocidos en función de los datos registrados en boyas o satélites, o de los datos oceanográficos o meteorológicos existentes, y evaluar su afección a la zona de estudio.

El artículo 3 del Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas, establece lo siguiente en lo referente al alcance del mar:

Artículo 3. Bienes de dominio público marítimo-terrestre por determinación de la Constitución y la Ley de Costas.

Son bienes de dominio público marítimo-terrestre estatal, en virtud de lo dispuesto en el artículo 132.2 de la Constitución y 3 de la Ley 22/1988, de 28 de julio:

1. La ribera del mar y de las rías, que incluye:

a) La zona marítimo-terrestre o espacio comprendido entre la línea de bajamar escorada o máxima viva equinoccial y el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, de acuerdo con los criterios técnicos que establece el artículo 4 de este reglamento o, cuando lo supere, el de la línea de pleamar máxima viva equinoccial. Esta zona se extiende también por las márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas.

Se consideran incluidas en esta zona las marismas, albuferas, marjales, esteros y, en general, las partes de los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua del mar.

No obstante, no pasarán a formar parte del dominio público marítimo-terrestre aquellos terrenos que sean inundados artificial y controladamente, como consecuencia de obras o instalaciones realizadas al efecto, siempre que antes de la inundación no fueran de dominio público. A estos efectos, se entenderá que un terreno ha sido inundado artificial y controladamente cuando para su inundación se haya requerido la realización de obras o instalaciones amparadas por el correspondiente título administrativo, a la finalización de las cuales los terrenos no queden comunicados con el mar de manera permanente o queden comunicados con el mar de manera controlada.

El artículo 4 del Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas, establece lo siguiente:

Artículo 4. Criterios técnicos para la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa.

En la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa, con arreglo a las definiciones contenidas en el artículo anterior, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

a) Para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, se considerarán las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas y el oleaje. Dicho límite será el alcanzado al menos en 5 ocasiones en un periodo de 5 años, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica existente demuestre la necesidad de utilizar otro criterio.

Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas con boyas o satélites o calculadas a través de datos oceanográficos o meteorológicos.

b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos superpuestos de las astronómicas y de las meteorológicas. No se tendrán en cuenta las ondas de mayor periodo de origen sísmico o de resonancia cuya presentación no se produzca de forma secuencial.

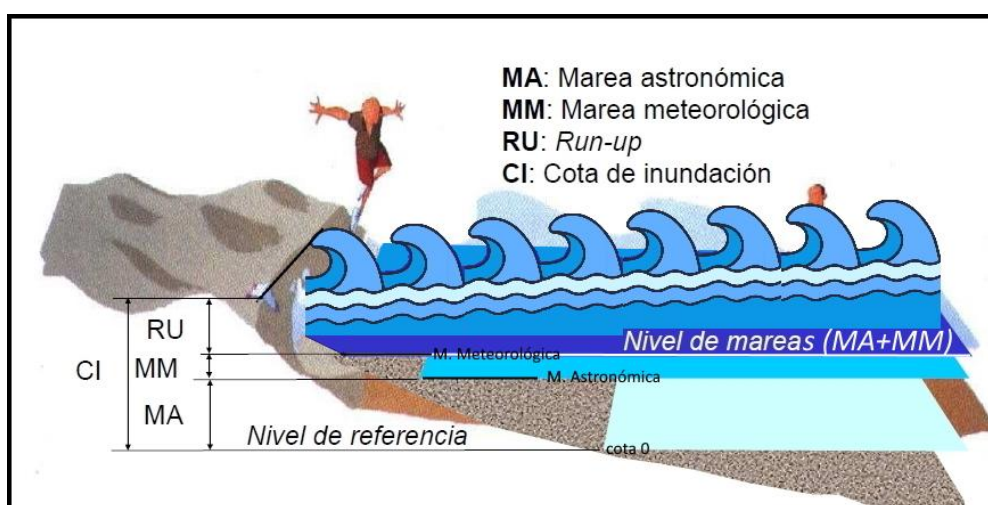
Para ello ha de calcularse en primer lugar la cota de inundación de los mayores temporales conocidos, y a partir de ellos evaluar el lugar que es alcanzado al menos cinco veces en un periodo de cinco años, tomando los datos de oleaje que dispone el organismo público "Puertos del Estado" que pertenece actualmente al denominado Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.

Los datos de la red de boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado datan del año 1958 hasta la actualidad, por lo que es con estos datos con los que se realizarán los cálculos de alcance de la inundación del oleaje.

Para ello ha de calcularse en primer lugar la cota de inundación de los mayores temporales, es decir, aquellos cuya cota de inundación es la más alta de todos los registrados en un periodo de cinco años.

La cota de inundación es un valor en metros que hace referencia a la altura que alcanza el agua del mar durante los temporales respecto al nivel del mar, siendo esta cota la suma de tres componentes:

- Marea astronómica.
- Marea meteorológica.
- Run-up, o alcance máximo vertical de un temporal respecto a un nivel del mar dado.



Esquema general del concepto de cota de inundación

La marea astronómica es un fenómeno periódico y predecible, es decir, determinista, está totalmente estudiado y es posible su evaluación y cálculo exacto en un momento dado u obtener el dato existente de marea en un momento temporal ya sucedido.

La marea astronómica es un fenómeno periódico y predecible, es decir, totalmente determinista, está totalmente estudiado y es posible su evaluación y cálculo exacto en un momento dado u obtener el dato existente de marea en un momento temporal ya sucedido.

La marea meteorológica es un fenómeno no periódico, pero si evaluable una vez conocidas una serie de condiciones climatológicas incidentes, sobre todo las que determina la velocidad del viento y la presión barométrica, se puede evaluar y estudiar su nivel máximo asociado a un periodo de retorno concreto, una vez estudiado una serie temporal de sucesos meteorológicos.

El run-up es un valor obtenido asociado a la incidencia de un oleaje por un temporal, siendo el valor de cota estimado evaluable si se conocen una serie de parámetros que caracterizan el oleaje del temporal, concretamente la altura de ola significativa, periodo asociado o su longitud de onda, y su ángulo de incidencia.

Conocidos estos tres valores para un evento de temporal concreto, es posible determinar la cota de inundación que se produce. Por tanto, la metodología a utilizar tiene dos procesos diferenciados:

- 1) Estudiar y evaluar los 5 sucesos de temporal más extremos en un periodo de 5 años. Es importante señalar que no necesariamente tiene que

producirse el alcance máximo de olas el mayor temporal en altura de ola significativa puesto que existe la variable del periodo pico que puede hacer variar la energía del oleaje, es decir, un periodo pico elevado puede hacer que un temporal sea más severo, aunque su altura de ola significativa no sea la mayor. Por otro lado, las componentes adicionales de marea astronómica y marea meteorológica también intervienen en el resultado final. En cualquier caso, al considerar el alcance fijado en los mayores temporales conocidos que se han producido al menos 5 veces en cinco años, se estima oportuno estudiar la serie de los mayores los temporales producidos durante cinco años.

- 2) Aplicar un modelo o metodología de cálculo para una vez conocidos esos sucesos, evaluar la cota de inundación asociada.

1.2 Obtención de los datos de clima marítimo necesarios para la identificación de los mayores temporales desde que se tienen registros.

Oleaje:

Como se ha indicado anteriormente, se utilizan para realizar los cálculos de máxima elevación del nivel del mar los registros de boyas existentes o calculadas a través de datos oceanográficos, siendo la Red SIMAR a través del punto 2036080 el más significativo para la zona de estudio. Los registros históricos de oleaje de este punto se pueden consultar en la página web de Puertos del Estado (www.puertos.es) en el apartado de oceanografía/Previsión, tiempo real y clima/oleaje, ([Prediccion de oleaje, nivel del mar ; Boyas y mareografos | puertos.es](http://www.puertos.es/Prediccion-de-oleaje-nivel-del-mar-Boyas-y-mareografos)), siendo éstos de consulta pública, por lo que cualquier persona interesada puede acceder a ellos.

Se ha estimado como periodo de cinco años a analizar el comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de diciembre de 2023 en el punto SIMAR mencionado tomando de éste los datos de oleaje de partida para el cálculo de la cota de inundación de los mayores temporales en ese periodo de cinco años; estos datos son los siguientes (extraídos de Puertos del Estado):

Año 2019:

Mes	Altura Significante (m)	Dir °	Periodo de Pico (s)	Año	Día	Hora
1	2,28	236	6,21	2019	31	16
2	3,92	230	8,27	2019	1	8
3	5,2	110	11,01	2019	27	1
4	2,56	233	7,52	2019	4	23
5	2,31	113	8,27	2019	31	15
6	2,35	233	6,21	2019	10	14
6	2,35	232	6,83	2019	10	15
7	2,32	231	6,83	2019	26	17
8	1,56	112	6,21	2019	26	6
9	2,41	105	7,52	2019	7	23
10	1,94	234	6,21	2019	14	19
11	2,77	233	6,83	2019	22	18
12	3,44	232	8,27	2019	20	19

Año 2020:

Mes	Altura Significante (m)	Dir °	Periodo de Pico (s)	Año	Día	Hora
1	2,81	106	8,27	2020	20	17
2	2,3	107	6,83	2020	6	6
2	2,3	108	7,52	2020	6	7
3	4,48	110	9,1	2020	18	11
4	2,99	113	7,52	2020	4	10
5	2,25	109	8,27	2020	27	18
5	2,25	109	8,27	2020	27	17
6	3,07	231	7,52	2020	11	17
7	1,93	110	8,27	2020	21	16
8	2,03	229	6,83	2020	28	16
9	1,93	113	7,52	2020	13	16
10	2,98	229	7,52	2020	2	16
11	2,53	108	6,83	2020	5	13
11	2,53	113	6,83	2020	5	1
12	2,12	248	7,52	2020	4	19

Año 2021:

Mes	Altura Significante (m)	Dir °	Periodo de Pico (s)	Año	Día	Hora
1	3,46	109	8,27	2021	8	9
2	2,8	111	8,27	2021	28	21
2	2,8	111	8,27	2021	28	20
3	2,98	112	8,27	2021	6	18
4	3,46	108	9,1	2021	8	4
5	2,12	238	6,21	2021	9	17
6	1,94	230	6,21	2021	22	17
7	2,3	229	6,83	2021	31	15
8	2,08	230	6,21	2021	28	14
9	2,64	107	8,27	2021	21	22
10	2,63	108	8,27	2021	11	23
11	5,17	110	10,01	2021	19	12
12	3,81	112	9,1	2021	16	22

Año 2022:

Mes	Altura Significante (m)	Dir °	Periodo de Pico (s)	Año	Día	Hora
1	3,77	111	9,1	2022	26	1
2	3,99	111	9,1	2022	26	11
3	4,94	109	11,01	2022	25	2
4	4,7	109	12,11	2022	4	15
5	3,26	231	7,52	2022	2	16
6	2,33	231	6,83	2022	27	16
7	1,3	111	6,83	2022	30	16

Mes	Altura Significante (m)	Dir °	Periodo de Pico (s)	Año	Día	Hora
7	1,3	112	6,83	2022	30	15
8	2,76	235	6,83	2022	14	20
9	2,64	232	6,83	2022	28	16
10	1,97	114	7,52	2022	2	18
11	2,66	112	8,27	2022	11	17
12	2,4	224	6,83	2022	15	7

Año 2023:

Mes	Altura Significante (m)	Dir °	Periodo de Pico (s)	Año	Día	Hora
1	3,17	231	7,52	2023	17	14
2	5,06	108	9,1	2023	10	21
3	1,82	237	5,65	2023	9	17
4	2,76	116	8,27	2023	5	12
5	2,01	113	6,83	2023	3	5
6	2,79	232	7,52	2023	13	18
7	2,66	231	7,52	2023	24	16
8	2,46	233	6,83	2023	3	17
9	2,08	234	6,21	2023	21	14
9	2,08	233	6,21	2023	21	16
9	2,08	107	7,52	2023	14	23
10	3,03	232	7,52	2023	19	20
11	2,91	229	7,52	2023	2	15
12	1,55	248	5,13	2023	20	11

Donde:

Dir° es el rumbo de procedencia del oleaje en el punto SIMAR, en grados sexagesimales.

Se ha comprobado en los mayores temporales de los años del periodo que, dado que la tabla de Puertos del Estado de los máximos temporales mensuales solo se indica el mayor del mes, si existen otros temporales de relevancia en esos meses y que no haya sido explicitada en las tablas. Esto se ha realizado analizando las gráficas de temporales por datos horarios de los meses con los mayores temporales. Si se detecta algún otro temporal con altura de oleaje o periodo pico importante dentro de un mes, se incluye en la tabla correspondiente.

Los mayores temporales a estudiar, para el periodo de cinco años 2019-2023, serán los que se resumen en la tabla siguiente:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °
21:00	10	2	2023	5,06	9,1	108
17:00	4	4	2022	4,56	13,32	107
0:00	25	3	2022	4,25	12,11	110
11:00	26	2	2022	3,99	9,1	111
1:00	26	1	2022	3,77	9,1	111
22:00	16	12	2021	3,81	9,1	112
12:00	19	11	2021	5,17	10,01	110

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °
11:00	18	3	2020	4,48	9,1	110
1:00	27	3	2019	5,2	11,01	110

Nivel del Mar asociado al evento de temporal

El nivel del mar asociado al evento de cada temporal es la suma del nivel obtenido por la marea astronómica y la marea meteorológica. Para obtener este valor podría realizarse por dos procedimientos diferentes obteniendo datos de las boyas pertenecientes a la red de Puertos del Estado:

- 1) Estimar el valor de cada marea por separado, consultando en las tablas de mareas históricas la correspondiente al momento de cada evento de temporal para obtener el valor de la marea astronómica en ese momento, y obteniendo el valor de la marea meteorológica mediante formulaciones empíricas con los datos de viento (obtenibles de la red SIMAR) y presión barométrica (estimables según datos de meteorología). Los datos de presión barométrica eran obtenibles mareógrafo de Málaga 3 para cada evento de temporal, y los datos de viento de los mismos puntos SIMAR de donde se han tomado los datos de oleaje.
- 2) Consultar el valor del nivel del mar con los datos de alguna boya próxima que recoja estos datos, como es la del Mareógrafo del puerto de Málaga, que recoge cada minuto los datos del nivel del mar (los cuales quedan reflejados en una serie histórica consultable en la web de Puertos del Estado), siendo este nivel suma de la marea astronómica y meteorológica.

Este segundo procedimiento es el que se va a utilizar, por estimar que es más correcto y suficientemente representativo por la cercanía a la zona de estudio. Además, al recoger datos reales observados, se pierde cualquier incertidumbre que es intrínseca al hecho de utilizar formulaciones empíricas del primer procedimiento.


De esta manera, los datos a consultar corresponden a las series histórica de la boya mareógrafo de la red REDMAR en Málaga:

Mareógrafo de Malaga 3


Acceso a datos
Información
Ceros - Referencias

Ubicación
Longitud
Latitud
Cadencia
Código
Inicio de medidas
Última medida
Tipo de sensor
Modelo
Comentarios
Conjunto de datos

Situado junto la la baliza roja en el Muelle 67 Transversal de poniente.
4.42° O
36.71° N
1 Min
3546
1-7-1992
4-7-2025
Radar
Miros
Datos de presión desde 26-11-2015. Cota sensor de presión 4,633 m.
REDMAR



Cobertura de datos


Puertos del Estado
Cerrar

Los valores obtenidos vienen referenciados siempre respecto al cero en el puerto, que sigue el siguiente esquema en este caso:

Mareógrafo de Málaga 3

Acceso a datos Información Ceros - Referencias


Clavo de referencia SP FARO (NGAB). Sobre la esquina noroeste de la peana del faro situado junto al mareógrafo

Cero REDMAR Cero del Puerto

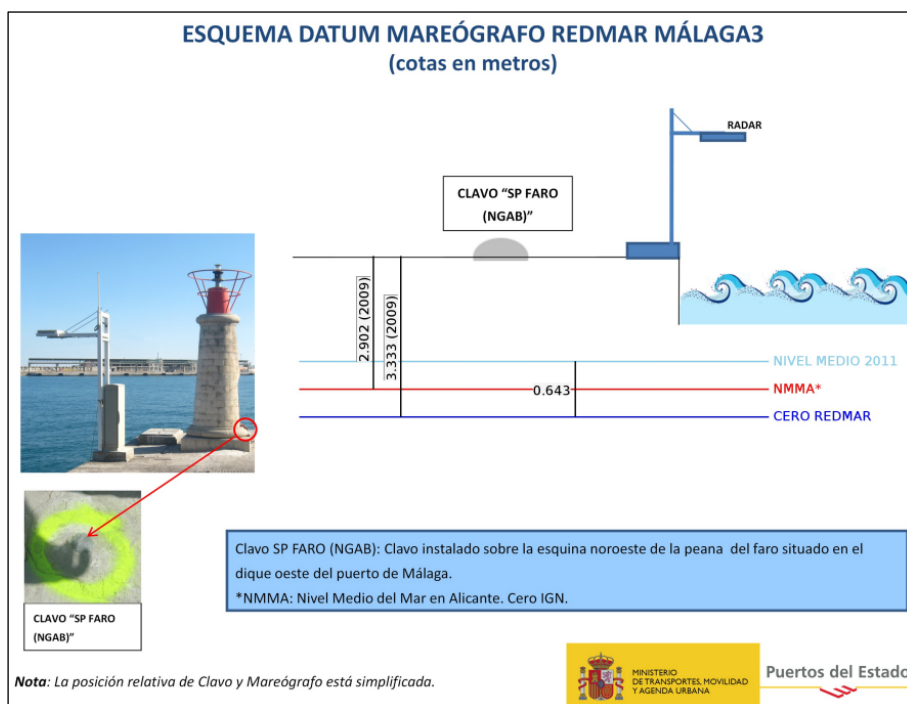
Cota 3.33 m. bajo clavo de referencia

Para referir al cero geodésico nacional (IGN): nivel - 0.431

Informe nivelación Esquema Datum Definiciones Información GNSS

 Puertos del Estado

Cerrar



Datum del cero en el Puerto de Málaga respecto al N.M.M.A.

Como se puede observar, hay una diferencia de 0,431 ($3.333-2.902=0.431$) metros entre el cero de la boya de la REDMAR y el cero del N.M.M.A, que es el coincidente con el cero geodésico y por tanto con el de las cartografías que se tiene de la zona de estudio. Al obtener las cotas del nivel del mar de cada evento de temporal, será necesario realizar una corrección restando la diferencia de 0,431 metros para tener una cota real del nivel del mar respecto al N.M.M.A.

Para cada evento de temporal, se utilizará el valor de marea recogido por el mareógrafo de Málaga 3 a la hora del evento del temporal, procedente también de la web de Puertos del Estado. De esta manera, se tienen los siguientes valores en relación a los temporales estimados de estudio:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}
21:00	10	2	2023	5,06	9,1	108	50,6	0,506	0,075
17:00	4	4	2022	4,56	13,32	107	102	1,020	0,589
0:00	25	3	2022	4,25	12,11	110	68,9	0,689	0,258
11:00	26	2	2022	3,99	9,1	111	78,2	0,782	0,351
1:00	26	1	2022	3,77	9,1	111	50,5	0,505	0,074

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}
22:00	16	12	2021	3,81	9,1	112	69,3	0,693	0,262
12:00	19	11	2021	5,17	10,01	110	94,9	0,949	0,518
11:00	18	3	2020	4,48	9,1	110	73,9	0,739	0,308
1:00	27	3	2019	5,2	11,01	110	53	0,530	0,099

Tabla de máximos temporales en el periodo 2019-2023 en el punto SIMAR 2036080.

Donde:

S_{REDMAR} es la cota del nivel del mar respecto a la cota cero del puerto.

S_{NM} es la cota del nivel del mar respecto al nivel medio del mar en Alicante (NMMA).

1.3 Cálculo de la cota de inundación asociada a cada evento de temporal estimado.

En el anterior apartado se ha estimado los eventos de temporales en 5 años que pueden ser sensibles de ocasionar los 5 máximos alcances, o cotas de inundación máximas, que determinan la zona marítimo terrestre según la actual legislación de costas. Además, se ha calculado, para cada evento de temporal, el nivel del mar en ese momento como suma de la marea astronómica y meteorológica asociada, siendo todos estos datos directamente consultables en la web www.puertos.es.

Falta el sumando del run-up para determinar exactamente la cota de inundación, que denominaremos S_{CI}, siguiendo siempre la nomenclatura propuesta en el Atlas de Inundación del Litoral Español redactado en su momento por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica de la Universidad de Cantabria.

Para calcular el valor del run-up, existen varios modelos o formulaciones que determinan éste en función de varios parámetros o características del oleaje incidente. De las formulaciones más modernas, está muy extendida y aceptada la de Nielsen-Hanslow (1991), que estima el valor del run-up con una banda de confianza del 2% (R_{2%}), en función de la altura de ola significativa y la longitud de onda asociada a dicho oleaje en aguas profundas.

Los estudios que dieron lugar a la formulación del modelo propuesto por Nielsen y Hanslow derivaron de las observaciones de exhaustivas campañas de campo entre septiembre de 1988 y octubre de 1990 sobre seis playas arenosas de la costa de Nueva Gales del Sur en la costa australiana.

El objetivo fue examinar el run-up de una variedad adecuada de tipos de playas naturales (desde reflectivas hasta disipativas) y proporcionar una imagen completa del run-up en playas naturales, ya que varía con la morfología de la playa. Los datos recopilados consistieron de un amplio rango de alturas de ola en aguas profundas (H₀) y el periodo significativo (T_s) procedentes de boyas en aguas profundas (aproximadamente 80 m) ubicadas a menos de 30 km de cada punto de observación. La investigación puso de manifiesto la independencia de los resultados del run-up de la pendiente de la playa en el caso de playas planas, cuyo valor de pendiente < 0,1, es decir, en playas disipativas, mientras que, en las playas más reflejantes, con el límite marcado por la pendiente > 0,1 se confirma la dependencia del ángulo del talud y, por tanto, del número de Iribarren.

Por tanto, es totalmente aplicable este modelo dado que se trata de playas de baja pendiente (<0,1) y considerando las alturas de olas significantes ya tomadas y su

periodo de pico asociado para cada uno de los eventos de temporal en aguas profundas, (datos procedentes del punto SIMAR más relevante para la zona de estudio).

La formulación de Nielsen-Hanslow (1991) relacionada con la pendiente de la playa es la siguiente:

$$R_{u0} = 0,47 \cdot (H_s \cdot L_0)^{1/2} \cdot \tan \beta \quad \text{si } \tan \beta > 1/10$$

$$R_{u0} = 0,04 \cdot (H_s \cdot L_0)^{1/2} \quad \text{si } \tan \beta < 1/10$$

Y para la banda de confianza del 2%:

$$R_{u2\%} = 1,98 \cdot R_{u0}$$

Teniendo en cuenta que en las playas de estudio la pendiente de la playa húmeda es inferior a 1/10, la formulación resultante es:

$$R_{2\%} = 1,98 \cdot 0,04 \cdot (H_s \cdot L_0)^{1/2}$$

Donde:

L_0 = Longitud de onda local en aguas profundas

$$L_0 = 1,56 \cdot T_p^2$$

H_s = Altura de ola significativa de cada evento de temporal en aguas profundas.

T_p = Periodo de pico del grupo de olas asociado a cada evento de temporal.

Aplicando esta formulación a los datos obtenidos anteriormente, podemos obtener el valor del run-up para cada evento de temporal, que a su vez debe ser sumado a la componente del nivel del mar (S_{nm}) ya calculado para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación de cada uno de los eventos de temporal y ordenarlos definitivamente según la cota de inundación calculada y así obtener el quinto mayor temporal en el periodo de cinco años estudiado.

En la siguiente tabla se resumen los datos de run-up obtenidos y la cota de inundación obtenida para cada evento:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{2%} (m)	S _{CI} (m)	Corrección cero Geodésico
21:00	10	2	2023	5,06	9,1	108	50,6	0,506	0,075	129,18	2,02	2,10	0,431
17:00	4	4	2022	4,56	13,32	107	102	1,020	0,589	276,78	2,81	3,40	0,431
0:00	25	3	2022	4,25	12,11	110	68,9	0,689	0,258	228,78	2,47	2,73	0,431
11:00	26	2	2022	3,99	9,1	111	78,2	0,782	0,351	129,18	1,80	2,15	0,431
1:00	26	1	2022	3,77	9,1	111	50,5	0,505	0,074	129,18	1,75	1,82	0,431
22:00	16	12	2021	3,81	9,1	112	69,3	0,693	0,262	129,18	1,76	2,02	0,431
12:00	19	11	2021	5,17	10,01	110	94,9	0,949	0,518	156,31	2,25	2,77	0,431
11:00	18	3	2020	4,48	9,1	110	73,9	0,739	0,308	129,18	1,91	2,21	0,431
1:00	27	3	2019	5,2	11,01	110	53	0,530	0,099	189,10	2,48	2,58	0,431

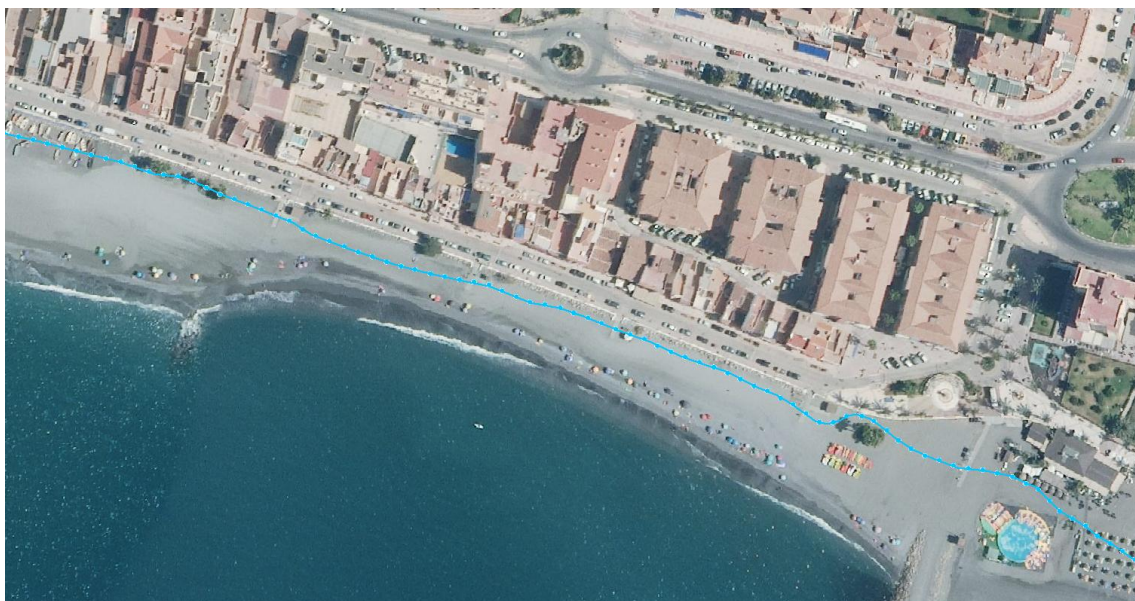
Ordenando por el valor de la cota de inundación de mayor a menor tenemos:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{2%} (m)	S _{Cl} (m)	Orden severidad del temporal	Corrección cero Geodésico
21:00	10	2	2023	5,06	9,1	108	50,6	0,506	0,075	129,18	2,02	2,10	7º	0,431
17:00	4	4	2022	4,56	13,32	107	102	1,020	0,589	276,78	2,81	3,40	1º	0,431
0:00	25	3	2022	4,25	12,11	110	68,9	0,689	0,258	228,78	2,47	2,73	3º	0,431
11:00	26	2	2022	3,99	9,1	111	78,2	0,782	0,351	129,18	1,80	2,15	6º	0,431
1:00	26	1	2022	3,77	9,1	111	50,5	0,505	0,074	129,18	1,75	1,82	9º	0,431
22:00	16	12	2021	3,81	9,1	112	69,3	0,693	0,262	129,18	1,76	2,02	8º	0,431
12:00	19	11	2021	5,17	10,01	110	94,9	0,949	0,518	156,31	2,25	2,77	2º	0,431
11:00	18	3	2020	4,48	9,1	110	73,9	0,739	0,308	129,18	1,91	2,21	5º	0,431
1:00	27	3	2019	5,2	11,01	110	53	0,530	0,099	189,10	2,48	2,58	4º	0,431

De la tabla anterior se observa que el 5º evento de temporal más severo que alcanza la costa en un periodo de 5 años (artículo 4.a del Reglamento General de Costas: "... *Dicho límite será el alcanzado al menos en 5 ocasiones en un periodo de 5 años...*"), es el correspondiente al 18 de marzo de 2020 a las 11:00 horas. Es decir, ha habido otras cuatro ocasiones en las que es alcanzada la costa por otros 4 eventos más severos que el de dicho día en el periodo de cinco años estudiados (los otros cuatro eventos alcanzan una cota de inundación mayor), por lo que la cota de inundación que nos marca este día es el correspondiente a la 5 ocasión que llega el oleaje en el periodo de 5 años, tal y como indica el mencionado artículo 4 del Reglamento General de Costas "Criterios técnicos para la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa".

Esta 5ª cota por orden de severidad (de mayor a menor severidad) es la resaltada en color verde en la tabla anterior: **+2.21** metros sobre el nivel del mar en Alicante.

Representada esta cota de inundación en el plano en las zonas de estudio de Algarrobo que el alcance del oleaje que alcanza cinco veces en cinco años estas zonas, no supera el interior de la playa de arena:



Cota de inundación en la zona de estudio

Llegados a este punto, es necesario recordar que la delimitación del DPMT y, en concreto, su ribera del mar, no solo viene dada por el alcance del oleaje en los mayores temporales conocidos, sino que también hay que considerar la superficie ocupada por la arena de la playa o los depósitos de materiales sueltos, por lo que se han de contemplar todos los elementos que componen la ribera del mar de los bienes de dominio público marítimo-terrestre para la delimitación de dichas franjas. Los bienes de dominio público

marítimo terrestre pueden incluir mayor superficie que la delimitada como ribera del mar ya que los bienes de DPMT también son los incluidos en los artículos 4 y 5 de la Ley de Costas de 1988.

**Anexo n°4: Determinación y criterios justificativos del
deslinde del dominio público marítimo-terrestre.**

1. OBJETO

La necesidad de un marco normativo que garantizara la protección del dominio público marítimo-terrestre estatal supuso la aprobación de la Ley de Costas del año 1988 (y su Reglamento General de Costas en 1989), modificada por la Ley de protección y uso sostenible del litoral 2/2013 de 29 de mayo, lo que supuso la aprobación posterior de un nuevo Reglamento General de Costas por Real Decreto 876/2014 de 10 de octubre.

Es por ello que el objetivo en este anexo 4, en función de lo determinado por esta legislación, y por los resultados obtenidos en este estudio del medio, es establecer la determinación del deslinde del dominio público marítimo-terrestre conforme a los preceptos jurídicos recogidos en la legislación vigente.

2 DETERMINACIÓN Y CRITERIOS JUSTIFICATIVOS DEL DESLINDE DEL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE

2.1 Criterios justificativos del deslinde del dominio público marítimo terrestre en el tramo en estudio

Una vez estudiados los condicionantes de la delimitación del dominio público marítimo-terrestre, se analizan de manera conjunta todos ellos según los preceptos jurídicos que marca la legislación vigente para determinar la inclusión o no en el dominio público los diferentes ambientes que configuran la zona de este tramo de deslinde del término municipal de Algarrobo.

Los principales artículos de la Ley de Costas de 1988 que justifican la determinación del límite interior del DPMT y de la ribera del mar en el tramo que nos ocupa, han sido los siguientes:

El artículo 3.1.a) de la Ley de Costas:

Artículo 3.

Son bienes de dominio público marítimo-terrestre estatal, en virtud de lo dispuesto en el artículo 132.2 de la Constitución:

1. La ribera del mar y de las rías, que incluye:

a) La zona marítimo-terrestre o espacio comprendido entre la línea de bajamar escorada o máxima viva equinoccial, y el límite hasta donde alcancen las olas en los mayores temporales conocidos, de acuerdo con los criterios técnicos que se establezcan reglamentariamente, o cuando lo supere, el de la línea de pleamar máxima viva equinoccial. Esta zona se extiende también por las márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas.

Se consideran incluidas en esta zona las marismas, albuferas, marjales, esteros y, en general, las partes de los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua del mar.

El artículo 3.1.b) de la Ley de Costas:

Artículo 3.

Son bienes de dominio público marítimo-terrestre estatal, en virtud de lo dispuesto en el artículo 132.2 de la Constitución:

1. La ribera del mar y de las rías, que incluye:

b) Las playas o zonas de depósito de materiales sueltos, tales como arenas, gravas y guijarros, incluyendo escarpes, bermas y dunas, estas últimas se incluirán hasta el límite que resulte necesario para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa.

El artículo 4.5 de la Ley de Costas dice:

Artículo 4.

Pertenecen asimismo al dominio público marítimo-terrestre estatal:

5. Los terrenos deslindados como dominio público que por cualquier causa han perdido sus características naturales de playa, acantilado, o zona marítimo-terrestre, salvo lo previsto en el artículo 18.

Los criterios técnicos y de desarrollo de estos artículos de la Ley de Costas, se reúnen en el Reglamento General de Costas. Así, para determinar la zona marítimo-terrestre y de la playa se definen los criterios en el artículo 4 del Reglamento General de Costas, que dice:

Artículo 4.

Criterios técnicos para la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa.

"En la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa, con arreglo a las definiciones contenidas en el artículo anterior, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

a) Para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, se considerarán las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas y el oleaje. Dicho límite será el alcanzado al menos en 5 ocasiones en un periodo de 5 años, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica existente demuestre la necesidad de utilizar otro criterio.

Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas con boyas o satélites o calculadas a través de datos oceanográficos o meteorológicos.

b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos superpuestos de las astronómicas y de las meteorológicas. No se tendrán en cuenta las ondas de mayor periodo de origen sísmico o de resonancia cuya presentación no se produzca de forma secuencial.

c) Se considerará que son necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa las dunas que estén en desarrollo, desplazamiento o evolución debida a la acción del mar o del viento marino, las dunas primarias y las dunas secundarias hasta su borde interior. Se entiende que no son necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa las dunas relictas y las dunas estabilizadas, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica disponible demuestre que la duna estabilizada es necesaria para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa."

2.2 Determinación del dominio público marítimo-terrestre en el tramo en estudio

Una vez analizados los condicionantes jurídicos y técnicos de la delimitación del dominio público marítimo-terrestre, la ribera de mar y sus servidumbres asociadas, se determina, a continuación, la justificación jurídico-técnica del sector.

Por lo tanto, a modo de resumen, el dominio público marítimo-terrestre queda justificado de la siguiente manera:

VÉRTICES	ARTÍCULO Ley de Costas	COINCIDENCIA CON EL DESLINDE VIGENTE	COINCIDENCIA CON LA RIBERA DEL MAR
M-1 a M-6	4.5	SI	NO / 3.1.b)

Se ha de recordar que los terrenos que formaban ya parte del dominio público marítimo-terrestre en la década de 1970 del siglo XX, y que fue aprobada su zona marítimo-

terrestre en el año 1974, lo siguen siendo en la actualidad según lo contenido en el artículo 132.1 de la Constitución, que indica *que "los bienes de dominio público marítimo terrestre definidos en la Ley de Costas son inalienables, imprescriptibles e inembargables"*.

Su delimitación queda plasmada en los planos reunidos en el DOCUMENTO N° 2 de este proyecto de deslinde, de acuerdo a la Ley 22/88, de Costas.

Se determinan como bienes de dominio público marítimo terrestre estatal:

Del vértice M-1 al M-6. Sector de unos 323 metros de longitud de poligonal de deslinde coincidente con la zona marítimo terrestre aprobada por Orden Ministerial de 14 de julio de 1974 cuyos planos fueron realizados en septiembre de 1965.

En aquella época existía una línea de edificaciones entre la playa y los cultivos como se observa en la fotografía aérea de 1964:



Con esta configuración se aprobó el deslinde de la zona marítimo terrestre en 1974 bajo las directrices de la Ley de Costas de 1969.

En las décadas siguientes la urbanización de la zona continuó, construyéndose en los campos de cultivo tras la línea de edificios mencionada, y continuando la fachada edificada hacia el Este siendo, actualmente, una línea continua urbanizada.

Al establecimiento de viviendas al borde de la arena de la playa, se añadió la construcción de un vial sobre el interior de la playa para el tránsito de vehículos y peatones reduciendo la anchura natural de la playa.

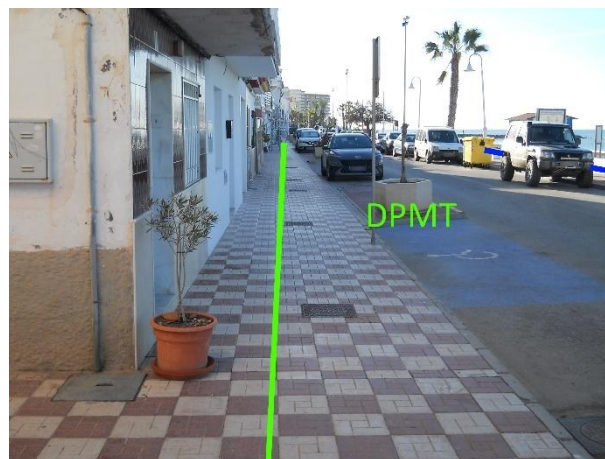
Como ya se ha reiterado en puntos anteriores, en la década de 1970 se construyó el puerto de la Caleta de Vélez (fuera de la zona de estudio) cuyos efectos en las corrientes locales produjeron una regresión notable de la playa en esta zona y otras aledañas, lo que supuso que los temporales marítimos afectasen con mayor intensidad las edificaciones de primera línea. Para evitar estos efectos, se erigieron dos espigones para reducir la regresión de la playa y disminuir el efecto del oleaje durante los temporales, principalmente los provenientes de Levante.

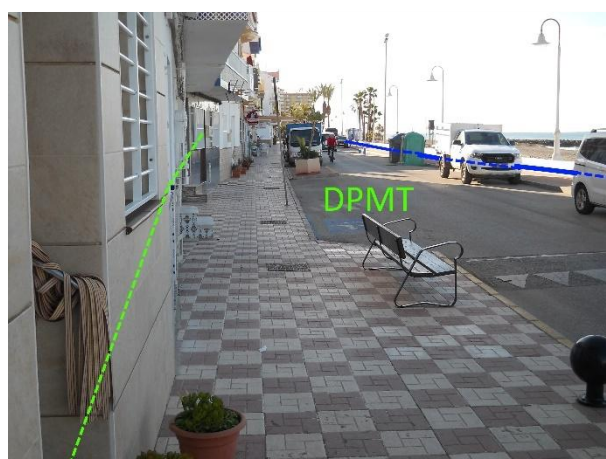
Actualmente el aspecto de la zona es el que se observa en la siguiente fotografía aérea de 2022:



Donde se advierte la reducción de la anchura de la playa tanto por la regresión de la misma como por el uso de su superficie interior para el establecimiento del vial antes mencionado. Así mismo se distingue el importante espigón en la parte oriental del tramo y un segundo espigón, de menores dimensiones se encuentra en prácticamente el inicio del tramo.

Esta distribución de los elementos en la costa supone que la parte interior de la zona marítimo terrestre haya perdido sus características naturales cuya principal afección ha sido la instalación del vial rodado sobre la playa que, como se ha visto en la fotografía aérea de 1964, llegaba hasta las fachadas de los edificios, con lo que con su construcción se perdieron al menos 12 metros de anchura de playa.



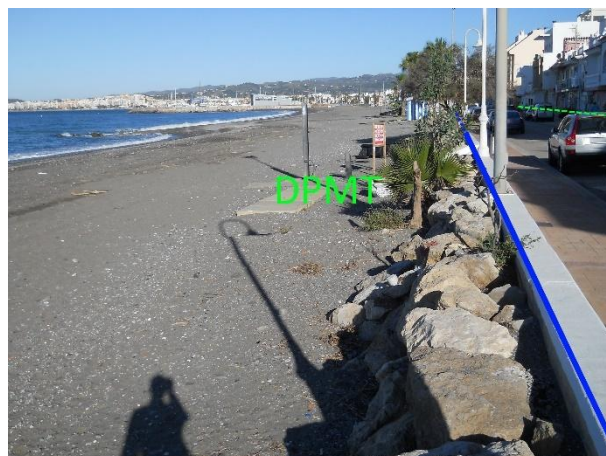


Vial construido sobre la playa existente en la década de 1960.

Entre el acerado del vial y la línea de agua se encuentra una playa de arena con las instalaciones típicas como son las pasarelas de madera, duchas, etc.

En este punto de confluencia entre los terrenos naturales, la playa, y la zona antropizada se encuentra un murete de escasa altura que los separa defendido por una pequeña escollera en toda su longitud para protegerlo del oleaje durante los temporales más severos.





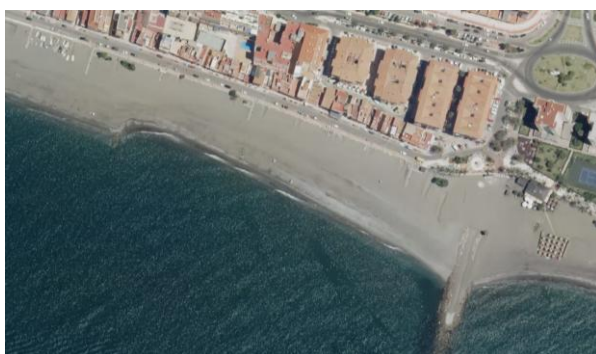
Muro al interior de la playa de arena y escollera defensiva

Como se aprecia en las imágenes anteriores, se trata de terrenos que han perdido sus características naturales propias de la zona marítimo terrestre en su parte interior por estar ocupadas por terrenos artificiales urbanizados sobre la antigua arena de la playa.

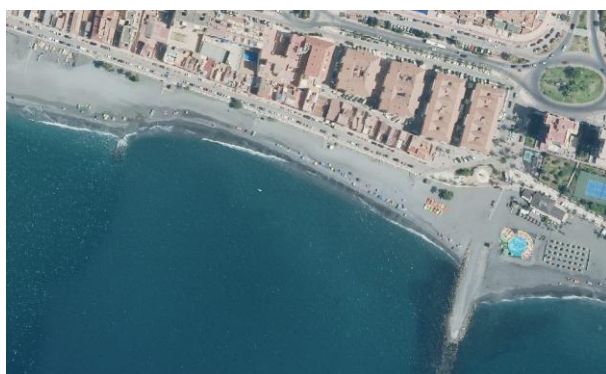
Al exterior de la escollera defensiva se extiende una playa de arena y grava fina que tiene oscilaciones en su anchura dependiendo de la frecuencia de los temporales y de su intensidad, variando de año en año en su anchura, como se puede apreciar en la serie siguiente de fotografías aéreas de la zona:



2010



2016



2022

La playa está formada por arena fina, gravas y guijarros dispersos de hasta 7 cm de diámetro mayor (generalmente estos guijarros toman formas ovoides o elipsoides y un espesor escaso, de no más de 1 o 2 cm).



Playa de Algarrobo. Detalle de los guijarros. Al fondo diques del puerto de Caleta de Vélez.

En la parte interior de la playa contiguo a la escollera defensiva antes mencionada, se cultivan los típicos "oasis" de la Costa del Sol, consistente en áreas en las que se mantiene una superficie plantada con césped (con riego para su mantenimiento), y especies, generalmente tropicales como palmeras y en el caso de la playa que nos ocupa, además con plataneras, como puede apreciarse en la siguiente fotografía de mayo de 2024:



Vista general de la playa de Algarrobo. Oasis y muro limitante. Al fondo espigón.

Por todo lo expuesto, los terrenos delimitados como dominio público marítimo-terrestre en su parte más interior, al haber perdido sus características naturales de zona marítimo terrestre ya deslindada y aprobada por orden ministerial en el año 1974, cumplen con lo establecido en el artículo 4.5 de la Ley de Costas de 1988. La delimitación interior el DPMT es coincidente con la delimitación aprobada como zona marítimo terrestre en dicha orden ministerial de 1974.

El artículo 132 de la Constitución establece que la ley regulará el régimen jurídico de los bienes de dominio público inspirándose en los principios de inalienabilidad, imprescriptibilidad e inembargabilidad; también su desafectación.

Además, en su párrafo 2 especifica que son bienes de dominio público estatal, además de los que determine la ley, en todo caso, la zona marítimo terrestre, las playas, el mar territorial y los recursos naturales de la zona económica y la plataforma continental.

Por otro lado, es necesario determinar el límite interior de la ribera del mar, según el artículo 3.1 de la Ley de Costas de 1988:

Artículo 3.

Son bienes de dominio público marítimo-terrestre estatal, en virtud de lo dispuesto en el artículo 132.2 de la Constitución:

1. La ribera del mar y de las rías, que incluye:

a) La zona marítimo-terrestre o espacio comprendido entre la línea de bajamar escorada o máxima viva equinoccial, y el límite hasta donde alcancen las olas en los mayores temporales conocidos, de acuerdo con los criterios técnicos que se establezcan reglamentariamente, o cuando lo supere, el de la línea de pleamar máxima viva equinoccial. Esta zona se extiende también por las márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas.

Se consideran incluidas en esta zona las marismas, albuferas, marjales, esteros y, en general, las partes de los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua del mar.

No obstante, no pasarán a formar parte del dominio público marítimo-terrestre aquellos terrenos que sean inundados artificial y controladamente, como consecuencia de obras o instalaciones realizadas al efecto, siempre que antes de la inundación no fueran de dominio público.

b) Las playas o zonas de depósito de materiales sueltos, tales como arenas, gravas y guijarros, incluyendo escarpes, bermas y dunas, estas últimas se incluirán hasta el límite que resulte necesario para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa.

En primer lugar, es necesario determinar el alcance de los mayores temporales conocidos según se determina en el Reglamento General de Costas, esto es, el alcance de las olas en los mayores temporales en los términos legales para fijar el límite interior de la ribera del mar del DPMT. Este límite del oleaje será el alcanzado al menos en cinco ocasiones en un periodo de cinco años (artículo 4 del Reglamento General de Costas).

Según los cálculos realizados desarrollados en el anexo 3, la cota de inundación en esta zona de costa es de +2,21 msna, por lo que, según la cartografía de costas, esta cota no llega hasta la escollera defensiva que delimita la playa. En el siguiente plano se ha representado en azul esta cota de inundación:



Cota de inundación en la zona de estudio

Por lo tanto, al extenderse más al interior la arena de la playa respecto al alcance del oleaje del quinto temporal en un periodo de cinco años, es la superficie de ella la que marcará el límite interior de la ribera del mar según el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas de 1988.

En este caso la playa está limitada al interior por el vial construido por lo que será el murete separador el que marque el límite interior de la ribera del mar ya que se considera que es hasta este muro hasta donde se extiende la arena de la playa.

3 CAMBIO CLIMÁTICO: CONSECUENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES. PROTECCIÓN DE LA COSTA Y DEL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE.

En este anejo 3 del proyecto de deslinde de Algarrobo se ha hecho el estudio de alcance del oleaje durante los mayores temporales conocidos en un periodo de 5 años para dilucidar que cota es alcanzada cinco veces en ese periodo de cinco años. Para ello se han utilizado los datos de los mayores temporales conocidos ya ocurridos y se ha plasmado en el plano su posicionamiento sobre la superficie de los depósitos de arena o extensión de las playas existentes en la actualidad pero, ha de hacerse la indicación que estas superficies que se definen actualmente son susceptibles de ser modificadas en un futuro relativamente próximo si se tiene en consideración, para dichas superficies, posibles modificaciones futuras por los cambios que se puedan producir, principalmente por el alcance del oleaje, aumento del nivel del mar y la regresión de la costa y, en consecuencia, la determinación de la ribera del mar por el artículo 3.1.a) en su caso, debido a la variación del nivel del mar y la severidad de los temporales en la zona a consecuencia del calentamiento global y el cambio climático y la reducción de la superficie de las playas si la regeneración artificial de ellas no es suficiente para mantener su extensión; por lo que estos cambios en el DPMT o su ribera del mar se tendrán que promover conforme las evidencias de regresión de las playas o del alcance del oleaje durante los mayores temporales vayan produciéndose como así se indica en el artículo 2.a) de la Ley 22/88 de Costas:

Artículo 2

La actuación administrativa sobre el dominio público marítimo-terrestre perseguirá los siguientes fines:

- a) **Determinar el dominio público marítimo-terrestre y asegurar su integridad y adecuada conservación,**

adoptando, en su caso, las medidas de protección, y de restauración necesarias y, cuando proceda, de adaptación, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático.

Cabe destacar llegados a este punto, en relación a la morfología actual de la costa en esta zona, su alta presión antrópica ya que todo terreno está urbanizado, y, al mismo tiempo (y en posible contraposición), el deber de protección del medio ambiente natural que emana de la Constitución Española de 1978 (artículo 45), así como todo aquello que al respecto se hace referencia en la Exposición de Motivos de la Ley de Costas de 1988:

"[...] A este olvido de que los áridos son un recurso escaso, con un largo o costoso proceso de renovación, hay que añadir la destrucción de dunas litorales, las extracciones abusivas de áridos y, en muchas ocasiones, la ejecución de obras a lo largo de la costa.

*Se ha producido además con demasiada frecuencia la **desnaturalización de porciones del dominio público litoral**, no sólo porque se ha reconocido la propiedad particular, sino también por la **privatización de hecho que ha supuesto el otorgamiento de determinadas concesiones** y la carencia de accesos públicos, con el resultado de que ciertas extensiones de la ribera del mar han quedado injustificadamente sustraídas al disfrute de la colectividad".*

*"[...] Las **consecuencias del creciente proceso de privatización y depredación, posibilitado por una grave dejación administrativa**, han hecho irreconocible, en numerosas zonas, el paisaje litoral de no hace más de treinta años, con un urbanismo nocivo de altas murallas de edificios al mismo borde de la playa o del mar, vías de transporte de gran intensidad de tráfico demasiado próximas a la orilla, y vertidos al mar sin depuración en la mayoría de los casos.*

*Este doble fenómeno de destrucción y privatización del litoral, que amenaza extenderse a toda su longitud, **exige de modo apremiante una solución** clara e inequívoca, acorde con la naturaleza de estos bienes, y que, **con una perspectiva de futuro, tenga como objetivos la defensa de su equilibrio y su progreso físico, la protección y conservación de sus valores y virtualidades naturales y culturales, el aprovechamiento racional de sus recursos, la garantía de su uso y disfrute abierto a todos**, con excepciones plenamente justificadas por el interés colectivo y estrictamente limitadas en el tiempo y en el espacio, y con la adopción de las adecuadas medidas de restauración".*

*"[...] De especial novedad e interés, porque **el tiempo actúa en contra de la conservación de los espacios naturales y a favor de la extensión de las áreas urbanas**, es el título dedicado a **la protección del dominio público marítimo-terrestre**. Este título establece, como es tradicional en la legislación española reguladora de bienes de dominio público, una serie de **limitaciones** a la propiedad de los terrenos colindantes, que tienen el carácter de regulación mínima y complementaria de la que dicten las Comunidades Autónomas en el ámbito de sus competencias, por lo que la presente Ley se contrae a la definición de las condiciones básicas para el ejercicio de ese derecho en los mencionados terrenos y trata de **asegurar la efectividad del derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado, así como el deber de conservarlo**, siguiendo pautas ya establecidas en otros países europeos y también en el nuestro en relación a los terrenos colindantes con otros bienes de dominio público. La mayor parte de esas limitaciones venían ya establecidas por la legislación hasta ahora vigente, pero la nueva Ley, en coherencia con sus **objetivos de conservación de la integridad del dominio público**, configura la vieja servidumbre de salvamento, obsoleta en cuanto a la finalidad específica que indica su denominación, como una servidumbre de protección del citado dominio, que comporta la **prohibición general** de determinadas actividades y, sobre todo, **construcciones consideradas perjudiciales** para la adecuada protección de un medio natural tan sensible, como la experiencia ha puesto de relieve. En efecto, la garantía de la conservación del dominio público marítimo-terrestre no puede obtenerse sólo mediante una acción eficaz sobre la estrecha franja que tiene esa calificación jurídica, sino que resulta también imprescindible la actuación sobre la franja privada colindante, **para evitar que la interrupción del transporte eólico de los áridos** y el cierre de las perspectivas visuales para la construcción de edificaciones en pantalla, la propia sombra que proyectan los edificios sobre la ribera del mar, el vertido incontrolado y, en general, **la incidencia negativa de la presión edificatoria y de los usos y actividades que ella genera sobre el medio natural puedan causar daños irreparables o de muy difícil y costosa reparación**. La anchura de esta zona de servidumbre de protección ha de ser, lógicamente, convencional, si bien debe fijarse conjugando con carácter general una profundidad de 100 metros, si bien en las zonas ya urbanizadas se mantiene la anchura de 20 metros de la anterior servidumbre de salvamento, como se indicará más adelante al comentar el régimen transitorio. Estas dimensiones están entre las menores que recoge el derecho comparado.*

Es destacable lo que se arguye en relación a la protección del litoral donde se dice que ha de tenerse una perspectiva de futuro en su defensa frente a la destrucción y privatización del litoral en toda su longitud (cuestión que en la costa de la provincia de Málaga es bien conocida) por lo que, dado que el tiempo actúa en contra de la conservación de los espacios naturales y a favor de la extensión de las áreas urbanas, es necesaria la protección del DPMT procediendo a limitar además determinadas acciones en la franja privada colindante con el fin de evitar daños irreparables o de muy difícil recuperación. La Ley de Costas, en este sentido, tiene carácter de regulación mínima y por tanto, las CCAA, en el ámbito de sus competencias, pueden dictar Leyes de Costas Autonómicas que incrementen las herramientas para la defensa del DPMT y

del litoral para asegurar la efectividad del derecho de todos del disfrute de un medio ambiente costero adecuado así como el deber de conservarlo por parte de todos, tanto de los usuarios como de todas las administraciones públicas.

Mencionar en relación a las obligaciones que el artículo 45 de la CE expresa respecto a la conservación del medio ambiente natural, y en relación a la perspectiva de futuro que ha de tenerse en cuenta respecto a las consecuencias del cambio climático (en las que España se encuentra implicada mediante la firma de numerosos Acuerdos Internacionales), que la existencia de infraestructuras artificiales, como los paseos marítimos o terrenos rellenados sobre antiguas zonas ocupadas por el mar, con diques y espigones que puedan modificar las corrientes litorales y el movimiento de los sedimentos, aunque actualmente podrían ser consideradas como barreras defensivas frente a los temporales, se han de tener en consideración los datos que arrojan los diferentes escenarios que los modelos matemáticos realizados para diferentes escalas territoriales y de tiempo indican sobre el aumento del nivel del mar y de la severidad de los temporales por las consecuencias del cambio climático.

Debido a ello es muy previsible que los terrenos colindantes a la ribera del mar y/o al DPMT sean, en un futuro, alcanzados por el oleaje por la tendencia regresiva de la costa, ocasionando daños en las infraestructuras turísticas ubicadas al interior de la actual ribera del mar y del DPMT por lo que la tendencia futura deberá ser el *retranqueo hacia el interior* tanto de viales como de edificaciones que actualmente se encuentran en el frente litoral y que serán las primeras infraestructuras afectadas por las consecuencias del aumento del nivel del mar y del incremento en la intensidad de los temporales marinos.

El cambio climático y consecuentemente el incremento de la frecuencia e intensidad de los temporales marinos, así como el aumento del nivel medio del mar implicará unas mayores pérdidas económicas, así como un incremento en las posibles indemnizaciones y/o ayudas de las administraciones al ámbito privado afectado. Adicionalmente, se tendrá que tener en consideración las posteriores "reclamaciones" por parte de la ciudadanía y de los agentes económicos afectados de una mayor inversión económica por parte de ellas para la recuperación de las zonas dañadas, como puede ser la regeneración artificial de las playas, creación de infraestructuras para mantener la arena en aquellos lugares donde de manera natural no existirían determinadas playas como espigones y diques, creación de escolleras, o la reparación de las infraestructuras existentes, para mantener el sistema económico de la costa mediterránea claramente insostenible, medioambientalmente hablando, y escasamente resiliente ante las consecuencias del cambio climático como ya se está viendo con los temporales de los últimos años y los daños que producen, así como la tendencia regresiva de la costa.

Ante el escenario de cambios en el litoral español que se presenta en los próximos años, el mantenimiento íntegro del dominio público marítimo-terrestre y unas servidumbres lo más amplias posibles en el ámbito privado colindante ha de considerarse como un instrumento imprescindible para la defensa de la costa desde el punto de vista ambiental ante la presión que las diversas actividades humanas, principalmente las orientadas al turismo masivo, que afectan a las zonas litorales cuyos intereses económicos se contraponen a la conservación del medio ambiente costero.

La protección del DPMT es uno de los objetos expresados en el artículo 1 de la Ley 22/88, de Costas. Se deberá tener en cuenta por parte de todas las Administraciones (locales, autonómica y estatal) la previsible modificación del DPMT hacia el interior en un futuro próximo a consecuencia de los cambios en la costa que se irán produciendo por los efectos que la modificación del clima y la severidad de los eventos meteorológicos que se producirán sobre la costa, en consonancia con el artículo 2.a) de la Ley de Costas de 1988.

Así mismo, las consecuencias del cambio climático en el ya visible incremento de la severidad de los temporales marinos, regresión de las costas y los consecuentes daños económicos que se producen en las infraestructuras litorales hace ineludible comenzar a desplazar tanto las infraestructuras públicas como las privadas tierra adentro creando zonas de amortiguación para evitar unas mayores pérdidas económicas y una destrucción de la zona litoral liberándose de infraestructuras zonas de costa que servirán de áreas de amortiguamiento donde el desarrollo urbanístico se prohíba o se restrinja significativamente en pro de la seguridad de las personas y de la conservación de la zona litoral como así se aconseja desde la Universidad Chrstian-Albrechts de Kiel (Alemania) donde investigadores de esta Universidad han estudiado la eficiencia de diferentes tipos de zonas de amortiguamiento para reducir la exposición urbana futura al aumento del nivel del mar y sus peligros relacionados. El estudio, respaldado por el proyecto CoCliCo y financiado por la UE muestra que la creación de zonas costeras retranqueadas podría ayudar a que el nuevo desarrollo urbanístico sea al menos un 50% menos vulnerable a los riesgos del aumento del nivel del mar en la mayoría de los Estados miembros de la UE para el año 2100. Estas áreas de amortiguamiento deberán tener en cuenta, no solo el aumento del nivel del mar y la severidad de los temporales sino también la regresión de la costa, la tendencia al hundimiento de determinadas zonas costeras y la cota del terreno para que las nuevas zonas urbanas puedan estar más protegidas de los riesgos potenciales del aumento del nivel del mar y del incremento en la frecuencia e intensidad de los temporales costeros.