

**ANEJO 3: ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DEL MEDIO AL
PROYECTO CONSERVADO (O.M. 02-03-2016)**

ÍNDICE

ANEJO 3: ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DEL MEDIO AL PROYECTO CONSERVADO (O.M. 02-03-2016)	1
1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1
1.1. Estudio para la determinación del alcance del nivel máximo que asciende el mar.	2
2. DETERMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN COMPLEMENTARIA DE LA DINÁMICA LITORAL.....	3
2.1. Descripción General del Clima Marino	3
3. ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ALCANCE DEL NIVEL MÁXIMO QUE ASCIENDE EL MAR DURANTE LOS MÁXIMOS TEMPORALES CONOCIDOS.....	8
3.1. Planteamiento justificado de la estimación del nivel máximo que asciende el mar.....	8
3.2. Obtención de los datos de clima marítimo necesarios para la identificación de los mayores temporales desde que se tienen registros.....	10
3.3. Cálculo de la cota de inundación asociada a cada evento de temporal estimado.	13
3.4. Cálculo del desplazamiento de la ola por la playa seca para cada zona.	34
3.5. Discusión de los resultados.	41
3.6. Conclusiones	54
4. DETERMINACIÓN Y CRITERIOS JUSTIFICATIVOS DEL DESLINDE DEL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE	55
4.1. Objetivo del estudio.	55
4.2. Determinación y criterios justificativos del deslinde del dominio público marítimo- terrestre.	55
4.2.1. Criterios justificativos del deslinde del DPMT en el tramo en estudio.....	55
4.2.2. Determinación del deslinde del DPMT en el tramo en estudio.....	56
4.3. Cambio climático: consecuencias económicas, sociales y protección de la costa y del dominio público marítimo-terrestre.	78

1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo de esta memoria es completar los estudios realizados para la determinación del deslinde del DPMT del tramo que se extiende desde la playa del Dedo hasta el límite con el T.M. de Rincón de la Victoria (Málaga), integrado en el proyecto de deslinde fechado en junio de 2008 y su adenda de mayo de 2010; anulado por O.M. de 2 de marzo de 2016 (tras sentencia de la A.N. de 25-09-2015) y cuyos trámites y actos ordena su conservación hasta la remisión del proyecto de deslinde inclusive.

En el año 2013 se publica la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/88, de 28 de julio, de Costas.

En 2014 se publica el Reglamento General de Costas, aprobado mediante R.D. 876/2014, que sustituye el anterior Reglamento General de Costas publicado en 1989. En este nuevo Reglamento se modifican diversos conceptos que cambian el criterio para la delimitación del DPMT respecto a los criterios marcados en 1989 bajo el que se redactó el proyecto de junio de 2008 que ha de ser conservado. Entre ellos se encuentra el criterio para la determinación de la zona marítimo terrestre y de la playa reunidos en su artículo 4:

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

En septiembre de 2021 se remitió a la Dirección General de la Costa y el Mar el informe justificativo de la delimitación propuesta del DPMT para autorizar la incoación de este expediente de deslinde, y donde se ajustaba en algunos puntos la delimitación del DPMT para adecuarla a la normativa vigente hasta entonces, es decir, los criterios definidos en el RD 876/2014.

En agosto de 2022 se publica el Real Decreto 668/2022, por el que se modifica el Reglamento General de Costas, aprobado por R.D. 876/2014, de 10 de octubre. Este Real Decreto modifica diversos conceptos que cambian el criterio para la delimitación del DPMT respecto al criterio marcado en 2014. Estos nuevos criterios para la determinación de la zona marítimo terrestre y de la playa están reunidos en su artículo 4; según la modificación del RD 668/2022 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 desde que existan registros de boyas o satélites, o datos oceanográficos o meteorológicos. Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas o calculadas con esos datos.

b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos 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 incluirán en la delimitación de la playa todas las dunas que estén en desarrollo, desplazamiento o evolución debido a la acción del mar o del viento marino. Asimismo, se incluirán, hasta el límite que resulte necesario para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa, las dunas fijadas por vegetación que no estén en desarrollo, desplazamiento o evolución. Se entiende que no son necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa las dunas que han quedado aisladas, tierra adentro o colgadas sobre una costa rocosa, sin vinculación actual ni futura con la playa, teniendo en cuenta la evolución de la línea de costa y los efectos del cambio climático.

Por lo que tras esta publicación en agosto de 2022, el concepto para fijar el límite hasta donde alcanzan los máximos temporales conocidos cambia respecto a la legislación anterior dado que con el Reglamento General de Costas de 2014 se utilizaba para la delimitación del DPMT el criterio del límite hasta el que el mar alcanza cinco veces en cinco años, mientras que tras la modificación de 2022 este criterio cambia para considerar los mayores temporales conocidos como el mayor alcance desde que existen registros de boyas o satélites, o datos oceanográficos o meteorológicos.

Debido a este nuevo cambio en el criterio en la delimitación del DPMT, que establece la nueva legislación y, en cumplimiento de su disposición transitoria única, ha de hacerse un nuevo estudio de la cota de inundación y alcance del oleaje durante los mayores temporales conocidos siguiendo las directrices del Reglamento General de Costas modificado en agosto de 2022 para comprobar si se modifica de algún modo la línea de DPMT provisional y su ribera del mar trazada en la propuesta de delimitación provisional de septiembre de 2021.

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

En función del estudio para la determinación del alcance del nivel máximo del mar, 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 conclusiones:

- 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 medio de cota de inundación se ha tenido en cuenta los datos registrados por el mareógrafo y boya de Málaga.
- Para la obtención de datos de simulación de oleaje en los últimos años se ha utilizado la información de los puntos SIMAR 2032080 ya que son los puntos más próximos a la zona objeto del estudio de cota máxima del nivel del mar.
- Se puede establecer que la cota de inundación a la que alcanzan los máximos temporales conocidos en playas abiertas y sin estructuras de limitación puede situarse en entre los 2,18 m.s.n.m. y los 2,90 m.s.n.m. dependiendo de las zonas del tramo de costa estudiadas según los cálculos teóricos realizados mediante la formulación de Nielsen-Hanslow y factores de corrección de Van Der Meer y Jansen.
- Para el cálculo del alcance de la inundación se ha realizado el estudio de cada zona homogénea de costa siguiendo las instrucciones del C.E.M. (Coastal Engineering Manual), con las ventajas que aporta el uso de los datos obtenidos en los puntos SIMAR de Puertos del Estado.
- Se ha utilizado para la determinación de esta cota las consideraciones que determina el artículo 4 del Reglamento General de Costas modificado por el R.D. 668/2022, así como la red de boyas y puntos de control de oleaje que ofrece la web www.puertos.es de Puertos del Estado.

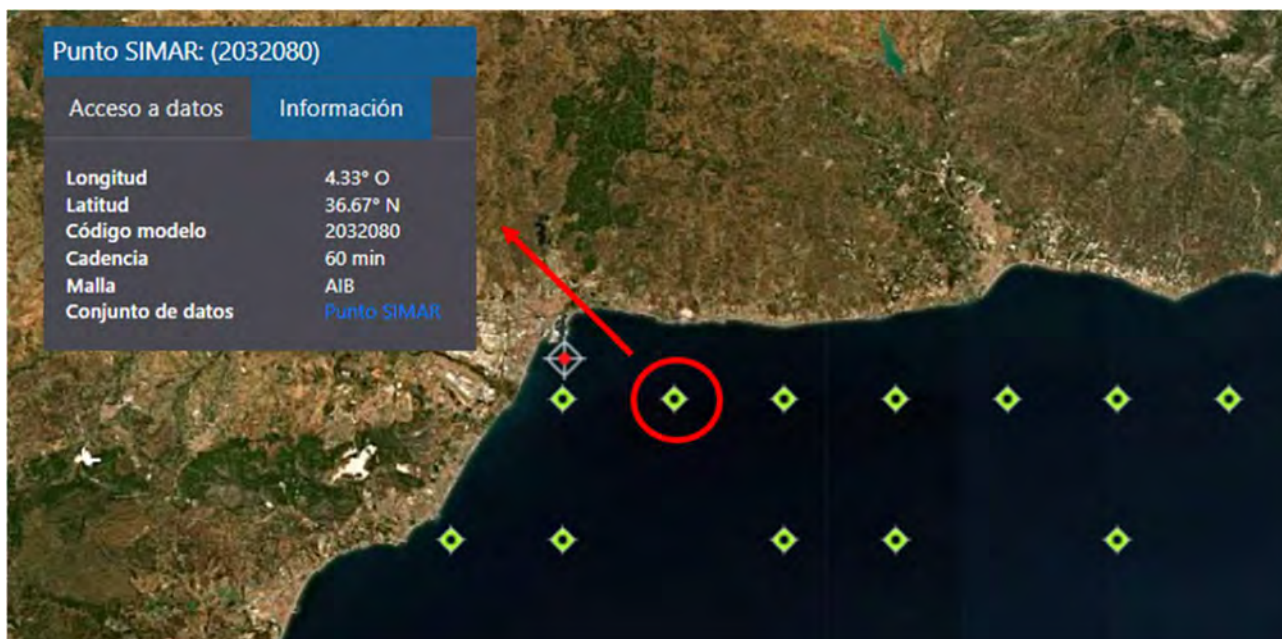
- Los cálculos teóricos de alcance del oleaje y de cota de inundación realizados mediante la formulación aplicada en este estudio tiene un mejor ajuste para playas y zonas de costa tendida (de escasa pendiente, sin muros, zonas escalonadas de rocas, costa rocosa acantilada de pendiente media, etc.) por lo que, en estas zonas, para conocer el alcance del oleaje, se ha de tener en cuenta las evidencias obtenidas mediante fotografía del oleaje, o de su alcance (costras salinas en el suelo, por ejemplo, u otras evidencias).

2. DETERMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN COMPLEMENTARIA DE LA DINÁMICA LITORAL

Debido al tiempo transcurrido desde la redacción del proyecto conservado (anulado por O.M. 02-03-2016) del deslinde de tramo de costa comprendido entre la playa del Dedo y el T.M. de Rincón de la Victoria (junio 2008 / mayo 2010) y la aprobación del Real Decreto 668/2022 de modificación del Reglamento General de Costas, aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, bajo cuyos criterios se remitió a la DGCM el informe justificativo sobre la delimitación del deslinde previo a la incoación del presente procedimiento, en este apartado se procederá a actualizar algunos de los datos en él reseñados con los datos recepcionados hasta la fecha de realización del presente informe complementario (año 2023) para caracterizar de mejor manera la dinámica del litoral de este tramo de costa de Málaga.

2.1.Descripción General del Clima Marino

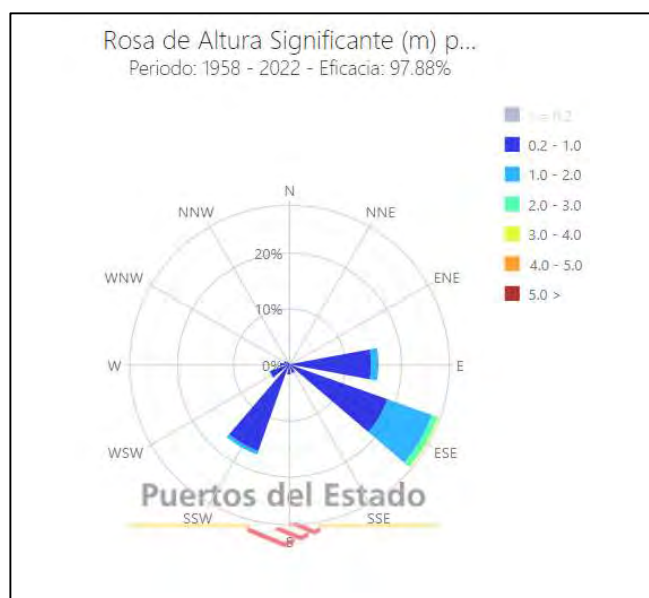
La costa del Término Municipal del Málaga se emplaza en la zona central de la provincia de Málaga. Existe una boya que caracteriza el oleaje incidente en la zona de estudio, perteneciente a la red SIMAR de boyas. El conjunto de datos SIMAR está formado por series temporales de parámetros de viento y 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 simulados 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*”. La boya SIMAR más cercanas a la zona de estudio es la numerada como 2032080 que se utilizará, con datos de oleaje en general y posicionamiento consultable en la web www.puertos.es perteneciente a la Red de Puertos del Estado del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana:



Posicionamiento del punto 2032080 de la Red SIMAR.

El régimen general de viento obtenido de la información proporcionada por la boya, unido a su disposición geográfica provoca una presencia de oleaje prácticamente bimodal, procedentes del levante, dirección este-sureste, y de poniente, dirección sur-suroeste en menor medida, tal y como se puede observar en la rosa de oleaje obtenida del punto SIMAR:

LUGAR : SIMAR 2032080	PERIODO : Anual
CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia	SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - Abr. 2022
INTERVALO DE CALMAS : 0 - 0.2	PORCENTAJE DE CALMAS : 30.07 %



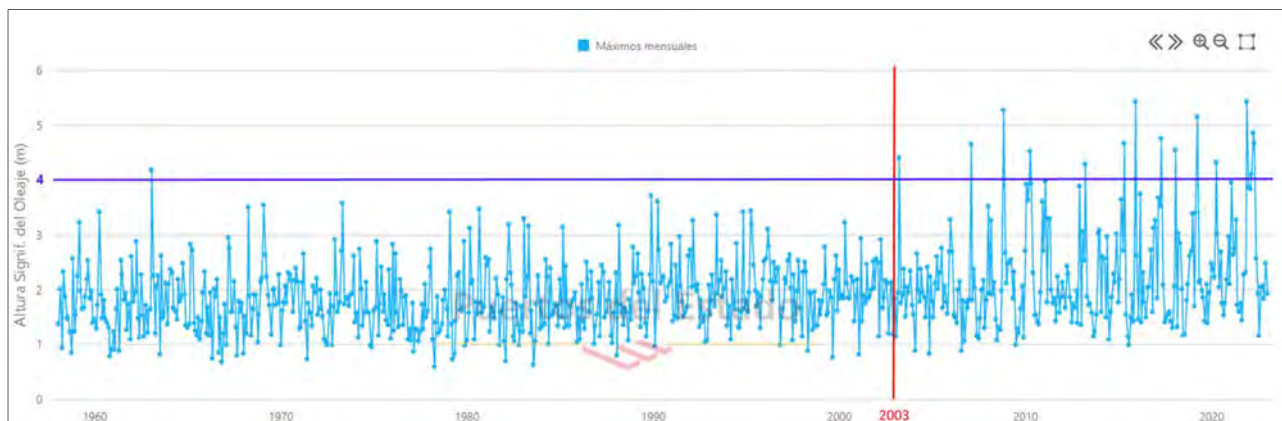
Rosa de Oleajes del punto SIMAR 2032080

La orientación de la costa donde se ubica el deslinde que nos ocupa es básicamente orientación oeste-este.

Debido a la alineación de la costa y la mayor presencia del oleaje procedente de ESE hace que las playas tengan, en general, tendencia al transporte de sólidos de levante hacia poniente con un transporte neto anual en torno a 0-10.000 m³/año (dato procedente del proyecto conservado).

Los mayores episodios de erosión tendrán lugar en los eventos de temporal con los oleajes más intensos, principalmente los procedentes de levante, y que por la disposición de la costa tenderán a recuperar, en parte, la situación anterior pasado un tiempo suficiente como para que la dinámica natural del litoral devuelva a la costa las arenas erosionadas durante esos eventos, ayudado por el aporte de sedimentos de procedencia fluvial, aunque este aporte es muy variable. Esta recuperación será más evidente cuanto más espaciados sean los episodios de temporal de mar que se den en la zona, mientras que la reducción de la anchura de las playas será mayor cuanto más frecuentes sean los eventos intensos.

A este respecto mencionar que 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 31 de diciembre de 2022. Como se puede observar, en intervalo de 45 años comprendido entre 1958 y 2003 solo se produce 1 evento de más de 4 metros de altura de ola, mientras que en el intervalo de 19 años siguiente (menos de la mitad del intervalo anterior), desde 2003 hasta 2022, se producen 15 eventos de más de 4 metros de altura de ola significativa máxima mensual.

Esto podría indicar, aun siendo un análisis simplificado que, en los últimos años, debido al aumento en la frecuencia de temporales intensos, la reducción de la arena en las playas de la zona pueda, en parte, deberse a esta causa, aunque sin descartar otras de gran afección a la dinámica litoral, como la antropización de las antiguas zonas dunares o arenales colindantes que impide el transporte y la compensación del volumen de arenas perdidas por el oleaje con el aporte desde estos antiguos depósitos imprescindibles para la estabilidad de las playas.

Además de lo dicho anteriormente sobre la dinámica del litoral en la costa de Málaga 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 simplificada de un proceso tan complejo como 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 son un indicativo asociable a dicho proceso y, por tanto, se hace necesario tenerlo en consideración en todas aquellas actuaciones que se hagan en el litoral español y, concretamente en este tramo de la costa de Málaga, para evitar las posibles pérdidas económicas y la pérdida de seguridad para los usuarios que puedan producirse.

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 por un aumento del nivel medio del mar, un incremento en la severidad de los vientos y de la altura de las olas y, además, por su mayor frecuencia (que ya se está produciendo como puede verse en la gráfica de oleaje máximo mensual para el periodo 1958-2022 que se ha representado más arriba). Por tanto, se deberá considerar que la línea de costa es previsible que se vaya desplazando aún más al interior perdiéndose anchura de las playas 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 esta zona urbana 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 conforme la línea de costa se vaya viendo modificada por dichos eventos, 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, antes de que el mar produzca más daños a los habitantes de las zonas costeras, trasladando más al interior, si fuese necesario, las infraestructuras antrópicas antes de que los más 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, regeneración de la arena de las playas, diques semisumergidos, etc.) 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.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) ha elaborado diversos mapas de inundación costera.

A continuación, a modo de ejemplo, mostramos la primera zona de este tramo de deslinde con el mapa de probabilidad media de inundación para un periodo de retorno de 100 años. Con ello se pretende mostrar uno de los escenarios que se contemplan a medio plazo para el tramo de costa que nos ocupa en este proyecto de deslinde, y por ello la necesidad de la toma de medidas para la defensa de la costa, como es el mantenimiento del dominio público marítimo-terrestre.

Este mapa muestra la posible consecuencia de aumento de la incidencia de los eventos severos y el avance del mar hacia el interior, pero ha de considerarse no como elemento delimitador de la costa, ya que el objeto del presente deslinde es la determinación, a fecha actual, de los bienes de dominio público marítimo-terrestre definidos según los artículos 3 y 4 de la Ley 22/88, de Costas; sino como figura a futuro de la configuración que podrá tener la costa y por tanto como indicativo para prevenir efectos adversos para la población que pudiera verse afectada así como la economía de la poblaciones costeras y el daño en infraestructuras.



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

3.1. 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, según la redacción dada por el Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto, por el que se modifica 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, según la redacción dada por el Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto, por el que se modifica 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 desde que existan registros de boyas o satélites, o datos oceanográficos o meteorológicos. Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas o calculadas con esos datos.

b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos 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.

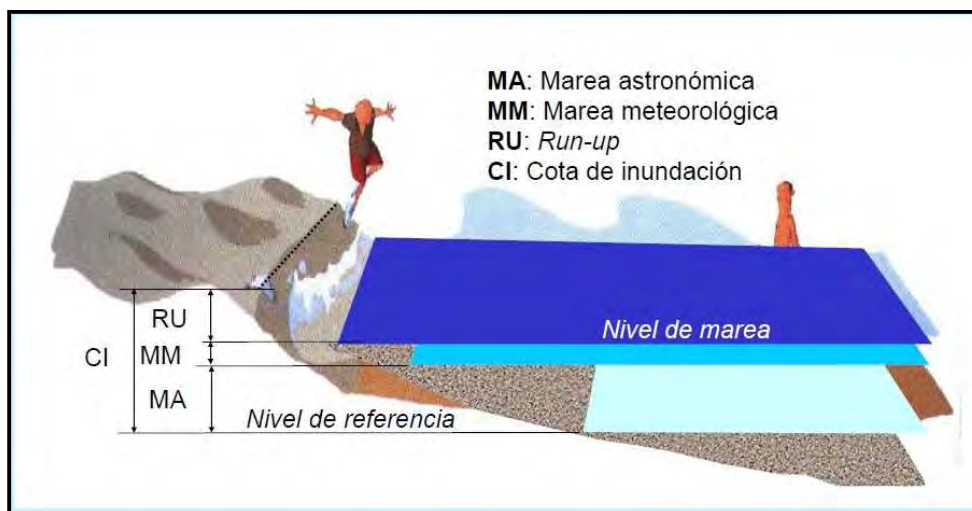
Por tanto, según la normativa de costas hay que delimitar y evaluar el alcance máximo de un temporal utilizando las máximas olas registradas o calculadas desde que hay registros. Los datos de la red de boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado datan del año 1958 hasta la actualidad, por lo que es con estos datos con los que se realizarán los cálculos de máximo alcance de la inundación del oleaje durante el mayor temporal conocido.

Para ello ha de calcularse en primer lugar la cota de inundación del mayor temporal, es decir, aquel cuya cota de inundación es la más alta de todos los registrados.

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 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.

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 sucesos de temporal más extremos en el periodo desde que existen registros hasta la actualidad. Es importante señalar que no necesariamente tiene que producirse el alcance máximo de olas el mayor temporal en altura de ola significativa puesto que existen 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, se estima oportuno estudiar la serie de los mayores los temporales producidos en el periodo desde que existen registros y evaluar la cota de inundación una cantidad suficiente de ellos para poder determinar cuál de ellos es el mayor de todos teniendo en cuenta todas las variables.
- 2) Aplicar un modelo o metodología de cálculo para una vez conocidos esos sucesos, evaluar la cota de inundación asociada.

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

Oleaje:

Tal y como indica el Reglamento General de Costas de 2014, modificado por el Real Decreto 668/2022, se utilizan para realizar los cálculos los registros de boyas existentes o calculadas a través de datos oceanográficos, siendo la Red SIMAR a través del punto 2032080 el más cercano a 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/datos históricos/oleaje, siendo éstos de consulta pública, por lo que cualquier persona interesada puede acceder a ellos.

Dado el extenso número de registros de oleaje existentes, a continuación se aportarán las mayores alturas de ola significantes encontradas en el periodo (entre el 1 de enero de 1958 y el 31 de diciembre de 2022) en este punto de la red SIMAR, así como la gráfica de máximas alturas de ola significativa mensuales correspondiente a todo el periodo; también obtenida de la web de Puertos del Estado.

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110
3:00	11	10	2008	5,28	9,8	107
2:00	27	3	2019	5,15	11,01	110
22:00	20	4	2017	4,76	10,65	111
21:00	20	4	2017	4,76	10,54	111
12:00	8	4	2015	4,66	10,42	111
15:00	28	1	2007	4,65	9,34	107

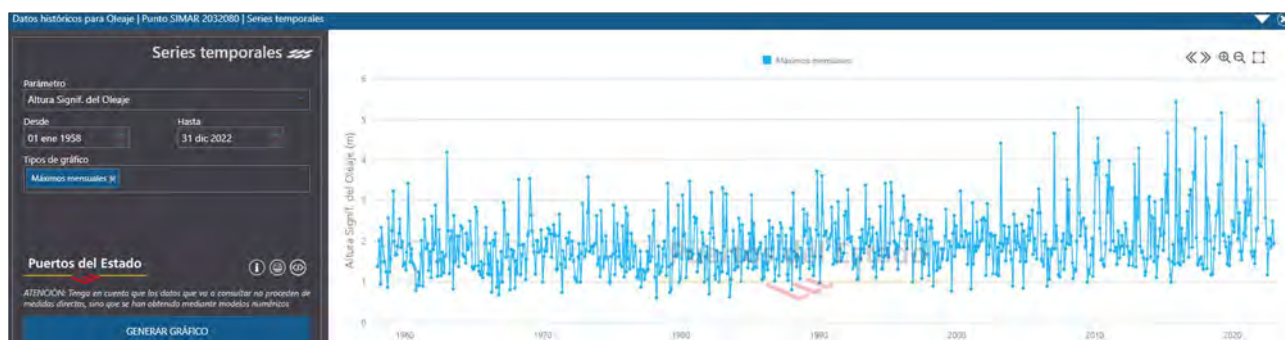
Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2032080. (www.puertos.es)

Donde:

Hs es la altura de ola significativa en metros

Tp es el periodo pico en segundos

Dir es el rumbo desde la que llega el oleaje en el punto SIMAR, en grados sexagesimales.



Gráfica del periodo de estudio donde se representan las mayores alturas de ola significativa (máx. mensuales) del punto 2032080.

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 de dos procedimientos diferentes obteniendo datos de las boyas pertenecientes a la red de Puertos del

Estado:

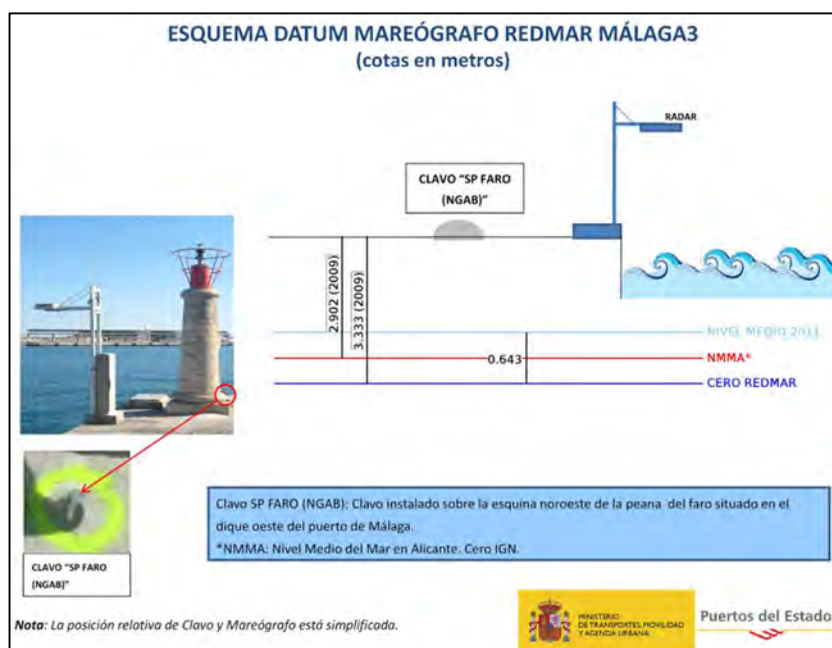
- 1) Estimar el valor de cada marea por separado, consultando en las tablas de mareas históricas la correspondiente al momento de cada evento de temporal para obtener el valor de la marea astronómica en ese momento, y obteniendo el valor de la marea meteorológica mediante formulaciones empíricas con los datos de viento (obtenibles de la red SIMAR) y presión barométrica (estimables según datos de meteorología). Los datos de presión barométrica eran obtenibles de la boya del Mar de Alborán 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 porque la boya comentada anteriormente del Mar de Alborán se encuentra inactiva en la actualidad, lo que hace que se tenga que consultar otra más lejos de la zona de estudio (mareógrafo de Motril) en comparación con la cercanía de Málaga. 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 la serie histórica de la boya mareógrafo de la red REDMAR en Málaga:



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



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

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 la cartografía 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 máximo recogido durante todo el día 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}
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625
3:00	11	10	2008	5,28	9,8	107	112	1,120	0,689
2:00	27	3	2019	5,15	11,01	110	84,7	0,847	0,416
22:00	20	4	2017	4,76	10,65	111	92,7	0,927	0,496
21:00	20	4	2017	4,76	10,54	111	92,7	0,927	0,496
12:00	8	4	2015	4,66	10,42	111	87,3	0,873	0,442
15:00	28	1	2007	4,65	9,34	107	94	0,940	0,509

Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2032080.

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).

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

En el anterior apartado se ha seleccionado, de los eventos de temporal marítimo, el que puede ocasionar cotas de inundación máximas, que determinarían 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, por lo que es necesario conocer el periodo de pico asociado, todo a pie de playa. Por tanto, es totalmente aplicable este modelo, considerando las alturas de olas significativas ya tomadas y su periodo de pico asociado para cada uno de los eventos de temporal.

Formulación de Nielsen-Hanslow (1991):

$$R_{uo} = 0,47 \cdot (H_s \cdot L)^{1/2} \cdot \operatorname{tg} \beta \quad \text{si } \operatorname{tg} \beta > 1/10$$

$$R_{uo} = 0,04 \cdot (H_s \cdot L)^{1/2} \quad \text{si } \operatorname{tg} \beta < 1/10$$

Y para la banda de confianza del 2%:

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

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

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

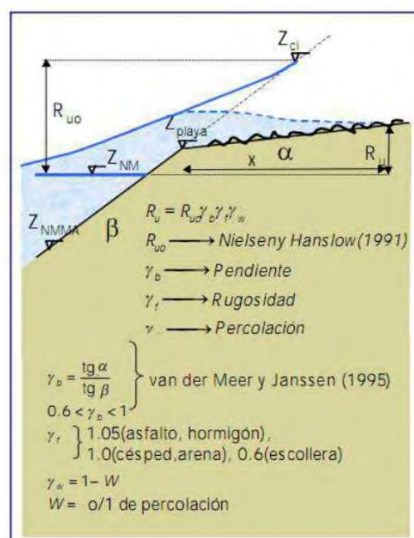
Donde:

L = Longitud de onda local = $1,56 \cdot T_p^2$

H_s = Altura de ola significativa de cada evento de temporal.

T_p = Periodo de pico asociado a cada evento de temporal.

A esta formulación, se le aplican además los factores de corrección de Van Der Meer y Jansen: pendientes, rugosidad y percolación, para tener en cuenta una aproximación más adecuada a la configuración del perfil de playa formada por doble pendiente (húmeda y seca), la rugosidad del terreno, en este caso, de la arena de la playa y la percolación en la superficie de incidencia dada la anchura de la playa de arena, ya que es lo suficientemente significativa como para tener un cierto efecto en la inundación del mar sobre los terrenos emergidos formados por dicha arena. Esto se resume en el siguiente esquema:



El factor de pendiente de Van der Meer y Janssen relaciona la pendiente de la playa seca con la pendiente de la playa sumergida:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta}$$

El valor de este coeficiente estará comprendido entre 0.6 y 1. En el caso de obtenerse un valor inferior a 0.6 tras la aplicación de la relación de pendientes, se tomará el valor inferior del intervalo dado, es decir, 0.6. Del mismo modo se actuará en el caso de obtener un valor superior a 1, se tomará este valor máximo.

Debido a la diferente configuración del litoral en el tramo de costa que nos ocupa, se han de tomar en consideración diferentes zonas en las que calcular las pendientes de la playa para definir el factor de pendiente en cada zona homogénea.

El factor de rugosidad de la superficie de incidencia γ_r , tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

El factor de percolación γ_w se calcula con el coeficiente de percolación W; este coeficiente W está directamente relacionado con el diámetro efectivo de la arena y el coeficiente de Hazen. Existen suficientes estudios en los que se ha calculado el coeficiente de percolación de los terrenos.

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos	
Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2-1
Grava bien graduada (GW)	0,05-0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} -0,2
Arena bien graduada (SW)	10^{-3} -0,1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^{-4} - 10^{-3}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcillas de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

(L. González de Vallejo et al, Ingeniería Geológica, Madrid 2002)

En el caso de arena de playa, que se encuentra lavada por el agua del mar y removida por el viento marino, se considera genéricamente que es del tipo 'arena bien graduada (SW)' de la tabla anterior.

Aplicando la formulación de Nielsen-Hanslow, podemos obtener el valor del run-up para cada evento de temporal (antes de aplicar los coeficientes de Van Der Meer y Janssen), que a su vez debe ser sumando 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 para cada zona con pendiente homogénea; calculado mediante la obtención de los resultados necesarios de clima marítimo en primer lugar y la aplicación de un modelo o formulación de cálculo adecuado posteriormente.

Para el cálculo del run-up es necesario calcular la longitud de onda local asociada al oleaje:

$$L=1.56 \cdot T_p^2$$

Donde T_p es el periodo pico asociado a cada evento de temporal.

En la tabla siguiente se añade la columna 'L' con el resultado de la longitud de onda para cada evento de temporal:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31
3:00	11	10	2008	5,28	9,8	107	112	1,120	0,689	149,82
2:00	27	3	2019	5,15	11,01	110	84,7	0,847	0,416	189,10
22:00	20	4	2017	4,76	10,65	111	92,7	0,927	0,496	176,94
21:00	20	4	2017	4,76	10,54	111	92,7	0,927	0,496	173,30
12:00	8	4	2015	4,66	10,42	111	87,3	0,873	0,442	169,38
15:00	28	1	2007	4,65	9,34	107	94	0,940	0,509	136,09

Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2032080.

Cálculo del run-up corregido mediante los factores de Van der Meer.

Para la realización de los cálculos de alcance de inundación, se ha dividido el tramo en estudio en 7 zonas en función de la homogeneidad de la costa sumergida, la emergida y del tipo geomorfológico ya que son factores condicionantes en el alcance del oleaje y su cota de inundación. A cada una de las zonas se le ha realizado un cálculo de alcance. Esto se ha hecho así ya que el factor de pendiente de Van der Meer y Janssen puede modificar el run-up (si su valor es menor que 1) por lo que ha de calcularse el run-up corregido para cada una de estas zonas.

Las zonas de medición vienen dadas por las pendientes sumergida y emergida. Las pendientes se han calculado mediante los datos de batimetría y cartografía procedentes de las ecocartografías del litoral de Málaga 2005 de la Dirección General de Costas del entonces denominado Ministerio de Medio Ambiente, en los siguientes vértices del DPMT:

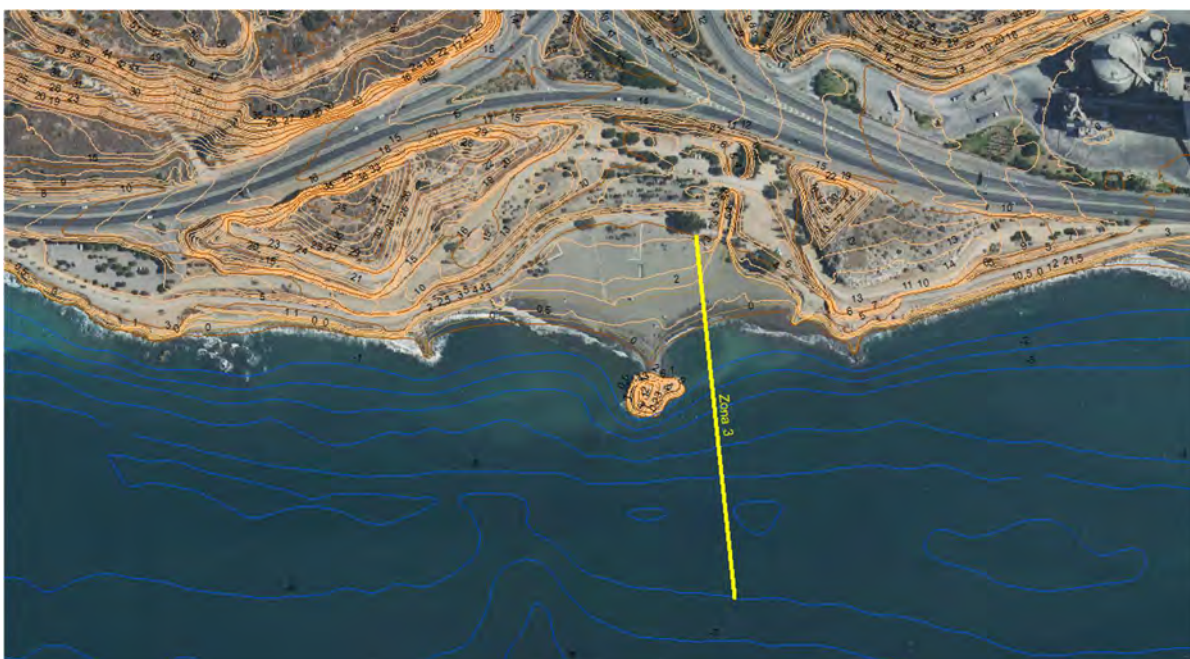
- Zona 1: entre el vértice M-2 y M-3.
- Zona 2: entre el vértice M-15 y M-16.
- Zona 3: entre el vértice M-36 y M-37.
- Zona 4: entre el vértice M-52 y M-53.
- Zona 5: entre el vértice M-73 y M-74.
- Zona 6: entre el vértice M-84 y M-85.
- Zona 7: entre el vértice M-86 y M-87.

Ubicación de los tramos y las zonas para el cálculo de las pendientes sumergida y emergida:

Zonas 1 y 2:



Zonas 3:



Zonas 4 y 5:



Zonas 6 y 7:



Los datos de partida (ver tabla de la página 15) son los mismos para todas las zonas, y serán los que se usen para el cálculo del run-up en cada zona definida por los perfiles reseñados.

Zona 1

En primer lugar, calculamos las pendientes de la playa húmeda y de la seca. La pendiente de la playa húmeda nos indicará qué fórmula de Nielsen-Hanslow ha de usarse, dependiendo si esta pendiente es mayor o menor del 10%.

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,00
distancia (m)	345
pendiente %	2,029

La pendiente de la playa húmeda es menor del 10% por lo que se usará para el cálculo del run-up la fórmula del Nielsen-Hanslow para pendientes menores de ese valor:

$$R_{uo}=0,04 \cdot (H_s \cdot L)^{1/2}$$

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	3,00
distancia (m)	104
pendiente %	2,885

Después se calcula el run-up para cada evento de temporal.

Dado que se busca la cota de inundación y el alcance de los mayores temporales conocidos desde que existen registros, se toman para el cálculo del run-up (R_{uo}) los 4 eventos cuya altura de ola significativa y/o periodo pico es mayor:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17

Los factores de corrección de Van der Meer y Janssen para esta zona son:

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 1,42$$

al dar como resultado un valor superior a 1, y este coeficiente ha de estar en el intervalo entre un mínimo de 0,6 y un máximo de 1, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 1$$

- Factor de rugosidad:

El factor de rugosidad de la superficie de incidencia γ_r , tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

- Factor de percolación:

Como ya se ha dicho más arriba, este factor está relacionado con las características del terreno, y concretamente, en el caso de la arena, con el diámetro de sus granos y su disposición en el suelo. Así existen tablas en las que se define de manera genérica este factor en función de las características de la arena:

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos

Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2-1
Grava bien graduada (GW)	0,05-0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} -0,2
Arena bien graduada (SW)	10^{-3}-0,1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^{-4} - 10^{-3}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcillas de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

En nuestro caso se utilizará como coeficiente de percolación aquel que viene dado por la arena de la playa. Como ésta no viene explícitamente desarrollada en dicha tabla, se considera que se trata de una arena bien graduada, limpia, dado el efecto de lavado que tiene el agua del mar sobre ésta y cuyos valores típicos están comprendidos entre 0,001 y 0,1.

Dado que el intervalo de los valores de k descritos en la tabla es amplio, tomamos 0,1 de dicho intervalo por ser el que produce mayor reducción en el cálculo del alcance del mar para este tipo de terreno y, en consecuencia, el más favorable para los posibles afectados por el DPMT, al proporcionar un número mayor de coeficiente de percolación (W) y por tanto un mayor factor de percolación(γ_w) dado que:

$$W=k \Rightarrow 0,1 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0,1 = 0,90$$

Un mayor valor del factor reductor de percolación implica una mayor reducción del valor de run-up corregido por estar directamente relacionados:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w$$

En esta zona, aplicando los factores de Van der Meer y Janssen:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9$$

Con estos datos, para los eventos de temporal considerados se obtiene el run-up corregido (R_u) y con éste el run-up cuyo valor es superado en un porcentaje de tiempo inferior al 2% del evento:

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

Aplicando esta formulación se obtiene para cada evento de temporal en esta zona:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08

A este run-up ($R_{u2\%}$) le sumamos el valor de la componente de nivel del mar ya calculado (S_{NM}), para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación para cada uno de los máximos eventos registrados:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	SREDMAR (cm)	SREDMAR (m)	SNM	L (m)	R _{uo}	R _u	Ru ^{2%} (m)	S _{cl} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16	2,90
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12	2,71
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,70
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08	2,70

Vistos los resultados tras la aplicación de las fórmulas y factores correctores desarrollados anteriormente se puede decir que el mayor temporal conocido que ha afectado a la costa Este del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las cinco de la tarde con una cota de inundación de unos 2,90 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 3.4 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas.

Zona 2

En primer lugar, calculamos las pendientes de la playa húmeda y de la seca. La pendiente de la playa húmeda nos indicará qué fórmula de Nielsen-Hanslow ha de usarse, dependiendo si esta pendiente es mayor o menor del 10%.

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	6,00
distancia (m)	115
pendiente %	5,217

La pendiente de la playa húmeda es menor del 10% por lo que se usará para el cálculo del run-up la fórmula del Nielsen-Hanslow para pendientes menores de ese valor:

$$R_{uo}=0,04 \cdot (Hs \cdot L)^{1/2}$$

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	60
pendiente %	4,167

Después se calcula el run-up para cada evento de temporal.

Dado que se busca la cota de inundación y el alcance de los mayores temporales conocidos desde que existen registros, se toman para el cálculo del run-up (R_{uo}) los 4 eventos cuya altura de ola significativa y/o periodo pico es mayor:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	SREDMAR (cm)	SREDMAR (m)	SNM	L (m)	R _{uo}
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17

Los factores de corrección de Van der Meer y Janssen para esta zona son:

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 0,80$$

Por tanto, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 0,80$$

- Factor de rugosidad:

El factor de rugosidad de la superficie de incidencia γ_f , tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

- Factor de percolación:

Como ya se ha dicho más arriba, este factor está relacionado con las características del terreno, y concretamente, en el caso de la arena, con el diámetro de sus granos y su disposición en el suelo. Así existen tablas en las que se define de manera genérica este factor en función de las características de la arena:

Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2-1
Grava bien graduada (GW)	0,05-0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} -0,2
Arena bien graduada (SW)	10^{-3} -0,1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^{-4} - 10^{-3}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcillas de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

En nuestro caso se utilizará como coeficiente de percolación aquel que viene dado por la arena de la playa. Como ésta no viene explícitamente desarrollada en dicha tabla, se considera que se trata de una arena bien graduada, limpia, dado el efecto de lavado que tiene el agua del mar sobre ésta y cuyos valores típicos están comprendidos entre 0,001 y 0,1.

Dado que el intervalo de los valores de k descritos en la tabla es amplio, tomamos 0,1 de dicho intervalo por ser el que produce mayor reducción en el cálculo del alcance del mar para este tipo de terreno y, en consecuencia, el más favorable para los posibles afectados por el DPMT, al proporcionar un número mayor de coeficiente de percolación (W) y por tanto un mayor factor de percolación (γ_w) dado que:

$$W=k \Rightarrow 0,1 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0,1 = 0,90$$

Un mayor valor del factor reductor de percolación implica una mayor reducción del valor de run-up corregido por estar directamente relacionados:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w$$

En esta zona, aplicando los factores de Van der Meer y Janssen:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,9$$

Con estos datos, para los eventos de temporal considerados se obtiene el run-up corregido (R_u) y con éste el run-up cuyo valor es superado en un porcentaje de tiempo inferior al 2% del evento:

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

Aplicando esta formulación se obtiene para cada evento de temporal en esta zona:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)		R _{uo}	R _u	Ru _{2%} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73		1,21	0,87	1,72
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10		1,19	0,85	1,69
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10		1,21	0,87	1,72
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31		1,17	0,84	1,66

A este run-up ($R_{u2\%}$) le sumamos el valor de la componente de nivel del mar ya calculado (S_{NM}), para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación para cada uno de los máximos eventos registrados:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)		R _{uo}	R _u	Ru _{2%} (m)	S _{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73		1,21	0,87	1,72	2,47
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10		1,19	0,85	1,69	2,28
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10		1,21	0,87	1,72	2,27
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31		1,17	0,84	1,66	2,28

Vistos los resultados tras la aplicación de las fórmulas y factores correctores desarrollados anteriormente se puede decir que el mayor temporal conocido que ha afectado a la costa Este del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las cinco de la tarde con una cota de inundación de unos 2,47 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 3.4 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas.

Zona 3

En primer lugar, calculamos las pendientes de la playa húmeda y de la seca. La pendiente de la playa húmeda nos indicará qué fórmula de Nielsen-Hanslow ha de usarse, dependiendo si esta pendiente es mayor o menor del 10%.

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	6,00
distancia (m)	214
pendiente %	2,804

La pendiente de la playa húmeda es menor del 10% por lo que se usará para el cálculo del run-up la fórmula del Nielsen-Hanslow para pendientes menores de ese valor:

$$R_{uo}=0,04 \cdot (Hs \cdot L)^{1/2}$$

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	5,00
distancia (m)	69
pendiente %	7,246

Después se calcula el run-up para cada evento de temporal.

Dado que se busca la cota de inundación y el alcance de los mayores temporales conocidos desde que existen registros, se toman para el cálculo del run-up (R_{uo}) los 4 eventos cuya altura de ola significativa es mayor:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17

Los factores de corrección de Van der Meer y Janssen para esta zona son:

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 2,58$$

al dar como resultado un valor superior a 1, y este coeficiente ha de estar en el intervalo entre un mínimo de 0,6 y un máximo de 1, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 1$$

- Factor de rugosidad:

El factor de rugosidad de la superficie de incidencia γ_r , tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

- Factor de percolación:

Como ya se ha dicho más arriba, este factor está relacionado con las características del terreno, y concretamente, en el caso de la arena, con el diámetro de sus granos y su disposición en el suelo. Así existen tablas en las que se define de manera genérica este factor en función de las características de la arena:

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos	
Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2-1
Grava bien graduada (GW)	0,05-0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} -0,2
Arena bien graduada (SW)	10^{-3} -0,1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^{-4} - 10^{-3}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcillas de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

En nuestro caso se utilizará como coeficiente de percolación aquel que viene dado por la arena de la playa. Como ésta no viene explícitamente desarrollada en dicha tabla, se considera que se trata de una arena bien graduada, limpia, dado el efecto de lavado que tiene el agua del mar sobre ésta y cuyos valores típicos están comprendidos entre 0,001 y 0,1.

Dado que el intervalo de los valores de k descritos en la tabla es amplio, tomamos 0,1 de dicho intervalo por ser el que produce mayor reducción en el cálculo del alcance del mar para este tipo de terreno y, en consecuencia, el más favorable para los posibles afectados por el DPMT, al proporcionar un número mayor de coeficiente de percolación (W) y por tanto un mayor factor de percolación (γ_w) dado que:

$$W=k \Rightarrow 0,1 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0,1 = 0,90$$

Un mayor valor del factor reductor de percolación implica una mayor reducción del valor de run-up corregido por estar directamente relacionados:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w$$

En esta zona, aplicando los factores de Van der Meer y Janssen:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.9$$

Con estos datos, para los eventos de temporal considerados se obtiene el run-up corregido (R_u) y con éste el run-up cuyo valor es superado en un porcentaje de tiempo inferior al 2% del evento:

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

Aplicando esta formulación se obtiene para cada evento de temporal en esta zona:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08

A este run-up ($R_{u2\%}$) le sumamos el valor de la componente de nivel del mar ya calculado (S_{NM}), para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación para cada uno de los máximos eventos registrados:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)	S _{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16	2,90
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12	2,71
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,70
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08	2,70

Vistos los resultados tras la aplicación de las fórmulas y factores correctores desarrollados anteriormente se puede decir que el mayor temporal conocido que ha afectado a la costa Este del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las cinco de la tarde con una cota de inundación de unos 2,90 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 3.4 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas.

Zona 4

En primer lugar, calculamos las pendientes de la playa húmeda y de la seca. La pendiente de la playa húmeda nos indicará qué formula de Nielsen-Hanslow ha de usarse, dependiendo si esta pendiente es mayor o menor del 10%.

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,00
distancia (m)	324
pendiente %	2,160

La pendiente de la playa húmeda es menor del 10% por lo que se usará para el cálculo del run-up la fórmula del Nielsen-Hanslow para pendientes menores de ese valor:

$$R_{uo}=0,04 \cdot (H_s \cdot L)^{1/2}$$

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	4,00
distancia (m)	34
pendiente %	11,765

Después se calcula el run-up para cada evento de temporal.

Dado que se busca la cota de inundación y el alcance de los mayores temporales conocidos desde que existen registros, se toman para el cálculo del run-up (R_{uo}) los 4 eventos cuya altura de ola significativa es mayor:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	SREDMAR (cm)	SREDMAR (m)	SNM	L (m)	R _{uo}
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17

Los factores de corrección de Van der Meer y Janssen para esta zona son:

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 5,45$$

al dar como resultado un valor superior a 1, y este coeficiente ha de estar en el intervalo entre un mínimo de 0,6 y un máximo de 1, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 1$$

- Factor de rugosidad:

El factor de rugosidad de la superficie de incidencia γ_r , tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

- Factor de percolación:

Como ya se ha dicho más arriba, este factor está relacionado con las características del terreno, y concretamente, en el caso de la arena, con el diámetro de sus granos y su disposición en el suelo. Así existen tablas en las que se define de manera genérica este factor en función de las características de la arena:

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos	
Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2-1
Grava bien graduada (GW)	0,05-0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} -0,2
Arena bien graduada (SW)	10^{-3} -0,1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^{-4} - 10^{-3}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcillas de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

En nuestro caso se utilizará como coeficiente de percolación aquel que viene dado por la arena de

la playa. Como ésta no viene explícitamente desarrollada en dicha tabla, se considera que se trata de una arena bien graduada, limpia, dado el efecto de lavado que tiene el agua del mar sobre ésta y cuyos valores típicos están comprendidos entre 0,001 y 0,1.

Dado que el intervalo de los valores de k descritos en la tabla es amplio, tomamos 0,1 de dicho intervalo por ser el que produce mayor reducción en el cálculo del alcance del mar para este tipo de terreno y, en consecuencia, el más favorable para los posibles afectados por el DPMT, al proporcionar un número mayor de coeficiente de percolación (W) y por tanto un mayor factor de percolación (γ_w) dado que:

$$W=k \Rightarrow 0,1 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0,1 = 0,90$$

Un mayor valor del factor reductor de percolación implica una mayor reducción del valor de run-up corregido por estar directamente relacionados:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w$$

En esta zona, aplicando los factores de Van der Meer y Janssen:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.9$$

Con estos datos, para los eventos de temporal considerados se obtiene el run-up corregido (R_u) y con éste el run-up cuyo valor es superado en un porcentaje de tiempo inferior al 2% del evento:

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

Aplicando esta formulación se obtiene para cada evento de temporal en esta zona:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08

A este run-up ($R_{u2\%}$) le sumamos el valor de la componente de nivel del mar ya calculado (S_{NM}), para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación para cada uno de los máximos eventos registrados:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)	S _{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16	2,90
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12	2,71
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,70
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08	2,70

Vistos los resultados tras la aplicación de las fórmulas y factores correctores desarrollados anteriormente se puede decir que el mayor temporal conocido que ha afectado a la costa Este del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las cinco de la tarde con una cota de inundación de unos 2,90 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 3.4 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas.

Zona 5

En primer lugar, calculamos las pendientes de la playa húmeda y de la seca. La pendiente de la playa húmeda nos indicará qué fórmula de Nielsen-Hanslow ha de usarse, dependiendo si esta pendiente es mayor o menor del 10%.

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,00
distancia (m)	281
pendiente %	2,491

La pendiente de la playa húmeda es menor del 10% por lo que se usará para el cálculo del run-up la fórmula del Nielsen-Hanslow para pendientes menores de ese valor:

$$R_{uo}=0,04 \cdot (H_s \cdot L)^{1/2}$$

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	4,00
distancia (m)	49
pendiente %	8,163

Después se calcula el run-up para cada evento de temporal.

Dado que se busca la cota de inundación y el alcance de los mayores temporales conocidos desde que existen registros, se toman para el cálculo del run-up (R_{uo}) los 4 eventos cuya altura de ola significativa es mayor:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17

Los factores de corrección de Van der Meer y Janssen para esta zona son:

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 3,28$$

al dar como resultado un valor superior a 1, y este coeficiente ha de estar en el intervalo entre un mínimo de 0,6 y un máximo de 1, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 1$$

- Factor de rugosidad:

El factor de rugosidad de la superficie de incidencia γ_f , tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

- Factor de percolación:

Como ya se ha dicho más arriba, este factor está relacionado con las características del terreno, y concretamente, en el caso de la arena, con el diámetro de sus granos y su disposición en el suelo.

Así existen tablas en las que se define de manera genérica este factor en función de las características de la arena:

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos	
Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2-1
Grava bien graduada (GW)	0,05-0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} -0,2
Arena bien graduada (SW)	10^{-3} -0,1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^{-4} - 10^{-3}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcillas de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

En nuestro caso se utilizará como coeficiente de percolación aquel que viene dado por la arena de la playa. Como ésta no viene explícitamente desarrollada en dicha tabla, se considera que se trata de una arena bien graduada, limpia, dado el efecto de lavado que tiene el agua del mar sobre ésta y cuyos valores típicos están comprendidos entre 0,001 y 0,1.

Dado que el intervalo de los valores de k descritos en la tabla es amplio, tomamos 0,1 de dicho intervalo por ser el que produce mayor reducción en el cálculo del alcance del mar para este tipo de terreno y, en consecuencia, el más favorable para los posibles afectados por el DPMT, al proporcionar un número mayor de coeficiente de percolación (γ_w) y por tanto un mayor factor de percolación(γ_w) dado que:

$$W=k \Rightarrow 0,1 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0,1 = 0,90$$

Un mayor valor del factor reductor de percolación implica una mayor reducción del valor de run-up corregido por estar directamente relacionados:

$$R_u = R_{u0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w$$

En esta zona, aplicando los factores de Van der Meer y Janssen:

$$R_u = R_{u0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{u0} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.9$$

Con estos datos, para los eventos de temporal considerados se obtiene el run-up corregido (R_u) y con éste el run-up cuyo valor es superado en un porcentaje de tiempo inferior al 2% del evento:

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

Aplicando esta formulación se obtiene para cada evento de temporal en esta zona:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{u0}	R _u	R _{u2%} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08

A este run-up ($R_{u2\%}$) le sumamos el valor de la componente de nivel del mar ya calculado (S_{NM}), para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación para cada uno de los máximos eventos registrados:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)	S _{Cl} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16	2,90
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12	2,71
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,70
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08	2,70

Vistos los resultados tras la aplicación de las fórmulas y factores correctores desarrollados anteriormente se puede decir que el mayor temporal conocido que ha afectado a la costa Este del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las cinco de la tarde con una cota de inundación de unos 2,90 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 3.4 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas.

Zona 6

En primer lugar, calculamos las pendientes de la playa húmeda y de la seca. La pendiente de la playa húmeda nos indicará qué fórmula de Nielsen-Hanslow ha de usarse, dependiendo si esta pendiente es mayor o menor del 10%.

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,00
distancia (m)	236
pendiente %	2,966

La pendiente de la playa húmeda es menor del 10% por lo que se usará para el cálculo del run-up la fórmula del Nielsen-Hanslow para pendientes menores de ese valor:

$$R_{uo}=0,04 \cdot (H_s \cdot L)^{1/2}$$

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	4,00
distancia (m)	45
pendiente %	8,889

Después se calcula el run-up para cada evento de temporal.

Dado que se busca la cota de inundación y el alcance de los mayores temporales conocidos desde que existen registros, se toman para el cálculo del run-up (R_{uo}) los 4 eventos cuya altura de ola significativa es mayor:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17

Los factores de corrección de Van der Meer y Janssen para esta zona son:

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 3,00$$

al dar como resultado un valor superior a 1, y este coeficiente ha de estar en el intervalo entre un mínimo de 0,6 y un máximo de 1, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 1$$

- Factor de rugosidad:

El factor de rugosidad de la superficie de incidencia γ_f , tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

- Factor de percolación:

Como ya se ha dicho más arriba, este factor está relacionado con las características del terreno, y concretamente, en el caso de la arena, con el diámetro de sus granos y su disposición en el suelo. Así existen tablas en las que se define de manera genérica este factor en función de las características de la arena:

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos

Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2-1
Grava bien graduada (GW)	0,05-0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} -0,2
Arena bien graduada (SW)	10^{-3} -0,1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^{-4} - 10^{-3}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcillas de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

En nuestro caso se utilizará como coeficiente de percolación aquel que viene dado por la arena de la playa. Como ésta no viene explícitamente desarrollada en dicha tabla, se considera que se trata de una arena bien graduada, limpia, dado el efecto de lavado que tiene el agua del mar sobre ésta y cuyos valores típicos están comprendidos entre 0,001 y 0,1.

Dado que el intervalo de los valores de k descritos en la tabla es amplio, tomamos 0,1 de dicho intervalo por ser el que produce mayor reducción en el cálculo del alcance del mar para este tipo de terreno y, en consecuencia, el más favorable para los posibles afectados por el DPMT, al proporcionar un número mayor de coeficiente de percolación (W) y por tanto un mayor factor de percolación (γ_w) dado que:

$$W=k \Rightarrow 0,1 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0,1 = 0,90$$

Un mayor valor del factor reductor de percolación implica una mayor reducción del valor de run-up corregido por estar directamente relacionados:

$$R_u = R_{u0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w$$

En esta zona, aplicando los factores de Van der Meer y Janssen:

$$R_u = R_{u0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{u0} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.9$$

Con estos datos, para los eventos de temporal considerados se obtiene el run-up corregido (R_u) y

con éste el run-up cuyo valor es superado en un porcentaje de tiempo inferior al 2% del evento:
 $R_{u2\%} = 1,98 \cdot R_u$

Aplicando esta formulación se obtiene para cada evento de temporal en esta zona:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08

A este run-up ($R_{u2\%}$) le sumamos el valor de la componente de nivel del mar ya calculado (S_{NM}), para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación para cada uno de los máximos eventos registrados:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)	S _{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	1,09	2,16	2,90
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	1,07	2,12	2,71
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,70
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	1,05	2,08	2,70

Vistos los resultados tras la aplicación de las fórmulas y factores correctores desarrollados anteriormente se puede decir que el mayor temporal conocido que ha afectado a la costa Este del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las cinco de la tarde con una cota de inundación de unos 2,90 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 3.4 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas.

Zona 7

En primer lugar, calculamos las pendientes de la playa húmeda y de la seca. La pendiente de la playa húmeda nos indicará qué formula de Nielsen-Hanslow ha de usarse, dependiendo si esta pendiente es mayor o menor del 10%.

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	6,00
distancia (m)	193
pendiente %	3,109

La pendiente de la playa húmeda es menor del 10% por lo que se usará para el cálculo del run-up la fórmula del Nielsen-Hanslow para pendientes menores de ese valor:

$$R_{uo}=0,04 \cdot (H_s \cdot L)^{1/2}$$

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	5,00
distancia (m)	242
pendiente %	2,066

Después se calcula el run-up para cada evento de temporal.

Dado que se busca la cota de inundación y el alcance de los mayores temporales conocidos desde que existen registros, se toman para el cálculo del run-up (R_{uo}) los 4 eventos cuya altura de ola significativa es mayor:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17

Los factores de corrección de Van der Meer y Janssen para esta zona son:

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 0,66$$

Por tanto, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 0,66$$

- Factor de rugosidad:

El factor de rugosidad de la superficie de incidencia γ_r , tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

- Factor de percolación:

Como ya se ha dicho más arriba, este factor está relacionado con las características del terreno, y concretamente, en el caso de la arena, con el diámetro de sus granos y su disposición en el suelo. Así existen tablas en las que se define de manera genérica este factor en función de las características de la arena:

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos	
Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0,2-1
Grava bien graduada (GW)	0,05-0,3
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} -0,2
Arena bien graduada (SW)	10^{-3} -0,1
Arena limosa (SM)	10^{-3} - 5×10^{-3}
Arena arcillosa (SC)	10^{-4} - 10^{-3}
Limo de baja plasticidad (ML)	5×10^{-5} - 10^{-4}
Arcillas de baja plasticidad (CL)	10^{-5} - 10^{-8}

En nuestro caso se utilizará como coeficiente de percolación aquel que viene dado por la arena de la playa. Como ésta no viene explícitamente desarrollada en dicha tabla, se considera que se trata de una arena bien graduada, limpia, dado el efecto de lavado que tiene el agua del mar sobre ésta

y cuyos valores típicos están comprendidos entre 0,001 y 0,1.

Dado que el intervalo de los valores de k descritos en la tabla es amplio, tomamos 0,1 de dicho intervalo por ser el que produce mayor reducción en el cálculo del alcance del mar para este tipo de terreno y, en consecuencia, el más favorable para los posibles afectados por el DPMT, al proporcionar un número mayor de coeficiente de percolación (W) y por tanto un mayor factor de percolación(γ_w) dado que:

$$W=k \Rightarrow 0,1 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0,1 = 0,90$$

Un mayor valor del factor reductor de percolación implica una mayor reducción del valor de run-up corregido por estar directamente relacionados:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w$$

En esta zona, aplicando los factores de Van der Meer y Janssen:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 0,66 \cdot 1 \cdot 0,9$$

Con estos datos, para los eventos de temporal considerados se obtiene el run-up corregido (R_u) y con éste el run-up cuyo valor es superado en un porcentaje de tiempo inferior al 2% del evento:

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

Aplicando esta formulación se obtiene para cada evento de temporal en esta zona:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	0,72	1,43
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	0,71	1,41
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	0,72	1,43
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	0,70	1,38

A este run-up ($R_{u2\%}$) le sumamos el valor de la componente de nivel del mar ya calculado (S_{NM}), para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación para cada uno de los máximos eventos registrados:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{uo}	R _u	R _{u2%} (m)	S _{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,43	10,4	115	117,3	1,173	0,742	168,73	1,21	0,72	1,43	2,18
15:00	4	4	2022	4,66	11,01	110	102,4	1,024	0,593	189,10	1,19	0,71	1,41	2,00
3:00	25	3	2022	4,85	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	0,72	1,43	1,98
13:00	19	11	2021	5,43	10,01	110	105,6	1,056	0,625	156,31	1,17	0,70	1,38	2,01

Vistos los resultados tras la aplicación de las fórmulas y factores correctores desarrollados anteriormente se puede decir que el mayor temporal conocido que ha afectado a la costa Este del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las cinco de la tarde con una cota de inundación de unos 2,18 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 3.4 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas.

3.4. Cálculo del desplazamiento de la ola por la playa seca para cada zona.

Para realizar estos cálculos se va a realizar el estudio según las instrucciones del C.E.M. (Coastal Engineering Manual), con las ventajas que aporta el uso de los datos de los puntos SIMAR de Puertos del Estado y la base de datos reales de oleaje registrados desde 1958.

Según el C.E.M. es necesario obtener la altura de ola significativa en aguas profundas para calcular la altura de ola significativa (H_0 según nomenclatura del C.E.M.). Como los datos obtenidos en el punto SIMAR son simulaciones de oleaje para ese punto, el valor que se obtiene en dicho punto SIMAR es igual para ambos parámetros.

La longitud de ola profunda es:

$$L = 1.56 \times T_p^2$$

Donde T_p es el periodo punta; también obtenido del punto SIMAR.

La altura de ruptura de la ola según Komar & Gaughan (1973) es:

$$\Omega_b = 0.56 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-\frac{1}{5}}$$

Donde, L_0 es la longitud de ola en aguas profundas (m).

Así mismo tenemos que,

$$H_b = H_0 \times \Omega_b$$

Para continuar con los cálculos según el C.E.M. del alcance del oleaje (Δx) lo hacemos mediante la fórmula:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{\tan \vartheta - \frac{d\eta}{dx}}$$

Para ello necesitamos conocer la pendiente uniforme de la playa, ϑ , (húmeda + seca). Estos parámetros ya han sido obtenidos para el cálculo de la cota de inundación anteriormente.

El cálculo de la decaída de la ola cuando llega a la playa es:

$$\frac{d\eta}{dx} = \frac{1}{1 + \frac{8}{3 \times \gamma_b^2}} \times \tan \beta$$

La elevación media de la ola sobre el litoral:

$$\eta_s = \eta_b + (d_b - \eta_b) + \frac{1}{1 + \frac{8}{(3 \times \gamma_b^2)}}$$

La elevación media sobre el nivel del mar en aguas tranquilas profundas:

$$\eta_b = \frac{-1}{16} \times \gamma_b^2 \times d_b$$

Donde γ_b , es el índice de profundidad de rotura, que se obtiene de:

$$\gamma_b = b - a \frac{H_b}{g \times T^2}$$

Y la profundidad d_b , que se obtiene mediante la fórmula:

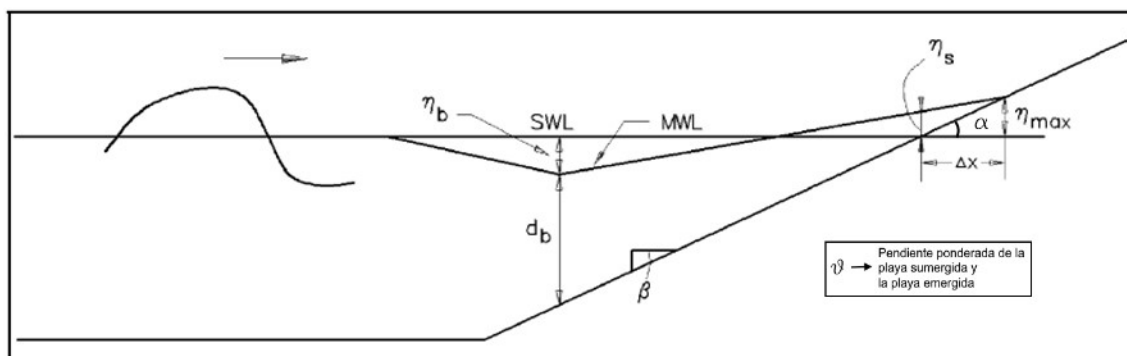
$$db = \frac{H_b}{\gamma_b^2}$$

Los parámetros a y b son coeficientes relacionados con la pendiente de la playa húmeda y responden a la siguiente formulación:

$$a = 43.8 \times (1 - e^{19 \tan \beta})$$

$$b = \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5 \tan \beta})}$$

Así aplicaremos este sistema de fórmulas del C.E.M. para los datos del máximo temporal desde que hay registros, considerando que el mayor temporal conocido es aquel cuya cota de inundación (calculada en el punto 3.3) es el de mayor valor, es decir, aquel temporal cuyo valor de S_{ci} es mayor.



Esquema de los parámetros calculados y su relación con el perfil de la playa (extraído del C.E.M.).

A continuación se desarrollan los cálculos para cada zona.

Zona 1

Como ya se ha visto en el apartado 3.3, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación corregida de 2,90 metros sobre n.m.m.a. Serán los datos de este temporal los que se desarrollen aquí para calcular el alcance del mar durante los mayores temporales conocidos, según el procedimiento del CEM.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2032080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,43
Tp	10,40
L	168,73

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,11
Hb	6,05
$d\eta/dx$	0,0043
η_s	1,27
η_b	-0,32
γ_b	0,85
db	7,09
$\tan \alpha$	0,029
$\tan \beta$	0,020

$\tan\vartheta$	0,022
-----------------	-------

Por lo tanto, el alcance del mar durante este temporal, en esta zona, dado por la fórmula:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{\tan\vartheta - \frac{d\eta}{dx}}$$

Arroja un resultado de 70,62 metros tierra adentro desde la línea de agua, considerada ésta como la cota 0 de la cartografía. Es decir, el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar en caso según la cartografía utilizada, siendo éstas homogéneas en toda su extensión, una pendiente constante, y un oleaje regular durante el temporal.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 70,62 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros reales tomados por las boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento de temporal marino, como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona 2

Como ya se ha visto en el apartado 3.3, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación corregida de 2,47 metros sobre n.m.m.a. Serán los datos de este temporal los que se desarrollen aquí para calcular el alcance del mar durante los mayores temporales conocidos, según el procedimiento del CEM.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2032080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,43
Tp	10,40
L	168,73

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ω_b	1,11
Hb	6,05
$d\eta/dx$	0,0140
η_s	1,37
η_b	-0,37
γ_b	0,99
db	6,12
$\tan\alpha$	0,042
$\tan\beta$	0,052
$\tan\vartheta$	0,049

Por lo tanto, el alcance del mar durante este temporal, en esta zona, dado por la fórmula:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{\tan\vartheta - \frac{d\eta}{dx}}$$

Arroja un resultado de 39,54 metros tierra adentro desde la línea de agua, considerada ésta como

la cota 0 de la cartografía. Es decir, el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar en caso según la cartografía utilizada, siendo éstas homogéneas en toda su extensión, una pendiente constante, y un oleaje regular durante el temporal.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 39,54 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros reales tomados por las boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento de temporal marino, como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona 3

Como ya se ha visto en el apartado 3.3, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación corregida de 2,90 metros sobre n.m.m.a. Serán los datos de este temporal los que se desarrollen aquí para calcular el alcance del mar durante los mayores temporales conocidos, según el procedimiento del CEM.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2032080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,43
Tp	10,40
L	168,73

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,11
Hb	6,05
$d\eta/dx$	0,0064
η_s	1,29
η_b	-0,33
γ_b	0,88
db	6,83
$\tan\alpha$	0,072
$\tan\beta$	0,028
$\tan\vartheta$	0,039

Por lo tanto, el alcance del mar durante este temporal, en esta zona, dado por la fórmula:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{\tan\vartheta - \frac{d\eta}{dx}}$$

Arroja un resultado de 39,77 metros tierra adentro desde la línea de agua, considerada ésta como la cota 0 de la cartografía. Es decir, el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar en caso según la cartografía utilizada, siendo éstas homogéneas en toda su extensión, una pendiente constante, y un oleaje regular durante el temporal.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 39,77 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los

registros reales tomados por las boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento de temporal marino, como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona 4

Como ya se ha visto en el apartado 3.3, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación corregida de 2,90 metros sobre n.m.m.a. Serán los datos de este temporal los que se desarrollen aquí para calcular el alcance del mar durante los mayores temporales conocidos, según el procedimiento del CEM.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2032080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,43
Tp	10,40
L	168,73

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,11
Hb	6,05
$d\eta/dx$	0,0047
η_s	1,27
η_b	-0,32
γb	0,86
db	7,05
$\tan\alpha$	0,118
$\tan\beta$	0,022
$\tan\vartheta$	0,031

Por lo tanto, el alcance del mar durante este temporal, en esta zona, dado por la fórmula:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{\tan\vartheta - \frac{d\eta}{dx}}$$

Arroja un resultado de 48,76 metros tierra adentro desde la línea de agua, considerada ésta como la cota 0 de la cartografía. Es decir, el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar en caso según la cartografía utilizada, siendo éstas homogéneas en toda su extensión, una pendiente constante, y un oleaje regular durante el temporal.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 48,76 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros reales tomados por las boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento de temporal marino, como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona 5

Como ya se ha visto en el apartado 3.3, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación corregida de 2,90 metros sobre n.m.m.a. Serán los datos de este temporal los que se desarrollen aquí para calcular el alcance del mar durante los mayores temporales conocidos, según el procedimiento del CEM.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2032080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,43
Tp	10,40
L	168,73

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ω_b	1,11
Hb	6,05
$d\eta/dx$	0,0055
η_s	1,28
η_b	-0,33
γ_b	0,87
db	6,94
$\tan\alpha$	0,082
$\tan\beta$	0,025
$\tan\vartheta$	0,033

Por lo tanto, el alcance del mar durante este temporal, en esta zona, dado por la fórmula:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{\tan\vartheta - \frac{d\eta}{dx}}$$

Arroja un resultado de 46,10 metros tierra adentro desde la línea de agua, considerada ésta como la cota 0 de la cartografía. Es decir, el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar en caso según la cartografía utilizada, siendo éstas homogéneas en toda su extensión, una pendiente constante, y un oleaje regular durante el temporal.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 46,10 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros reales tomados por las boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento de temporal marino, como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona 6

Como ya se ha visto en el apartado 3.3, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación corregida de 2,90 metros sobre n.m.m.a. Serán los datos de este temporal los que se desarrollen aquí para calcular el alcance del mar durante los mayores temporales conocidos, según el procedimiento del CEM.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2032080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,43
Tp	10,40
L	168,73

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ω_b	1,11
Hb	6,05
$d\eta/dx$	0,0068
η_s	1,30
η_b	-0,34
γ_b	0,89
db	6,78
$\tan\alpha$	0,089
$\tan\beta$	0,030
$\tan\vartheta$	0,039

Por lo tanto, el alcance del mar durante este temporal, en esta zona, dado por la fórmula:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{\tan\vartheta - \frac{d\eta}{dx}}$$

Arroja un resultado de 40,15 metros tierra adentro desde la línea de agua, considerada ésta como la cota 0 de la cartografía. Es decir, el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar en caso según la cartografía utilizada, siendo éstas homogéneas en toda su extensión, una pendiente constante, y un oleaje regular durante el temporal.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 40,15 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros reales tomados por las boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento de temporal marino, como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona 7

Como ya se ha visto en el apartado 3.3, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación corregida de 2,18 metros sobre n.m.m.a. Serán los datos de este temporal los que se desarrollen aquí para calcular el alcance del mar durante los mayores temporales conocidos, según el procedimiento del CEM.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2032080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,43
Tp	10,40
L	168,73

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,11
Hb	6,05
$d\eta/dx$	0,0072
η_s	1,30
η_b	-0,34
γb	0,90
db	6,73
$\tan\alpha$	0,021
$\tan\beta$	0,031
$\tan\vartheta$	0,025

Por lo tanto, el alcance del mar durante este temporal, en esta zona, dado por la fórmula:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{\tan\vartheta - \frac{d\eta}{dx}}$$

Arroja un resultado de 72,12 metros tierra adentro desde la línea de agua, considerada ésta como la cota 0 de la cartografía. Es decir, el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar en caso según la cartografía utilizada, siendo éstas homogéneas en toda su extensión, una pendiente constante, y un oleaje regular durante el temporal.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 72,12 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros reales tomados por las boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento de temporal marino, como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

3.5. Discusión de los resultados.

Teniendo en cuenta estos valores de alcance obtenidos para cada zona definida, se puede representar en el mapa el límite interior hasta donde llega el mar durante los máximos temporales (según el C.E.M. y la cartografía utilizada) así como la cota de inundación (según Nielsen-Hanslow), para cada uno de los tramos:

Zona 1:



Representación gráfica de los alcances calculados mediante el C.E.M. (en rojo) y la cota de inundación mediante la fórmula de Nielsen-Hanslow (1991) corregida con los factores de Van der Meer y Jansen (en azul).

Zona 2:



Representación gráfica de los alcances calculados mediante el C.E.M. (en rojo) y la cota de inundación mediante la fórmula de Nielsen-Hanslow (1991) corregida con los factores de Van der Meer y Jansen (en azul).

Zona 3:



Representación gráfica de los alcances calculados mediante el C.E.M. (en rojo) y la cota de inundación mediante la fórmula de Nielsen-Hanslow (1991) corregida con los factores de Van der Meer y Jansen (en azul).

Zona 4:



Representación gráfica de los alcances calculados mediante el C.E.M. (en rojo) y la cota de inundación mediante la fórmula de Nielsen-Hanslow (1991) corregida con los factores de Van der Meer y Jansen (en azul).

Zona 5:



Representación gráfica de los alcances calculados mediante el C.E.M. (en rojo) y la cota de inundación mediante la fórmula de Nielsen-Hanslow (1991) corregida con los factores de Van der Meer y Jansen (en azul).

Zona 6:



Representación gráfica de los alcances calculados mediante el C.E.M. (en rojo) y la cota de inundación mediante la fórmula de Nielsen-Hanslow (1991) corregida con los factores de Van der Meer y Jansen (en azul).

Zona 7:



Representación gráfica de los alcances calculados mediante el C.E.M. (en rojo) y la cota de inundación mediante la fórmula de Nielsen-Hanslow (1991) corregida con los factores de Van der Meer y Jansen (en azul).

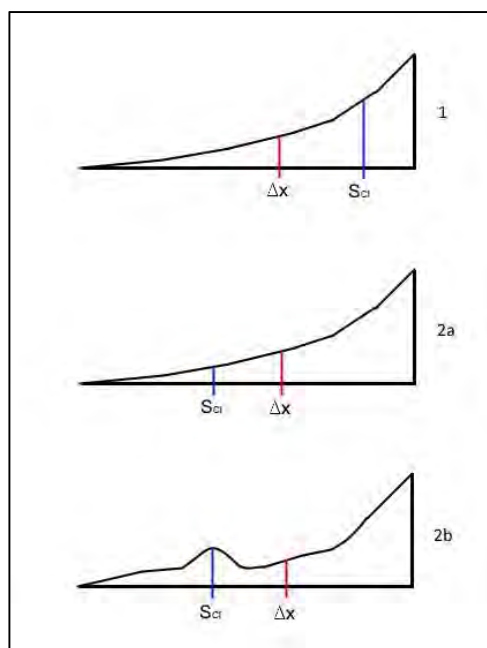
Una vez obtenidos los valores de cota de inundación (S_{CI}), medida en vertical, y de alcance de la inundación (Δx), medida en horizontal, se puede calcular la extensión máxima de la inundación (sin tener en cuenta obstáculos cuya altura no esté cartografiada como curva de nivel), pues la forma del perfil medio de la playa relaciona las distancias en vertical y en horizontal de la inundación.

Al ser variables distintas y haberse tratado y calculado de forma independiente, no se obtienen los mismos resultados de extensión de la inundación. Así, al representar la distancia de inundación y la cota de inundación sobre la cartografía no serán coincidentes por sus características intrínsecas.

La topografía del terreno es un factor limitante en la extensión de la inundación y se relaciona con los dos parámetros calculados, pudiéndose dar tres casos genéricos que han de ser considerados en cada zona de estudio. Estos casos son:

- 1 – La cota de inundación (S_{CI}), según la topografía del terreno, se ubica más al interior que el alcance de la inundación (Δx).
- 2 – La cota de inundación (S_{CI}), se ubica más al exterior que el alcance de inundación (Δx).
En este supuesto pueden darse 2 situaciones según la topografía del terreno:
 - 2.a – La pendiente del terreno asciende de forma constante desde la cota cero hacia arriba.
 - 2.b – La pendiente del terreno asciende para luego descender al interior, porque existe un montículo u obstáculo más alto que el terreno más al interior.

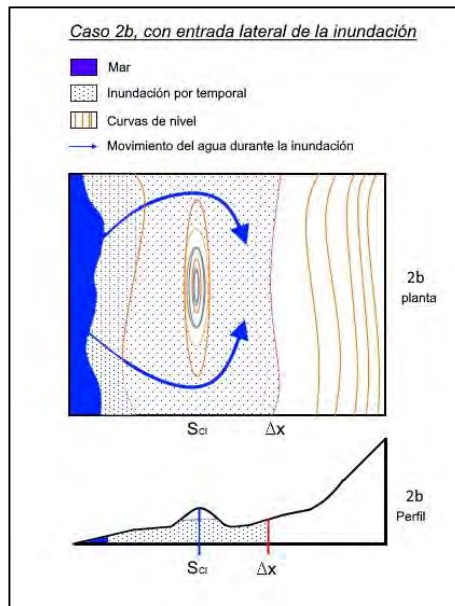
Esquemáticamente:



Así, cuando tras los cálculos y su representación sobre la cartografía de las líneas que indican los límites, tanto de la cota de inundación (S_{CI}) sobre el nivel del mar (cota 0 n.m.m.a.) como del alcance (desplazamiento de la ola tierra adentro, Δx), nos encontramos con la situación '1' se considera que la inundación se extiende tierra adentro hasta el límite marcado por el cálculo del alcance (Δx).

En el caso de encontrarnos con el supuesto 2a, es decir, el límite interior del alcance (Δx) se ubica más al interior que la inundación arrojada por el valor de la cota de inundación (S_{CI}) en un terreno que va ascendiendo de manera constante desde la línea de agua hacia el interior, se considera que la inundación por el temporal se extiende hasta el límite interior marcado por la cota de inundación (S_{CI}) ya que se hace la hipótesis de que el agua no puede superar la cota de inundación calculada ya que más al interior de ésta, el terreno tiene mayor cota por su ascenso en altura uniforme.

En el caso de encontrarnos con el supuesto 2b, es decir, el límite interior del alcance (Δx) se ubica más al interior que la inundación arrojada por el valor de la cota de inundación (S_{CI}) en un terreno que no asciende de forma constante desde la cota cero sino que, por la existencia de montículos de arena o por las propias características del terreno en las que se alcanza una cota determinada y más al interior el terreno baja y, por tanto, tiene cota inferior a ese montículo, cordón, etc. se considera que el límite hasta el que se extiende la inundación por el temporal lo marca cálculo del alcance de las olas (Δx) dado que el agua de la inundación pueda provenir de zonas más bajas, no venir del punto de medición, sino de zonas aledañas más bajas y que se extiende por detrás de este cordón u obstáculo más alto, pero inundándose al interior con aguas de mar procedentes de las entradas más bajas que el cordón o montículo, en otros lugares más o menos cercanos. Esta situación se trata de ilustrar con el siguiente esquema:

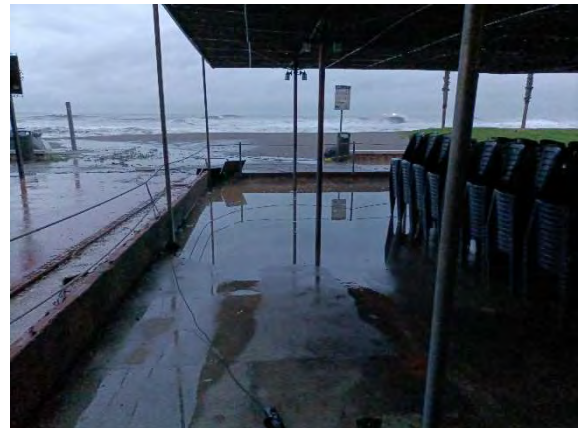
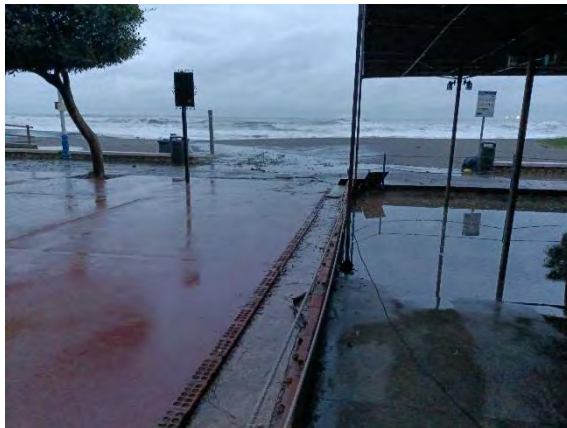
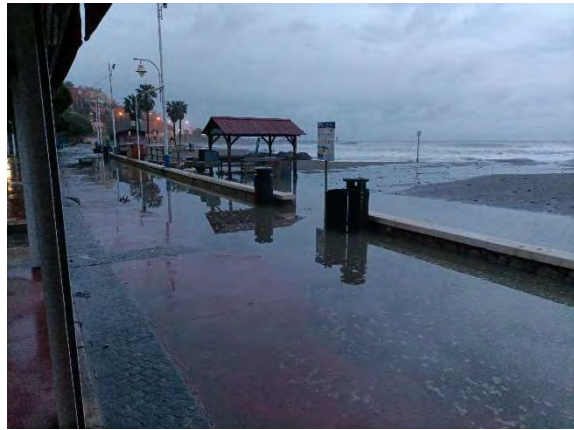


Vistos los casos genéricos, se debe considerar, si la extensión de inundación viene limitada por cota o por distancia.

En el principio del tramo, en la zona de la playa del Dedo (zona 1), la cota de inundación se ubica, según los cálculos realizados mediante la formulación teórica inundación de Nielsen-Hanslow (1991) corregida mediante los factores de Van der Meer y Jansen, en los 2,90m, esto es, en la vía de acceso a los aparcamientos de la playa donde se inicia una elevación del terreno hacia el interior. El alcance de la inundación en distancia horizontal calculada mediante el procedimiento del C.E.M. se sitúa más al exterior de la cota de inundación, es decir, sería el caso genérico '1' de los descritos más arriba. El alcance de la inundación, Δx , llega hasta los 70,62m desde la línea de agua (considerada esta la cota 0 de la cartografía), según los cálculos realizados mediante el método del C.E.M. (desarrollado en el punto 3 de este estudio); es hasta esa zona hasta donde se considera que llega el agua del mar durante los mayores temporales conocidos.

Los cálculos teóricos se sustentan, además, en la evidencia del alcance del agua del mar con los indicios dejados durante los temporales por el oleaje en la costa, como puede observarse en el caso de las fotografías siguientes en donde se aprecia la inundación en la zona durante el temporal de abril de 2022:





Fotografías realizadas el 5-abril-2022 entre las 7:40 y las 7:55; al día siguiente del temporal del 4 de abril de 2022 (segundo más intenso desde que se tienen registros).



Siendo el máximo de este temporal a las 15:00 del día 4 de abril de 2022 cuya altura de ola significativa llegó a los 4,66 m estando las fotos anteriores tomadas poco antes de las 8:00 del día 5 de abril de 2022 cuya altura de ola significativa era de 3,03 m como se muestra en la gráfica anterior de Puertos del Estado.

El máximo temporal conocido ocurrió el día 1 de noviembre de 2015 cuya altura de ola significativa llegó hasta los 5,43 m a las 17:00 horas. Estos datos muestran indicios de la intensidad del oleaje al que llegó el temporal de 2015 respecto al de 2022, cuyo alcance se muestra en las fotografías anteriores, ya que no se dispone de elementos gráficos de aquel temporal de 2015 pero que su comparación con el temporal de 2022 (segundo más intenso desde que existen registros en esta zona de la costa) sirve para el objeto que nos ocupa de mostrar el alcance del oleaje durante los mayores temporales conocidos.

Es necesario matizar en este punto que los cálculos realizados simplifican la costa a un modelo de pendientes uniformes y oleaje regular durante el temporal, de la misma manera que el cálculo del alcance del oleaje no tiene en cuenta el desplazamiento del espray de agua del mar ni la altura alcanzada en cota, generado tras el impacto de las olas en las rocas, como ilustra las imágenes siguientes en las que se muestra el impacto del oleaje sobre el espigón del puerto del candado:



Por otra parte, es necesario indicar que los cálculos teóricos de alcance del oleaje y de cota de inundación mediante la formulación aplicada en este estudio tiene un mejor ajuste para playas y zonas de costa tendida (de escasa pendiente, sin muros, zonas escalonadas de rocas, etc) por lo que en las zonas de espigones, como en el caso del puerto, taludes defensivos como los usados para la defensa de la carretera N-340, etc., para conocer el alcance del oleaje se ha de tener en cuenta las evidencias obtenidas mediante fotografía del impacto del oleaje, o de indicios de su alcance (costras salinas en el suelo, etc).

En la zona 2, situada en la playa del Candado junto al puerto homónimo, tenemos los dos tipos de hipótesis de extensión de la inundación principales divididos a mitad de la playa: en la parte de

poniente prima la hipótesis de cálculo teórica '1', mientras que en la mitad de levante es la hipótesis '2a' la que marca la extensión del oleaje. En esta zona 2 la cota de inundación calculada mediante la formulación de Nielsen-Hanslow, corregida por los factores de corrección de Van Der Meer y Jansen, alcanza una cota de 2,47 m.s.n.m. El alcance del oleaje calculado por el método del C.E.M. es de 39,54 m tierra adentro. En ninguno de los casos se supera la superficie de la arena de la playa.

Entre la playa del Candado y la playa del Peñón del Cuervo la costa está caracterizada por ser una zona de costa rocosa baja donde, a tramos, se refuerza mediante obras de tipo escollera para defender el vial y el sendero peatonal que discurre en la parte superior, como se aprecia en la siguiente imagen:



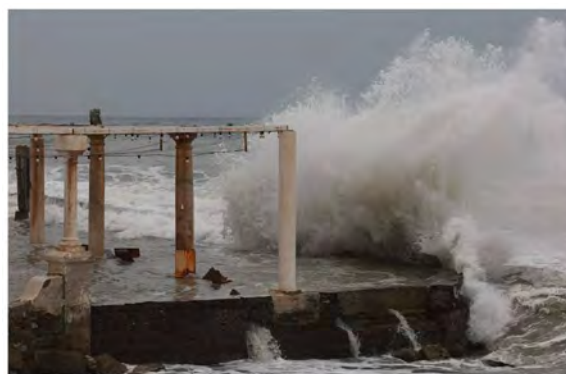
Fotografía oblicua. Vuelo 2017.

El batir de las olas en este tipo de costa hace que el oleaje alcance más al interior que la coronación del talud ya que el impacto de la ola proyecta el agua hacia arriba y al interior.

A modo de ejemplo aclaratorio de este concepto las siguientes fotografías de Málaga en la zona de Pedregalejo (*no pertenecientes a la zona a deslindar en este procedimiento en curso*), publicadas en el *Diario Sur* tras el temporal de abril de 2022 y cuyo autor es *Salvador Salas*, ilustran el efecto del impacto del oleaje y la altura que puede alcanzar sobre costas abruptas bajas o escolleras:



Av. Pintor Sorolla



Baños del Carmen

Como ya se ha comentado anteriormente, los cálculos realizados llevan implícita una simplificación de la costa a un modelo de pendientes uniformes y oleaje regular durante el temporal, de la misma

manera que el cálculo del alcance del oleaje no tiene en cuenta el desplazamiento del espray de agua del mar ni la altura alcanzada en cota generado tras el impacto de las olas en las rocas, por lo que los indicios del alcance, como son las costras de sal en el suelo, pueden ser indicadores de la llegada del agua marina a un punto. En las siguientes fotografías de la zona se muestran costras de sal, por lo que se entiende que el agua del mar llega hasta la parte alta de la costa rocosa.



La siguiente zona a valorar el alcance del oleaje estudiado es la clasificada como zona 3 ubicada en la playa del Peñon del Cuervo. Aquí ocurre lo mismo que en la zona 2 (playa del Candado), es decir, se dan dos hipótesis en la misma playa. En la parte de poniente de la ensenada se produce el caso teórico '2a' porque la cota de inundación se ubica más al exterior que el alcance tierra adentro del oleaje, mientras que en la parte de levante del arenal es la cota de inundación la que se ubica más al interior respecto al alcance, caso '1', debido a que en esta zona se encuentra la desembocadura de una rambla y, por ello, el terreno es más bajo que la parte de poniente.

En esta zona 3 la cota de inundación calculada mediante la formulación de Nielsen-Hanslow, corregida por los factores de corrección de Van Der Meer y Jansen, alcanza una cota de 2,90 m.s.n.m. El alcance del oleaje calculado por el método del C.E.M. es de 39,77 m tierra adentro. En ninguno de los casos se supera la superficie de la arena de la playa ya que esta se extiende más al interior que el alcance del oleaje calculado.

La playa de la cementera correspondiente a la zona 4 de cálculo de los alcances del oleaje linda con el vial N-340 (que, a su vez, linda con los terrenos de una fábrica de cemento), por un talud nivelación y de defensa frente al oleaje de dicho vial, como puede verse en la siguiente fotografía:



Según los cálculos teóricos realizados (desarrollados en el punto 3 de este estudio) en esta playa la hipótesis de trabajo es la '2a' ya que la cota de inundación se sitúa en el muro de defensa antes comentado ubicándose más al interior la línea de alcance de oleaje según el método del C.E.M. por

lo que se considera que la extensión de la inundación vendrá dada por la cota de inundación. Esta cota ha sido calculada mediante la formulación de Nielsen-Hanslow, corregida por los factores de corrección de Van Der Meer y Jansen, y alcanza una cota de 2,90 m.s.n.m. El alcance del oleaje calculado por el método del C.E.M. es de 48,76 m tierra adentro, por lo que la curva de nivel 2,90m será la que determine el alcance del oleaje durante los mayores temporales conocidos en esta zona 4.

Estos cálculos teóricos son corroborados por las fotografías siguientes en las que se apreciaban los daños producidos por el temporal de abril de 2022 (segundo más intenso desde que se tienen registros en esta zona) en la parte de poniente de la playa, que llegan hasta, aproximadamente, la línea que delimita la extensión de la inundación en esta zona. Esto es una muestra del alcance del oleaje durante los temporales más intensos donde se descalza la cimentación de las edificaciones construidas sobre la arena por el impacto de las olas.



Al otro lado de la punta de las Palomas se encuentra la zona 5, situada en la playa de la Araña, que se caracteriza por ser un arenal limitado al interior por edificaciones bajas y el vial rodado N-340. En la parte de poniente hasta aproximadamente el paso subterráneo bajo la carretera N-340 la hipótesis de alcance teórico del oleaje es la '2a' siendo en el resto de la playa la hipótesis '1' la referente respecto a la extensión de la inundación durante los mayores temporales conocidos por situarse la cota de inundación, Sci, más al interior que el alcance de la inundación, Δx , calculado mediante el método del C.E.M. ya que este alcance llega hasta los 46,10 m tierra adentro medidos desde la línea de agua (considerada esta la curva de nivel de cota 0 de la cartografía) y ubicándose la cota de inundación calculada mediante la fórmula de Nielsen-Hanslow corregida por los factores de corrección de Van Der Meer y Jansen en la cota 2,90m estando esta curva de nivel a más distancia horizontal de los 46,10 metros del alcance en esta parte de levante de la playa. En la parte

de poniente de la playa la situación es la inversa, es decir, la cota 2,90m está a menos de 46,10 metros horizontales de la cota cero.

En esta zona los temporales más intensos confirman que los métodos de cálculo y de decisión de hipótesis a usar son los adecuados ya que, como se puede observar en las fotografías de abril de 2022 siguientes, la extensión de la inundación está próxima a la delimitación que los cálculos matemáticos han indicado:



Daños en la Playa de la Araña causados por el oleaje del temporal de abril de 2022. Descalces, pérdidas de arena y escarpe producido por el oleaje.

La zona 6 se encuentra al final del tramo en estudio, en la playa del Hornillo, se trata de una parte de la costa en la que el extenso arenal se extiende hacia levante por el término municipal de Rincón de la Victoria. Según los cálculos teóricos realizados (desarrollados en el punto 3 de este estudio) en esta playa la hipótesis de trabajo de extensión de la inundación es la '2a' en los primeros metros de la playa para luego ser la hipótesis '1' en el resto de la zona. Esto es debido a que la cota de inundación se sitúa en la cota 2,90m, calculada mediante la formulación de Nielsen-Hanslow, corregida por los factores de corrección de Van Der Meer y Jansen. El cálculo del alcance tierra adentro según la metodología del C.E.M. es de 40,15m desde la línea de agua (cota 0). Es por esto que en el inicio de la playa (desde poniente) se toma la cota de inundación como la extensión de la inundación en esa zona ya que se encuentra más al exterior que el alcance. En cambio, en la zona más amplia del arenal, la cota 2,90m se encuentra más al interior que los 40,15m que marca el método del C.E.M. como zona hasta la que se extiende el oleaje por lo que es esta línea la que nos marca la extensión de la inundación en la zona más ancha de la playa.

La zona 7 es contigua a la zona 6 pero se han diferenciado para ajustar los cálculos en previsión de que al tratarse de la desembocadura de un río pudiera variar los resultados respecto a los de la playa del Hornillo (zona 6). En este caso la hipótesis de trabajo de la extensión de la inundación es

la '1' ya que la cota de inundación calculada con la formulación de Nielsen-Hanslow, corregida por los factores de corrección de Van Der Meer y Jansen arroja un resultado de 2,18 metros debido a las características propias de las pendientes del cauce en su desembocadura. El alcance de la inundación tierra adentro calculado mediante el método del C.E.M. en esta zona es de 72,12 metros medidos desde la línea de agua, considerada ésta la cota 0 de la cartografía. La cota de inundación de 2,18m, por la baja pendiente de la desembocadura del río Totalán, se adentra hasta los 175 metros, siendo mayor que los 72 metros de alcance calculados según el C.E.M. por lo que es esta distancia la que nos indica la extensión de la inundación en la desembocadura del río y final de la zona de estudio.

3.6. Conclusiones

La zona de estudio, según los cálculos teóricos, considerando un modelo simplificado del terreno y suponiendo un oleaje regular durante el mayor temporal conocido desde que existen registros de boyas (ocurrido el 1 de noviembre de 2015), se puede decir que, la ribera del mar en el tramo de deslinde que nos ocupa no se ve superada por el oleaje durante los grandes temporales (bajo los condicionantes mencionados y los datos de caracterización del oleaje obtenidos hasta diciembre de 2022), según lo establecido en la Ley de Costas 22/88 y los criterios técnicos definidos en el Reglamento General de Costas (R.D. 876/2014) modificado por el Real Decreto 668/2022, excepto en el principio del tramo de deslinde entre los vértices M1 y M-5 donde sí se desplaza hacia el interior la ribera del mar tanto por los resultados obtenidos en los cálculos de alcance del oleaje como por las evidencias de agua y daños producidos por el temporal ocurrido en abril de 2022 considerado como el segundo temporal en intensidad desde que se tienen registros y que se han mostrado en el ítem anterior.

Llegados a este punto, es necesario recordar que la delimitación del DPMT y, en concreto, su ribera del mar, no solo viene dada por la extensión de la inundación que se produce por el efecto del oleaje durante los mayores temporales conocidos, sino que hay que considerar también 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 los bienes de dominio público marítimo-terrestre para la delimitación de dichas franjas siendo esta la causa por la que, en determinadas playas, aunque la extensión de la inundación alcanza solo una parte del arenal, la ribera del mar se ubica más al interior, coincidente con el límite de la arena.

4. DETERMINACIÓN Y CRITERIOS JUSTIFICATIVOS DEL DESLINDE DEL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE

4.1. Objetivo del estudio.

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, y que supuso la aprobación posterior de un nuevo Reglamento General de Costas por Real Decreto 876/2014 de 10 de octubre. En agosto de 2022 se aprueba por el Real Decreto 668/2022 la modificación del Reglamento General de Costas de 2014 para integrar las medidas necesarias para minimizar los impactos que se producirán en la franja litoral española debido a los efectos del cambio climático y que permitan la adaptación al cambio climático desde la planificación y la gestión costera.

Es por ello que el objetivo en este punto 4, en función de lo determinado por esta legislación, por los resultados obtenidos en el estudio del medio físico del proyecto conservado fechado en 2007 y por los resultados obtenidos en este estudio complementario con los datos obtenidos en años más recientes así como para la adaptación a la nueva legislación de 2022, establecer la determinación del deslinde del dominio público marítimo-terrestre conforme a los preceptos jurídicos recogidos en la legislación vigente.

4.2. Determinación y criterios justificativos del deslinde del dominio público marítimo-terrestre.

4.2.1. Criterios justificativos del deslinde del DPMT en el tramo en estudio.

Una vez estudiado lo 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 de los diferentes ambientes que configuran este tramo de costa.

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 de costa 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.

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.

El artículo 4.8 de la Ley de Costas dice:

Artículo 4.

Pertenecen asimismo al dominio público marítimo-terrestre estatal:

8. Los terrenos colindantes con la ribera del mar que se adquieran para su incorporación al dominio público marítimo-terrestre.

El artículo 4.9 de la Ley de Costas dice:

Artículo 4.

Pertenecen asimismo al dominio público marítimo-terrestre estatal:

9. Las obras e instalaciones construidas por el Estado en dicho dominio.

El artículo 4.11 de la Ley de Costas dice

Artículo 4.

Pertenecen asimismo al dominio público marítimo-terrestre estatal:

11. Los puertos e instalaciones portuarias de titularidad estatal, que se regularán por su legislación específica.

Por otra parte, los criterios técnicos y de desarrollo de estos artículos de la Ley de Costas, se reúnen en el Reglamento General de Costas que ha sido modificado recientemente mediante el R.D. 668/2022.

Así, para determinar la zona marítimo terrestre y de la playa se definen los criterios en el artículo 4 del RGC, 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 desde que existan registros de boyas o satélites, o datos oceanográficos o meteorológicos. Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas o calculadas con esos datos.

b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos 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 incluirán en la delimitación de la playa todas las dunas que estén en desarrollo, desplazamiento o evolución debido a la acción del mar o del viento marino. Asimismo, se incluirán, hasta el límite que resulte necesario para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa, las dunas fijadas por vegetación que no estén en desarrollo, desplazamiento o evolución. Se entiende que no son necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa las dunas que han quedado aisladas tierra adentro o colgadas sobre una costa rocosa, sin vinculación actual ni futura con la playa, teniendo en cuenta la evolución de la línea de costa y los efectos del cambio climático.

4.2.2. Determinación del deslinde del DPMT en el tramo en estudio

Entre los vértices M-1 y M-5 el tramo se caracteriza por estar constituido por la antropización severa de los terrenos en los que se han construido a lo largo del tiempo diversas infraestructuras, como un aparcamiento de vehículos, zona de esparcimiento, varias edificaciones destinadas a la hostelería y el final del paseo marítimo, todas ellas al exterior de la delimitación del DPMT. Al interior del DPMT existen viales y edificios de viviendas. Al exterior del paseo marítimo mencionado, se extiende la actual superficie de arena de la playa de "El Dedo"; puesto que es hasta el muro bajo del exterior del paseo marítimo hasta donde llegan las arenas superficiales de la playa.

A continuación, se muestra una comparación de la zona en la década de 1970 y la actualidad (2022)



Además de considerar la superficie ocupada por la arena de la playa se han realizado los cálculos necesarios para precisar la extensión de la inundación durante los mayores temporales conocidos, desarrollados en el punto 3 de este estudio, para situar el límite interior de la ribera del mar asociado a la determinación del DMPT. Este límite se modifica respecto a la propuesta de delimitación provisional debido al cambio de criterio para la determinación del alcance de los mayores temporales introducido por el RD 668/2022, por lo que la ribera del mar se extiende hacia el interior un máximo de 19 metros aproximadamente al inicio del tramo disminuyendo hasta ser coincidente con el DPMT en el vértice M-5. Esta nueva delimitación puede ser consultada en los planos de deslinde (Documento nº 2), ello en virtud del artículo 3.1.a) 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.

Y el artículo 4.a) del RGC modificado por el R.D. 668/2022:

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 desde que existan registros de boyas o satélites, o datos oceanográficos o meteorológicos. Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas o calculadas con esos datos.

El resto de los terrenos incluidos en el dominio público marítimo-terrestre han perdido las características naturales por la acción antrópica pero que ya fueron deslindados e incluidos como zona marítimo terrestre, por lo que mantienen su demanialidad y, por tanto, su pertenencia al dominio público marítimo-terrestre en virtud del artículo 4.5 de la Ley de Costas de 1988.

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.

Estos terrenos, en el año 1977, ya estaban siendo antropizados con diversas ocupaciones de la playa existente en aquel tiempo, pero la arena entre estas ocupaciones es apreciable ya que no había pavimentación entre dichas ocupaciones, como puede verse en la fotografía siguiente de verano de 1977 (procedente del vuelo Interministerial), siendo utilizados los arenales interiores para estacionar los vehículos.



También observable en la siguiente fotografía también de la década de 1970 expuesta anteriormente:



A pesar de haber perdido sus características naturales de playa como consecuencia de la alta presión urbanística existente en la zona, los terrenos de dominio público delimitados en esta zona, que se encuentran ya en parte ocupados por instalaciones de grandes dimensiones, se consideran necesarios para la utilización y uso del DPMT, toda vez que sirven de freno para el avance de la acción edificadora, así como garantizan el acceso y el uso público al resto de la playa, por lo que

resulta evidente que de este modo, es decir continuando afectos al DPMT, estarán investidos de mayor protección frente a actuaciones de consolidación de ocupaciones entre otras.

Entre los vértices M-5 y M-8 es una zona en la que la presión ejercida por la construcción de infraestructuras como el desdoblamiento de la carretera N-340, o la construcción del Puerto de El Candado cuyo acceso se encuentra en esta zona, ha influido en la configuración de la costa ya que se han producido rellenos de arena para nivelar la plataforma donde se ubica la carretera y la entrada al puerto de El Candado.



Fotografía procedente del proyecto conservado. (Tomo II, Anejo 8, pág. 54).



Fotografía aérea 2017. Rellenos de arena.

Dada la existencia de estos depósitos de arena en la zona y, en virtud del artículo 3.1.b) de la Ley de Costas de 1988, estos terrenos forman parte del dominio público marítimo terrestre.

Entre los vértices M-8 y M-14 el espacio delimitado como dominio público marítimo-terrestre coincide, e parte con el límite de la zona portuaria del puerto de "El Candado". Se trata de unos terrenos claramente modificados respecto a su estado natural, como puede observarse en las siguientes fotografías aéreas comparativas del año 1956 (antes de la construcción del puerto y 2019, donde se aprecia la diferencia de configuración de la costa antes de la actuación antrópica y el estado posterior construcción de un puerto y por lo tanto provocando una modificación importante de la configuración natural de la costa:



Este puerto fue construido por el Estado mediante la figura de concesión de obra pública otorgada a un tercero, concesionario, en la década de los años 70. Posteriormente fue transferido a la Comunidad Autónoma de Andalucía mediante real decreto de transferencia 3137/1983. Los terrenos sobre los que se halla el puerto es dominio público marítimo-terrestre adscrito a la comunidad

autónoma tal y como establece el artículo 49 de la Ley de Costas.

Es por esto que, tal y como se establece en el proyecto cuya conservación se ordenó, se puede considerar que los terrenos forman parte del dominio público marítimo-terrestre entre los vértices M-8 y M-11 en virtud de lo establecido en el artículo 4.11 de la Ley de Costas de 1988 y de manera suplementaria en virtud del artículo 4.9 de la misma.

Artículo 4.

Pertenecen asimismo al dominio público marítimo-terrestre estatal:

9. Las obras e instalaciones construidas por el Estado en dicho dominio.

11. Los puertos e instalaciones portuarias de titularidad estatal, que se regularán por su legislación específica.

Además de englobarse parcialmente en la zona de servicio portuario, entre los vértices M-11 y M-13, el DPMT es coincidente con la ZMT aprobada por O.M. de 12 de enero de 1957 entre los vértices M-11 y M-14. Se trata de unos terrenos que han perdido sus características naturales ya que se encuentran al interior de la zona portuaria e incluyen parte de un vial. Dado que se han perdido sus características naturales se incluyen en el dominio público marítimo-terrestre en virtud del artículo 4.5 de la Ley 22/88 de Costas considerándose estos terrenos necesarios para la utilización y protección del mismo puerto que constituyen, además de un freno físico de la expansión hacia el sur de la edificación industrial existente, y del único acceso abierto, rodado y seguro, a la playa que queda a levante del puerto.

En este sector, la ribera del mar no es coincidente con el DPMT y se ubica en la zona hasta donde alcanza el agua del mar en el interior del puerto, por lo que se justifica su ubicación por el artículo 3.1.a) de la Ley 22/88 de Costas.

Entre los vértices M-14 y M-16 se extiende la playa del Candado, generada tras la construcción del puerto homónimo por la barrera frente a los temporales de poniente que son los espigones del puerto y que produce la acumulación de arena en la caleta artificial que se formó. Es por ello que, en virtud del artículo 3.1.b) de la Ley 22/88, de Costas, estos terrenos forman parte del dominio público marítimo-terrestre.

Entre los vértices M-16 y M-45 los terrenos que se incluyen en el dominio público marítimo terrestre forman la denominada finca "La Platera", cuya superficie supera las 6 ha y es colindante con la ribera del mar, fueron cedidos a la administración de Costas por parte del entonces llamado Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo por lo que se ajusta a lo establecido en el artículo 4.8 de la Ley de Costas de 1988.

Artículo 4.

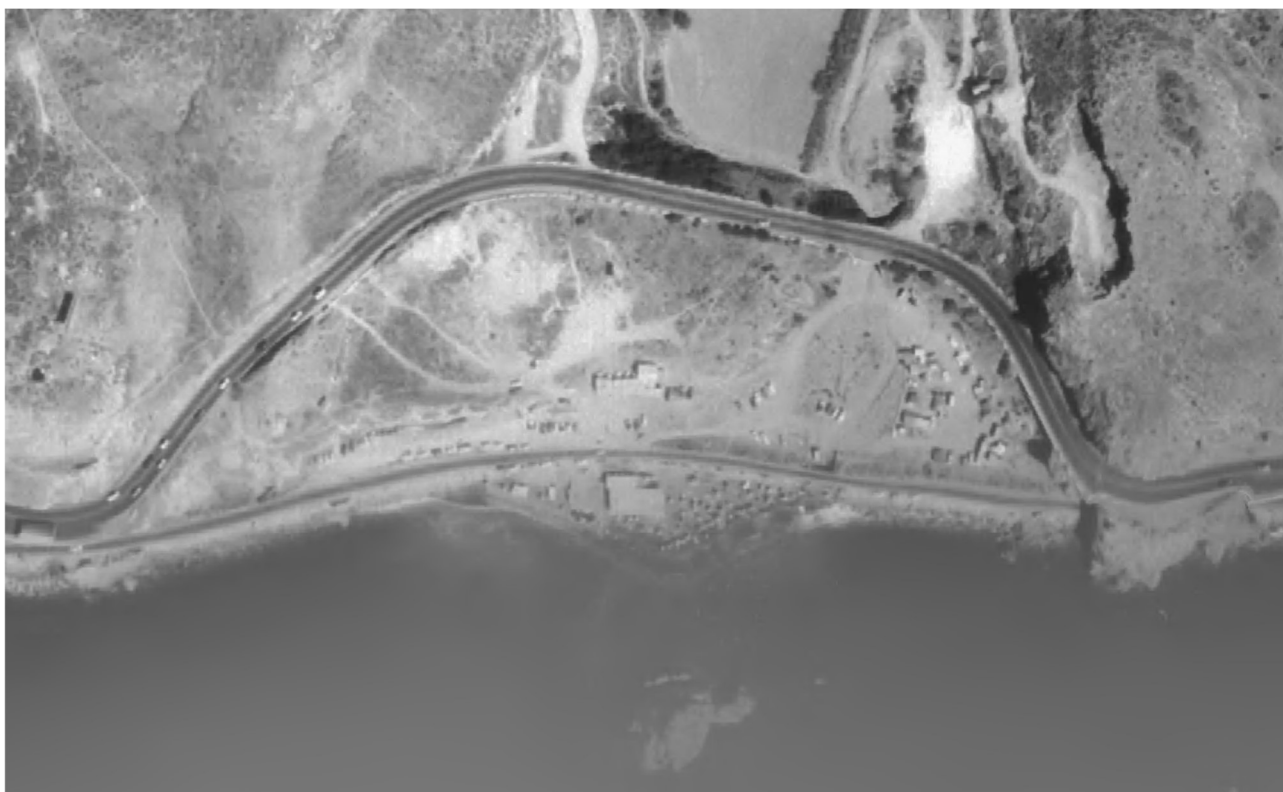
Pertenecen asimismo al dominio público marítimo-terrestre estatal:

8. Los terrenos colindantes con la ribera del mar que se adquieran para su incorporación al dominio público marítimo terrestre.

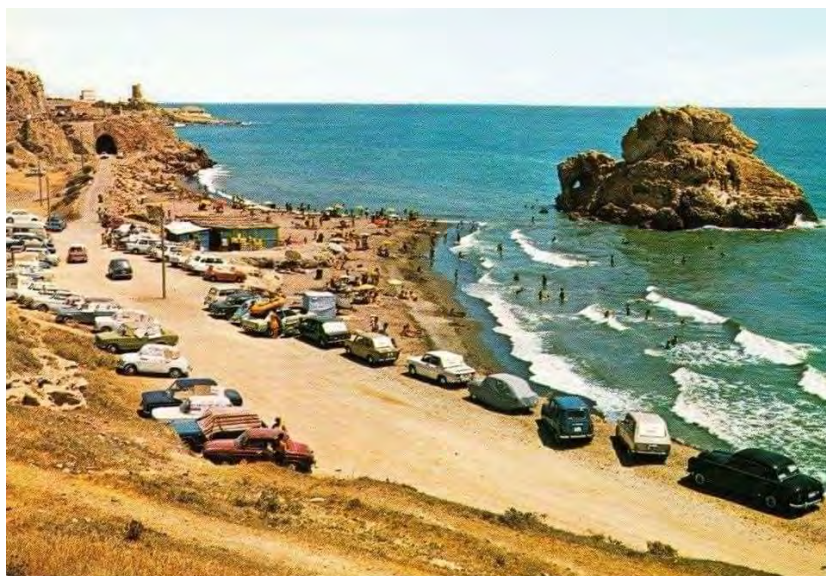


Finca "La Platera"

El límite interior del DPMT es coincidente con la linde interior de la finca. Los terrenos engloban los terrenos de la zona del Peñón del Cuervo que fueron modificados mediante la ejecución del proyecto de "Recuperación ambiental del entorno del Peñón del Cuervo" ya que esta zona estaba muy degradada por la existencia en su momento de infraestructuras del ferrocarril Málaga-Vélez-Málaga y la carretera N-340 y, tras el desmantelamiento de las vías y el nuevo trazado de dicha carretera, quedó la plataforma de la vía del tren, que se usó de vial de acceso a la playa del Peñón del Cuervo, como puede apreciarse en siguientes imágenes:



Fotografía aérea vertical del año 1977



Peñón del Cuervo, años 70

En esta “recuperación ambiental” se introdujeron diversas plantaciones, mobiliario, senderos, etc. Y se eliminó la antigua carretera, así como la plataforma de la vía del tren, quedando como se aprecia en las siguientes fotografías:



Fotografía aérea de 2017



Fotografía sobre el terreno de 2021.

Respecto a los terrenos que quedan delimitados por la ribera del mar, entre los vértices M-16 y M-18 (R-86 a R-89) se incluye la playa de arena formada tras la construcción del puerto del Candado por lo que es aplicable el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas; entre los vértices M-18 y M-28 (R-89 a R-126), la ribera del mar se encuentra en el límite hasta donde se considera que llega el agua del mar durante los mayores temporales por lo que cumplen con lo que se establece en el artículo 3.1.a) de la Ley 22/88, de Costas y su reglamento modificado por el RD 668/2022, como terrenos pertenecientes a la ribera del mar. Esta zona se caracteriza por ser una costa regresiva en la que ha sido necesario reforzar la defensa de los terrenos por los derrumbes existentes por la acción del mar cuando impactan las olas sobre ellos, y su consecuencia en la seguridad del espacio público.



Restos de sal. Indicio del alcance del oleaje durante los temporales



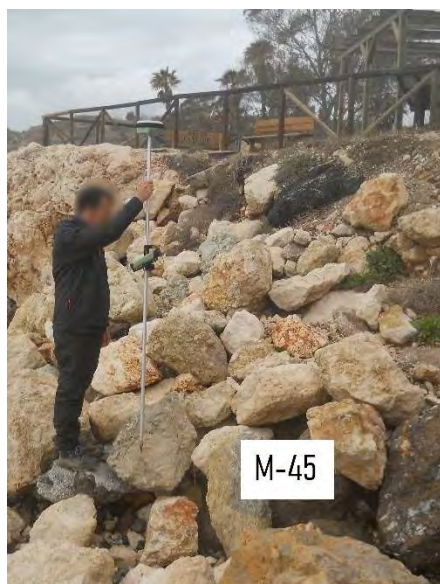
Zona de erosión de la costa por efecto del oleaje / Escollera de defensa

Entre los vértices M-28 y M-43 (R-126 a R-133), los terrenos incluidos en la delimitación de la ribera del mar en esta zona, se corresponden con aquellos que están en consonancia con el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas de 1988; incluye la playa del Peñón del Cuervo hasta donde existen depósitos de arena según está conformada la costa actualmente.



Playa del Peñón del Cuervo.

Entre los vértices M-44 y M-45 (R-134 a R-135A), los terrenos se caracterizan por ser una zona de costa rocosa baja reforzada con escollera en la que la ribera de mar se ubica en la zona interior hasta donde alcanza el agua del mar en virtud del artículo 3.1.a) de la Ley de 22/88, de Costas.



Zona de costa entre los vértices M-44 y M-45

Entre los vértices M-45 y M-50 el litoral formó un promontorio rocoso que se introduce en el mar que la acción humana ha ido modificando desde su configuración natural original hasta la actual donde tanto el trazado del antiguo ferrocarril, el de la antigua carretera como el de la actual N-340 han condicionado esta zona de la costa de Málaga.

La ribera del mar está compuesta, al principio del sector, por la zona rocosa baja que forma la punta del promontorio antes mencionado. A partir del vértice M-48, los rellenos para formar la plataforma del antiguo ferrocarril Málaga-Vélez-Málaga son los que están en contacto con el mar teniendo una defensa, fabricada en piedra, para evitar en lo posible su deterioro por la acción del mar. En las siguientes fotografías puede observarse la evolución física de la zona y la modificación de la zona más costera tras el desdoblamiento de la carretera N-340.



Fotografía aérea 1977



fotografía aérea 2017



Aspecto de la zona de costa rocosa baja



Rellenos del antiguo ferrocarril. Aspectos actual y estado de la zona en tiempos de la construcción del ferrocarril en 1907 (antigua fotografía coloreada).

Los terrenos incluidos en el dominio público marítimo-terrestre son aquellos alcanzados por el agua del mar debido al oleaje durante los temporales como se establece en el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas de 1988, y los criterios establecidos en el Reglamento General de Costas de 2014, modificado por el Real Decreto 668/2022, para la determinación de la zona marítimo terrestre.

Entre los vértices M-50 a M-56 se sitúa la playa de la Fábrica de Cemento (también conocida como playa de la Cueva), al oeste de la punta Palomas, de unos 200 metros de longitud y limitada al

interior por la carretera N-340 y la fábrica de cemento.

La morfología de esta zona no ha cambiado con respecto a la que existía a la entrada en vigor de la Ley de Costas de 1988, ya que en esta fecha ya se había construido el desdoblamiento y nuevo trazado de la carretera N-340, que es la afección morfológica más importante que se ha producido en esta zona en los últimos años.

La playa propiamente dicha está limitada al interior por el muro que sustenta y nivela la carretera desdoblada N-340, por lo que las arenas no pueden extenderse hacia el interior por la acción del viento marino siendo este muro el límite del dominio público marítimo-terrestre. Por el este, la playa limita con la barriada de La Araña encontrándose la arena hasta la zona rocosa que forma la punta de las Palomas y el antiguo edificio ubicado en el borde de la playa; por ello en virtud del artículo 3.1.b) de la Ley de Costas se incluyen estos terrenos como dominio público marítimo-terrestre.



Playa de la Fábrica de Cemento o Playa de la Cueva.

Entre los vértices M-56 a M-61, la costa está orientada a poniente. Se trata de una zona de costa rocosa baja expuesta al fuerte oleaje de poniente durante los temporales procedentes de esta dirección y que dificulta el crecimiento de vegetación, ya no solo por la falta de suelo fértil, sino por la acción de la salinidad ya que el viento marino arrastra el spray debido al oleaje hacia la costa, mojando el suelo e impidiendo el éxito de la germinación de la semilla que pudieran haber llegado, sirviendo como indicador (aunque no como prueba) del alcance del oleaje. Este indicativo del alcance del agua además de la presencia de costras salinas en la zona, se ajusta a la delimitación del DPMT establecida hasta la fecha en virtud del artículo 3.1.a) de la Ley de Costas, y que se puede consultar en los planos de deslinde (Documento nº 2).



Entre los vértices M-61 y M-61D se incluyen los terrenos pertenecientes a la parcela de la Torre de las Palomas, perteneciente al patrimonio del Estado afecto al dominio público marítimo-terrestre. Esta torre vigía se calcula que data del siglo XVI considerada como un monumento histórico y declarado Bien de Interés Cultural en 1985 por lo que, en aplicación del artículo 4.9 de la Ley 22/88, de Costas, se incluyen sus terrenos en el dominio público marítimo-terrestre.



Torres de las Palomas en 1956. Autor Simeón Giménez. Archivo Temborry. (extraída de <https://n-340.org/patrimonio/items-patrimoniales/malaga/malaga/secuencia-de-el-cuervo/torre-de-las-palomas/>). Y Torre de las Palomas en 2021.

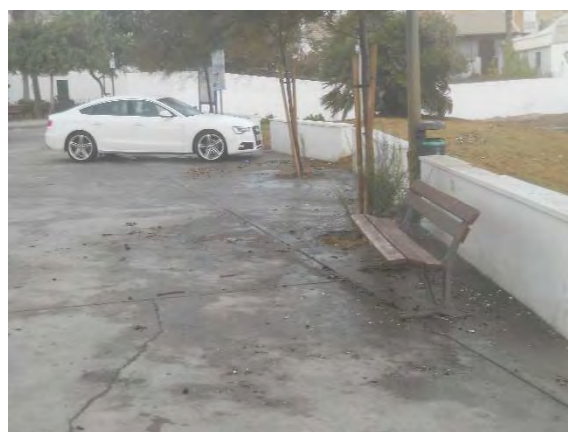
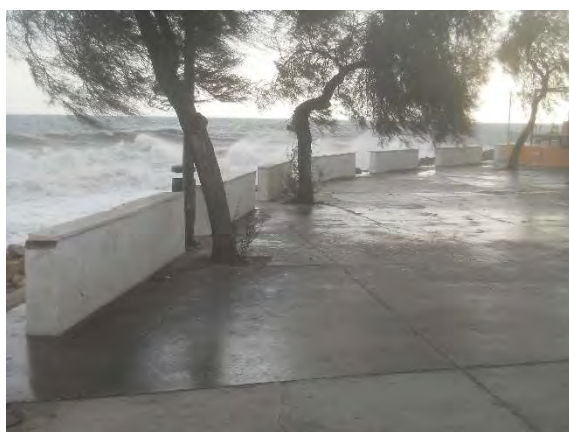
La ribera del mar se sitúa en el límite interior hasta el que alcanza el oleaje durante los temporales (según los criterios definidos en el artículo 4 del Reglamento General de Costas de 2014 modificado por el RD 668/2022), entre los vértices de ribera del mar R-136 y R-137 (art. 3.1.a)), así como por el depósito de materiales sueltos de procedencia marina existentes entre los vértices de ribera de mar R-137 y R-138 (art. 3.1.b)).

Entre los vértices M-61D y M-63 la configuración de la costa mantiene la misma morfología que la anterior, existiendo un depósito de materiales sueltos en la zona que nos ocupa por la dinámica litoral y el efecto del viento marino que transporta las arenas desde la playa de la Fábrica de Cemento y desde la playa de la Araña (vientos de procedencia Poniente y Levante respectivamente), acumulándose una fina capa de materiales sueltos en esta zona, por lo que, en virtud del artículo 3.1.b) de la Ley de Costas estos terrenos pertenecen al dominio público marítimo-terrestre.

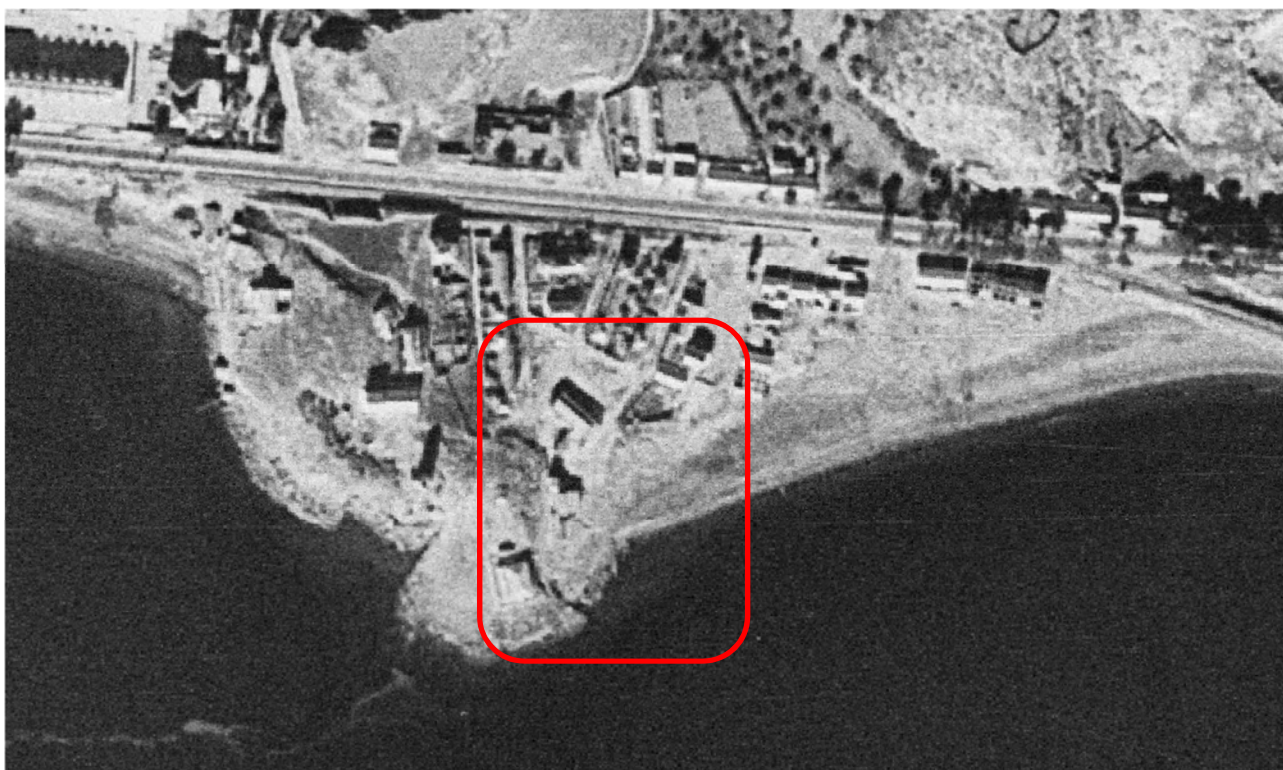
Entre los vértices M-63 y M-68 existen varias viviendas y una plazoleta que se encuentran sobre los terrenos por los que se extendían, sin discontinuidad, los depósitos arenosos de la playa de la Araña, aun sobre el lecho rocoso de la punta de las Palomas. Esto puede observarse en la fotografía aérea de junio de 1946 siguiente (Vuelo fotogramétrico realizado en los años 1945-46 por el Army Map Service de EEUU. Vuelo Americano Serie A):



Actualmente no se aprecian dichos depósitos de arena debido a la antropización de la zona con la construcción de edificios, pavimentación y asfaltado de calles y plaza, etc. aunque el viento marino arrastra arena desde las playas colindantes hasta las zonas pavimentadas. Por lo que la ribera del mar se ubica en el límite hasta el que alcanza el oleaje durante los mayores temporales conocidos en virtud del artículo 3.1.a) de la Ley de Costas. En el punto 3 de este anejo se ha calculado la cota de inundación según los criterios técnicos especificados en el Reglamento General de Costas de 2014, modificado por el RD 668/2022, no encontrándose que el oleaje, a fecha de redacción de este estudio, alcance más al interior de la ribera de mar delimitada en los planos de deslinde (documento nº 2), situada en la fachada de las edificaciones. Las fotografías muestran el agua del mar alcanzando la plazoleta durante el temporal de levante de noviembre de 2021, siendo este el 3º temporal en intensidad desde que se tienen registros; la delimitación de la ribera del mar se ubica allá donde alcanza el mayor temporal conocido desde que se tienen registros, tal como indica el artículo 4 del RGC.



El límite interior del dominio público marítimo terrestre se sitúa coincidente con la concesión administrativa otorgada a D. José Lavaría del 13 de octubre de 1953 para la construcción de una granja de patos. En la siguiente fotografía aérea (7 enero 1957) correspondiente al vuelo fotogramétrico realizado en los años 1956-57 por el Army Map Service de EEUU (Vuelo americano serie B), se puede apreciar, comparándola con la anterior de 1946, el crecimiento en 10 años de las construcciones en los terrenos de la concesión para la instalación de una granja de patos.



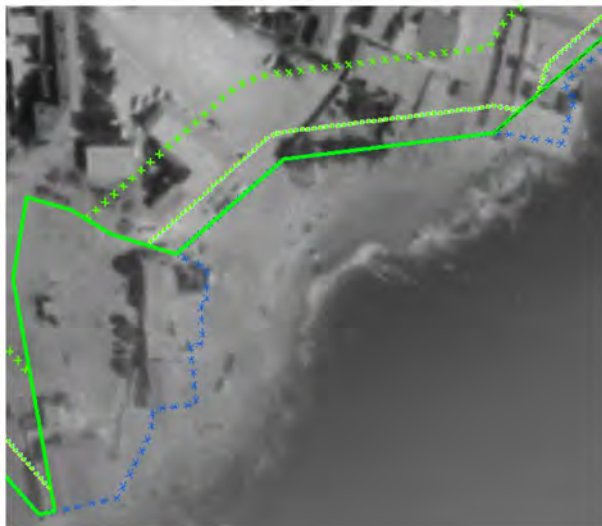
Actualmente se encuentran en esta zona varias viviendas, como se puede apreciar en la siguiente fotografía aérea (18 julio 2019) correspondiente al vuelo fotogramétrico del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) del año 2019, así como la regresión de la arena de la playa de la araña, reduciéndose ostensiblemente su anchura desde 1957:



Por todo lo expuesto, el tramo de costa entre los vértices M-63 y M-68 ha perdido sus características de naturales, siendo dominio público según lo establecido en el artículo 4.5 de la Ley de Costas de 1988 y, aunque los terrenos se han desnaturalizado por la acción urbanizadora, la severidad de ésta, así como su ubicación sobre parte de la antigua playa su proximidad a la orilla del mar además de

la relativa facilidad para su restitución a su estado natural, se considera que estos terrenos siguen siendo necesarios para el uso del dominio público marítimo-terrestre y, sobre todo, para su protección.

Entre los vértices M-68 y M-70 se incluyen los terrenos que forman la parte occidental de la playa de la Araña y la zona antropizada de la plazoleta sobre la que se depositan arenas procedentes de dicha playa debido al viento marino, principalmente el procedente de Levante, y que ya eran playa antes de la antropización, es por ello que forman parte del demanio en virtud del artículo 3.1.b) de la Ley 22/88, de Costas.



Fotografía año 1977



Fotografía año 2019

Entre los vértices M-70 y M-72 los terrenos forman parte de la parte central de la playa de la Araña y las edificaciones construidas en la parte oriental de la barriada de la Araña lindantes con la carretera N-340 (autovía Ma-24 en esta zona). Entre los vértices M-70 y M-71 el dominio público marítimo-terrestre es coincidente con la zona marítimo terrestre aprobada por O.M. de 5 de junio de 1959. Entre los vértices M-71 y M-72 el DPMT es coincidente con la zona marítimo terrestre aprobada por O.M. de 6 de julio de 1959. Al exterior de las edificaciones se encuentra la arena de la playa de la Araña por lo que la ribera de mar, no coincidente con el DPMT, se sitúa en el límite interior de dicha playa, es decir, hasta donde alcanza la arena en su movimiento por la acción del viento marino (R-151 a R-161) por lo que cumple esta delimitación con lo establecido en el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas de 1988. Subsidiariamente el alcance del oleaje durante los temporales en algunas de estas zonas (las más expuestas) es también una justificación para la delimitación de la ribera del mar, en este caso en virtud del artículo 3.1 a) de la Ley de Costas, como se puede observar en las siguientes fotografías:



Ortofotografía de 2019 con líneas de deslinde.



Fotografías de campo realizadas en 2021. Arena de la playa de la Araña.



Fotografías realizadas en abril de 2022, tras el 2º temporal más intenso desde que se tienen registros de boyas o satélites.

Los terrenos que se incluyen como DPMT y, como se ha dicho, coincidentes con la ZMT, cumplen con lo establecido en el artículo 4.5 de la Ley de Costas de 1988, es decir, terrenos que ya habían sido deslindados como dominio público y que han perdido sus características naturales, en este caso por la edificación de viviendas en zona marítimo terrestre. Al igual que ocurre en los terrenos sitos a poniente de este sector, estas edificaciones han supuesto una desnaturalización de los terrenos. En este caso fueron construidas dichas viviendas sobre la arena de la playa, pero dicha antropización no se considera irreversible toda vez que en caso de que no estuviesen dichas construcciones se recuperaría el demanio original suponiendo previsiblemente el incremento de la anchura de la playa existente de forma natural con la simple dinámica litoral al eliminar las barreras que suponen los edificios, por lo que se considera que dichos terrenos siguen siendo necesarios para la protección y el uso del DPMT por parte de toda la ciudadanía y, en su momento, recuperación de su anchura original o su extensión hacia el interior debido al previsible avance hacia el interior del agua del mar por los efectos del cambio climático y la consecuente subida del nivel del mar (y, por tanto, su avance hacia el interior) y la severidad de los temporales marítimos.

Entre los vértices M-72 y M-75 los terrenos han perdido sus características naturales debido, en primer lugar, a la construcción en su momento del ferrocarril Málaga-Vélez-Málaga y que en esta zona transcurría por encima de la arena de la playa, incluso llegando al borde del agua del mar cuando el basculamiento de la playa hacía que ésta desapareciera de la parte de levante. Posteriormente por el desdoblamiento y nuevo trazado de la carretera N-340 (actual Ma-24 en este tramo) ampliando su plataforma y la necesidad de la defensa de la misma frente al oleaje con la construcción de una escollera de defensa del talud de la plataforma. Estas afecciones y su evolución se pueden apreciar en las siguientes fotografías aéreas:



Ortofotografía del vuelo de 7 enero 1957. Vuelo Americano Serie B.



Ortofotografía PNOA de 2019.

El límite interior del dominio público marítimo-terrestre es coincidente con la zona marítimo terrestre aprobada por O.M. de 19 de diciembre de 1966, por lo que, vistas las características del terreno, la delimitación se ajusta a lo establecido en el artículo 4.5 de la Ley de Costas.

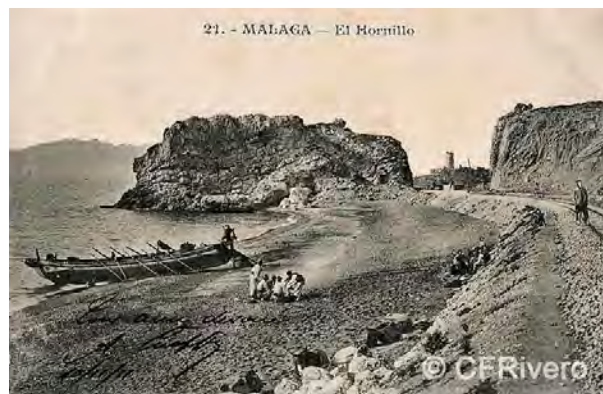
La ribera del mar no es coincidente con el DPMT por la antropización de la zona ubicándose su límite interior hasta el límite de las arenas que constituyen la playa de la Araña (M-72 a aprox. M-73: R-161 a R-166) y hasta el alcance del agua del mar en el resto del sector (R-166 a R-170) ambas situaciones justificadas por el artículo 3.1.b) y 3.1.a) respectivamente.

Entre los vértices M-75 a M-79 se incluyen terrenos incorporados al dominio público marítimo-terrestre mediante mutación demanial entre la Confederación Hidrográfica del Sur y la Demarcación de Costas mediante acta de 3 de diciembre de 1990. En virtud del artículo 4.8 de la Ley 22/88 de Costas estos terrenos forman parte del DPMT. Estos terrenos engloban el peñón del Hornillo y terrenos a su interior que forman parte de la calzada de la carretera N-340 (Ma-24). Se trata de un abrupto promontorio rocoso de cierta altura sobre el que el mar embate con fuerza durante los temporales. La carretera se encuentra defendida por una escollera longitudinal que defiende del mar el talud de la autovía. La ribera del mar, por tanto, se ubica hasta donde alcanza el mar durante estos temporales (R-170 a R-179).



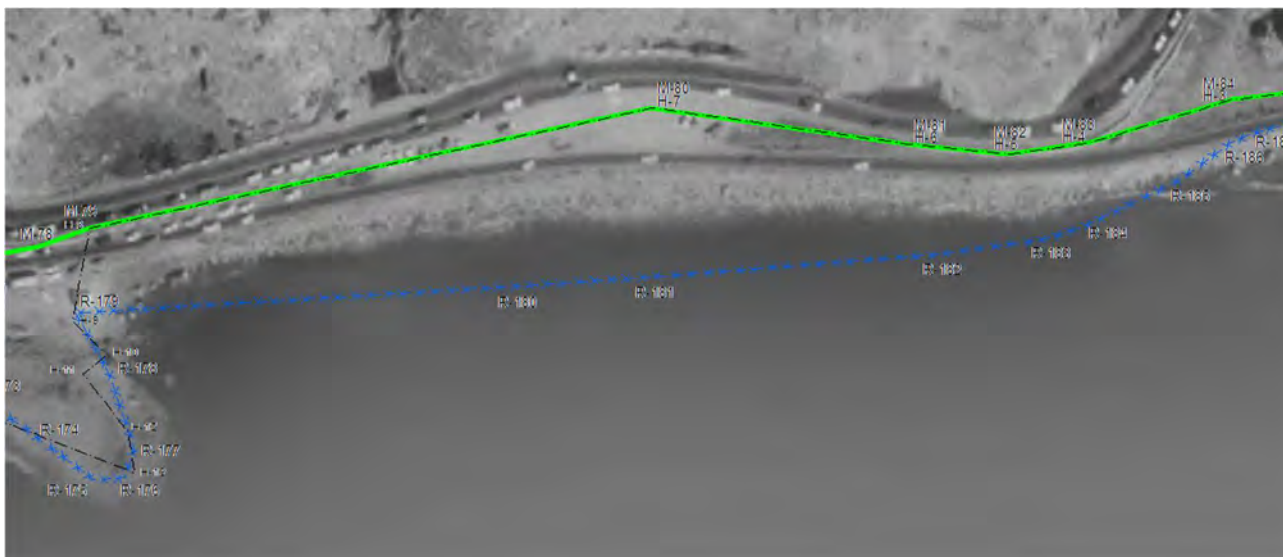
Zona del peñón del Hornillo

Entre los vértices M-79 y M-85 los terrenos costeros han perdido sus características naturales por el desdoblamiento de la carretera N-340 (Ma-24) y anteriormente con la construcción del ferrocarril Málaga-Vélez-Málaga.



Zona de "El Hornillo", vías del tren sobre la que se construyó la N-340 y se desdobló posteriormente. Tarjeta postal de Andrés Fabert años 1910-1914.

En ambos casos, dada la estrechez del terreno por la orografía abrupta de esta zona, se produjo un relleno del terreno y un avance el mar para la construcción de estas infraestructuras, primero para el tren mencionado cuya plataforma tuvo que construirse ocupando la playa que existía en el entrante que hacía la costa en este punto:



Fotografía aérea de 1977 donde se aprecia la antigua plataforma del tren y su escollera de defensa.

Posteriormente el desdoblamiento de la N-340 y la necesidad de ampliar en anchura dicha vía llevó al relleno y extensión hacia el mar de una superficie mayor:



Fotografía aérea de 2019 donde se aprecia la plataforma de la N-340 (Ma-24) y su escollera de defensa.

El deslinde en esta zona es coincidente con el aprobado por O.M. de 19 de diciembre de 1966, por lo que se incluyen estos terrenos en el dominio público marítimo-terrestre en virtud del artículo 4.5 de la Ley de Costas.

La ribera del mar, dadas las características actuales que tiene la costa en esta zona, se ubica en la parte alta de la escollera de defensa de la N-340 por ser hasta donde llega el agua del mar durante los temporales; no siendo, por tanto, coincidente con el límite interior del DPMT y es de aplicación en este tramo el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas para la delimitación de dicha ribera del mar. Los vértices M-84 a M-85 la ribera del mar se ubica en el interior de la playa del Hornillo por la presencia de arena de dicha playa (artículo 3.1.b).

Entre los vértices M-85 y M-87 los terrenos comprenden la desembocadura del río Totalán (límite del término municipal) cuyas características se ajustan a lo expresado en el artículo 3.1b) de la Ley de Costas ya que son terrenos arenosos, con gravas y cantos rodados y, mientras no existan lluvias que abran la desembocadura de la cuenca fluvial al mar por la escorrentía superficial, los arenales forman una continuidad que constituyen la playa del Hornillo. En el punto 3 de este estudio se ha

desarrollado el cálculo de la extensión de la inundación por los mayores temporales conocidos, no extendiéndose ésta más al interior de la superficie ocupada por la arena de la playa ni aquella que ocupa el cauce canalizado en la desembocadura del río Totalán.



Playa del Hornillo y desembocadura del río Totalán.

4.3. Cambio climático: consecuencias económicas, sociales y protección de la costa y del dominio público marítimo-terrestre.

Cabe recordar llegados a este punto, en relación a la morfología actual de la costa en la zona del deslinde de la costa del término municipal de Málaga que nos ocupa, la presencia de la alta presión antrópica que existe con diferentes tipos de infraestructuras y la presión urbanística por el alto crecimiento que está experimentando la ciudad de Málaga, así como el deber de protección del medio ambiente natural que emana de la Constitución Española de 1978 (artículo 45), lo 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".

Inciendiando en esta cuestión las infraestructuras lineales paralelas a la costa suponen, de hecho, una barrera ante la acción de los temporales que afectan de manera natural prácticamente toda la zona descrita pero que, dado el incremento en la severidad y frecuencia de los temporales, podrán verse fácilmente superadas por el alcance del agua del mar en los temporales futuros afectando a las mismas y a los terrenos al interior.

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 estas infraestructuras artificiales, aunque actualmente podrían ser consideradas como barreras defensivas

frente a los temporales (defensa de las propias infraestructuras, no de la playa o de la costa en general), se ha de tener en consideración el escenario 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, por lo que es muy previsible que los terrenos ocupados actualmente por los senderos peatonales, paseos marítimos, viales y otras infraestructuras sean, en un futuro, alcanzados por el oleaje y en alta probabilidad “reintegrados” al Dominio Geomorfológico Marino, ocasionando destrucción de viales e inundaciones en las zonas ubicadas al interior del DPMT debido a que dicha las infraestructuras lineales, una vez superadas por el oleaje, éste continuará su avance y además podrá crear en algunas zonas bolsas de agua ya que la barrera pavimentada y sus taludes para la nivelación de las plataformas impedirán la evacuación adecuada del agua hacia el mar por su dimensionamiento, siempre y cuando no haya sido destruida por la acción del oleaje sobre ella. Todo ello implicará unas mayores pérdidas económicas, así como un incremento en las posibles indemnizaciones y/o ayudas de la Administración al ámbito privado afectado. Adicionalmente, se tendrá que tener en consideración las posteriores “reclamaciones” a las Administraciones por parte de la ciudadanía, y de los agentes económicos afectados, que ya se están produciendo, de una inversión económica mayor 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, creación de escolleras, o la reparación de las infraestructuras existentes, como pueden ser los paseos peatonales, 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.

Ante este escenario que se presenta en los próximos años, el mantenimiento íntegro del dominio público marítimo-terrestre 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 que afectan a las zonas litorales y cuyos intereses económicos se contraponen a la conservación del medio ambiente.

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.

Así mismo, las consecuencias del cambio climático en el incremento de la severidad de los temporales marinos y los consecuentes daños económicos que se producen en las infraestructuras litorales hace ineludible comenzar a desplazar tanto las infraestructuras públicas como las privadas hacia el interior para evitar unas mayores pérdidas económicas y una destrucción de la zona litoral aun no demasiado afectada por la inclemente antropización de la zona, como es la playa sumergida y los fondos marinos costeros que se podrían ver muy afectados con la construcción de obras de defensa marítimas y otras murallas defensivas y que además cambiarán el régimen de corrientes en la costa, por el único hecho de mantener las playas de arena allá donde de manera natural no existirían y que el medio natural ya no puede sostener.