

**ANEJO 3: ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DEL MEDIO
AL PROYECTO CONSERVADO**

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1
1.1.	Estudio para la determinación del alcance del nivel máximo que asciende el mar durante los mayores temporales conocidos.....	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 MAYORES TEMPORALES CONOCIDOS (<i>Criterio: modificación del Reglamento General de Costas. Real Decreto 668/2022</i>)	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 existen registros.	10
3.3.	Cálculo de la cota de inundación.	13
3.4.	Cálculo del desplazamiento de la ola por la playa seca para cada zona.	31
3.5.	Discusión de los resultados.....	38
3.6.	Conclusiones	48
4.	DETERMINACIÓN Y CRITERIOS JUSTIFICATIVOS DEL DESLINDE DEL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE	49
4.1.	Objetivo del estudio	49
4.2.	Determinación y criterios justificativos del deslinde del dominio público marítimo-terrestre.....	49
4.2.1.	Criterios justificativos del deslinde del DPMT en el tramo en estudio.	49
4.2.2.	Determinación del deslinde del DPMT en el tramo en estudio	51

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo de esta memoria es completar los estudios realizados para la determinación del deslinde del DPMT del tramo comprendido entre la punta de la Torrecilla y el extremo oriental de la playa de Burriana, del término municipal de Nerja, integrados en el proyecto de deslinde fechado en septiembre de 2007, aprobado mediante O.M. de 1-12-2011 y anulado por sentencia de 19-7-2013 declarándose caducado el expediente de deslinde aprobado el 1-12-2011 por las OO.MM. de 24 de abril de 2014, 4 de agosto de 2014, 13 de marzo de 2015 y 28 de abril de 2015. Se ordenó a la Demarcación de Costas de Andalucía-Mediterráneo iniciar de oficio un nuevo deslinde conservando los actos y trámites efectuados hasta la remisión del proyecto 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 Costa.

En 2014 se publica el Reglamento General de Costa 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 agosto de 2007 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

Tras esta publicación, 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 1989 se utilizaba para la delimitación del DPMT el alcance máximo del oleaje histórico, mientras que con el Reglamento de 2014 este criterio se modifica para reducir dicho alcance y delimitar el DPMT más al exterior porque se especifica que se utilice el criterio del punto en el que el mar alcanza cinco veces en cinco años, no el máximo alcance.

Debido a este cambio en el criterio en la delimitación del DPMT ha de hacerse un nuevo estudio de la cota que alcanza el mar durante los temporales siguiendo las directrices del Reglamento General de Costas de 2014 para comprobar si se modifica de algún modo la línea de DPMT provisional trazada en el proyecto conservado de 2007.

En mayo 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 modificaba 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. Este criterio para la determinación de la zona marítimo terrestre y de la playa 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.

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 la 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 mayo de 2021.

1.1. Estudio para la determinación del alcance del nivel máximo que asciende el mar durante los mayores temporales conocidos.

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 del punto SIMAR 2038080 ya que es el punto más próximo a la zona objeto del estudio de cota máxima del nivel del mar.

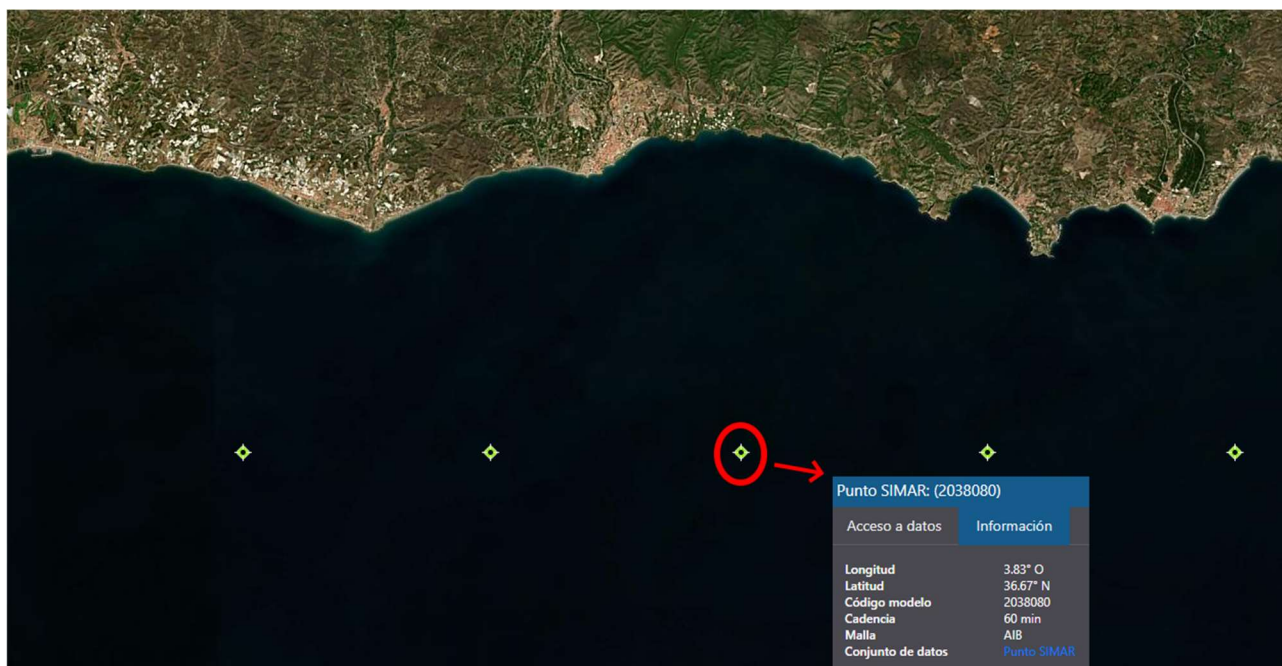
- Se puede establecer que la cota corregida que alcanzan los máximos temporales conocidos en playas abiertas, y sin estructuras de limitación que no hayan sido tenidas en cuenta para el trazado de las curvas de nivel, puede situarse en +2,93 metros sobre el N.M.M.A. según los cálculos teóricos realizados mediante la formulación de Nielsen-Hanslow y factores de corrección de Van Der Meer y Jansen.
- 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 (declarado caducado por OO.MM. de 24 de abril de 2014, 4 de agosto de 2014, 13 de marzo de 2015 y 28 de abril de 2015) del deslinde del tramo Nerja que nos ocupa (redactado en septiembre de 2007), 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 ellos reseñados con los datos recepcionados hasta la fecha de realización del presente proyecto de deslinde (año 2022) para caracterizar de la mejor manera la dinámica del litoral de este municipio.

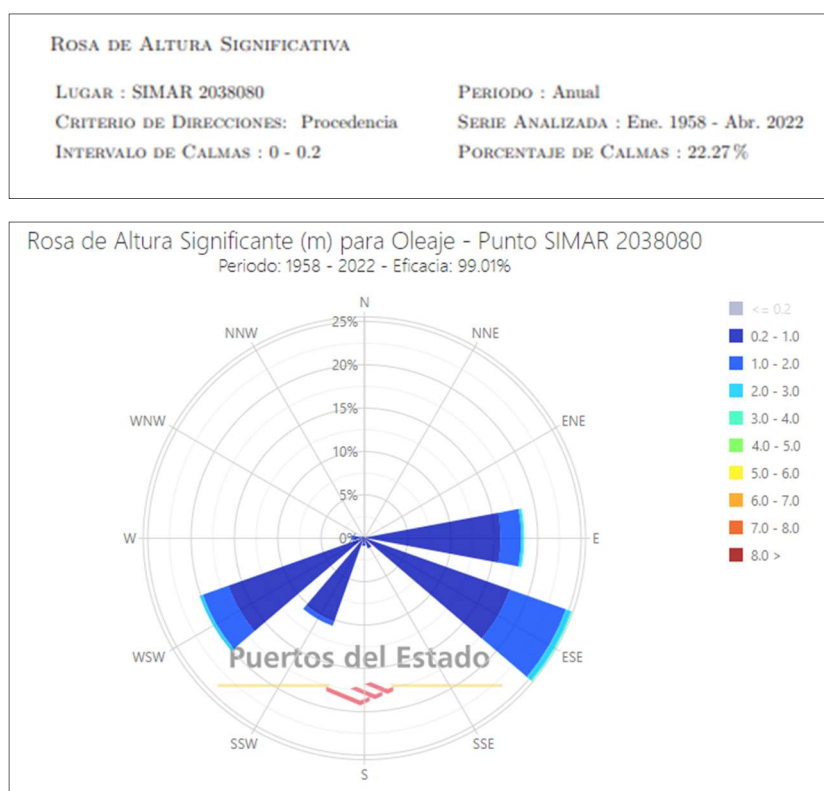
2.1. Descripción General del Clima Marino

La costa del término municipal del Nerja se emplaza en la zona oriental 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 cercana al punto de estudio es la numerada como 2038080 que se utilizará para el estudio del tramo objeto de deslinde, 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 de la boya 2038080 de la Red SIMAR.

El régimen general de viento obtenidos de la información proporcionada por la boya, unido a su disposición geográfica provoca una presencia de oleaje bimodal prácticamente, procedentes del levante, dirección ESE y E, y de poniente, dirección WSW en menor medida, tal y como se puede observar en la rosa de oleaje obtenidas del punto SIMAR:



Rosa de Oleajes del punto SIMAR 2038080

La orientación de la costa en las diferentes zonas del litoral de Nerja que nos ocupa tienen orientación general SW-NE.

Debido a la alineación de la costa y la mayor presencia del oleaje procedente de levante hace que las playas tengan tendencia, en general, a un bajo transporte de sólidos y, por tanto, unas condiciones de equilibrio de las playas relativamente estable aunque con cierta tendencia al basculamiento. Los mayores episodios de erosión tienen lugar en los eventos de temporal con los oleajes más intensos 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. 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):

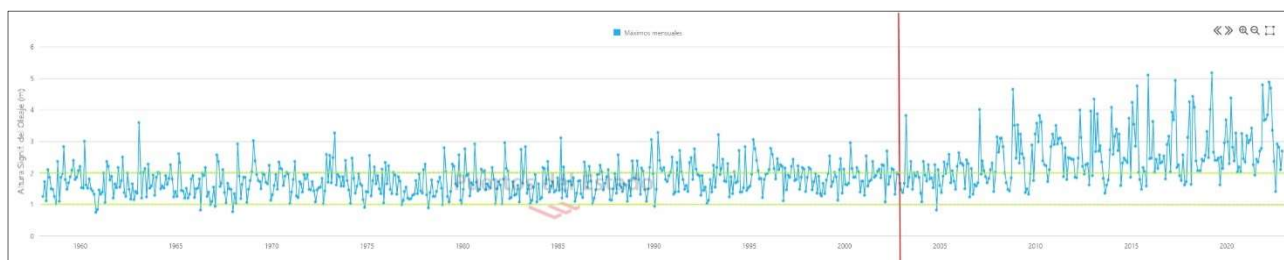


Gráfico de máximos mensuales desde 1958 hasta la actualidad. En verde las Hs de 1m y 2m para destacar el incremento en las últimas décadas de la severidad de los eventos de temporal en este punto.

En ella se representan la altura de ola significativa máxima mensual entre el 1 de enero de 1958 y el 12 de noviembre de 2022. Como se puede observar, en un intervalo de 49 años comprendido entre 1958 y 2007 no se producen ningún evento de más de 4 metros de altura de ola, mientras que en el intervalo de 15 años posterior (un tercio del tiempo del intervalo anterior) desde 2007 hasta 2022, se producen 18 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 como la reducción del aporte de materiales a través de ríos y arroyos debido a la construcción de presas y diques, así como la antropización de los antiguos depósitos de arena colindantes a las playas que impide el transporte y la compensación del volumen de arenas perdidas por el oleaje con el aporte desde estos lugares.

Además de lo dicho anteriormente sobre la dinámica del litoral en la costa de Nerja 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 los últimos 15 años respecto a los 49 años 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 para evitar las posibles pérdidas económicas y la pérdida de seguridad para los usuarios que puedan producirse en el futuro más o menos próximo.

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 playa porque la recuperación de las playas entre dos eventos severos será menor ya que no existe el intervalo de tiempo suficiente para que, por la dinámica natural del litoral, se produzca el aporte suficiente de arena desde el mar para la recuperación de la superficie perdida; estando, además, bloqueada la arena que podría aportarse desde la parte continental, como los antiguos depósitos de arena costeros, bajo las zonas urbanizadas y, en consecuencia, el impacto del oleaje en estas zonas urbanas 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 ambientales como las económicas y sociales que se irán produciendo. Se considera necesaria la realización de una estrategia para la conservación 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 que probables efectos del aumento del nivel del mar a consecuencia del cambio climático afecte a dichas infraestructuras en su ubicación actual y produzca daños económicos y sociales (y sus consecuentes afecciones al erario público en razón de posibles indemnizaciones, gastos extraordinarios por actuaciones de emergencia, 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:

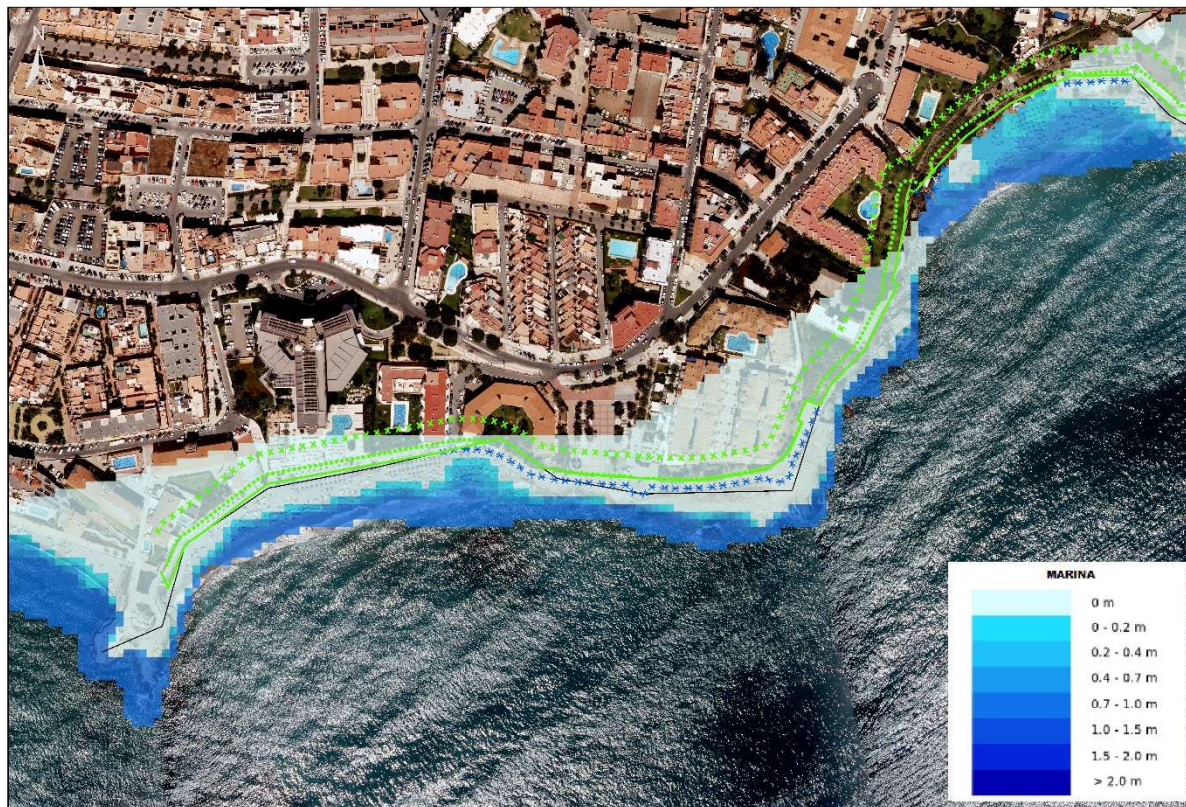
Artículo 45












































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.*

A continuación, se muestran las zonas costeras inundables por acción del mar en un escenario de probabilidad media de inundación (periodo de retorno de 100 años) elaborado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco de la Directiva 2007/60 de evaluación y gestión de riesgos de inundación y el Sistema Nacional de Cartografía de zonas inundables, actualizado a abril de 2018. Las zonas inundables se han calculado a partir de distintas hipótesis de oleaje y nivel de mar con modelos matemáticos y el MDT proveniente del PNOA-IGN. Con estos mapas de peligrosidad por inundación costera se pretende mostrar los escenarios que se contemplan a medio plazo para el tramo de deslinde que no ocupa, 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 y su revisión conforme se produzcan los cambios por inundación que se prevén.












































Ello mostrado como consecuencia de aumento de la incidencia de los eventos severos y el avance del mar hacia el interior, pero 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, 4 y 5 de la Ley 22/88, de Costas.

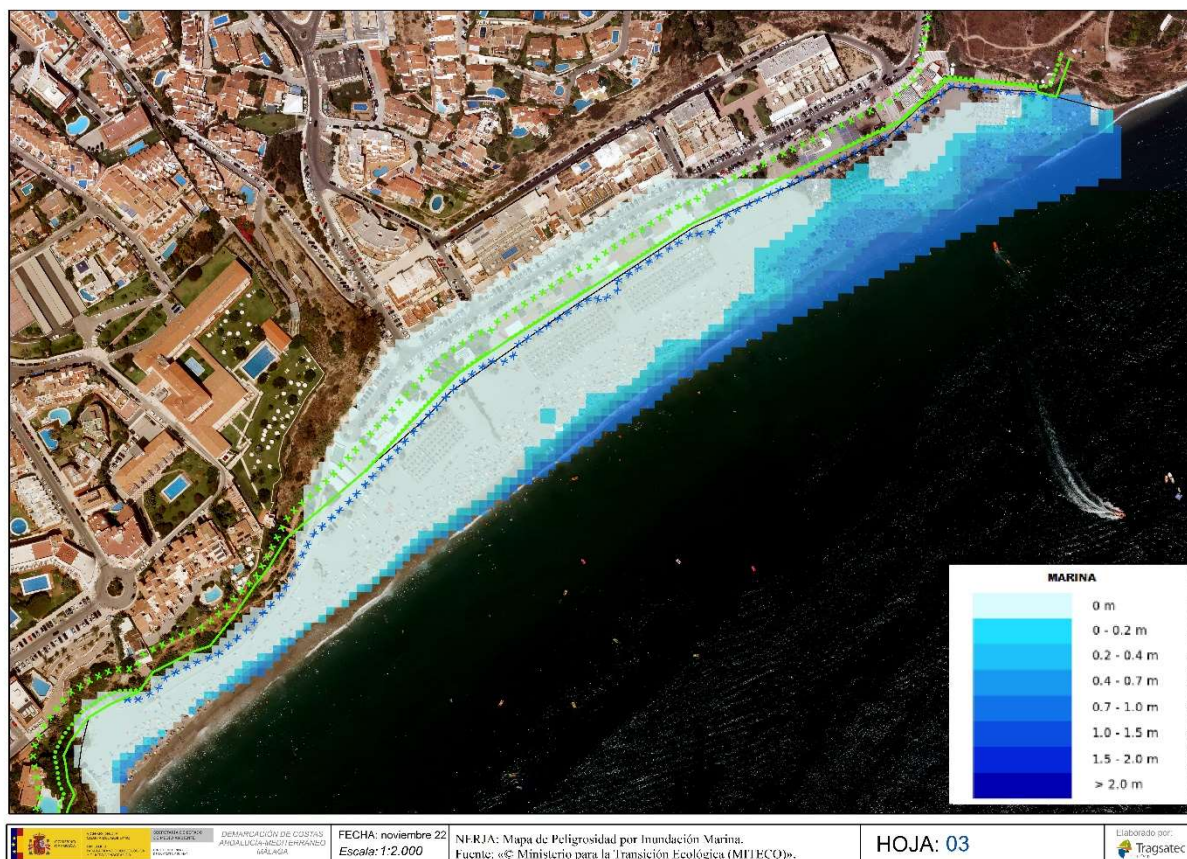
En las siguientes imágenes, a modo ilustrativo únicamente, se muestran las mencionadas zonas inundables y las líneas de deslinde definidas en el presente proyecto como previsión de su posible delimitación futura, así como de posible afección a las edificaciones y, por tanto, la necesidad de previsión al respecto en defensa de los daños económicos y sociales probables que podrán generarse a medio plazo.







3. ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ALCANCE DEL NIVEL MÁXIMO QUE ASCIENDE EL MAR DURANTE LOS MAYORES TEMPORALES CONOCIDOS (*Criterio: modificación del Reglamento General de Costas. Real Decreto 668/2022*)

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

El objeto 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. Según el Artículo 4 del Reglamento General de Costas aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, modificado por el Real Decreto 668/2022 de 1 de agosto cita literalmente:

«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:

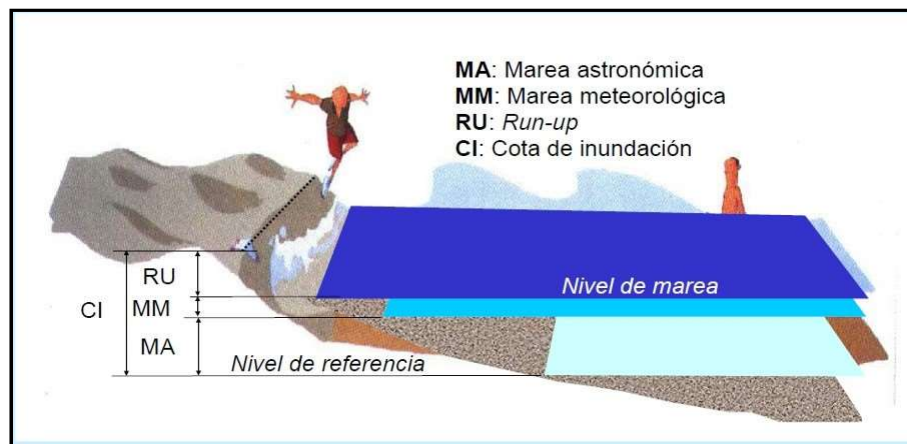
- Para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, se considerarán las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas y el oleaje desde que existan registros de boyas o satélites, o datos oceanográficos o meteorológicos. Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas o calculadas con esos datos.*
- 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.*
- 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.»

Según este artículo, por tanto, hay que delimitar y evaluar el alcance máximo alcanzando los temporales 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.

A este alcance máximo se le denomina en ingeniería de costas cota de inundación (C.I.), y es en realidad una cota vertical 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, totalmente determinista, está totalmente estudiado y es posible su evaluación y cálculo exacto en un momento dado u obtener el dato existente de marea en un momento temporal ya sucedido.

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

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

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. Es importante señalar que no tiene que producirse el alcance máximo de olas del mayor temporal en altura de ola que se produzca, puesto que existen componentes adicionales de marea astronómica y marea meteorológica que intervienen en el resultado. En cualquier caso, al considerar el alcance fijado en el mayor temporal conocido, se estima oportuno estudiar también los temporales producidos en torno a ese máximo valor más alto de altura de ola conocida, y evaluar el nivel del mar asociado debido a la marea astronómica y meteorológica, así como

- el periodo pico del oleaje.
- 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 existen registros.

Oleaje:

Tal y como indica el Reglamento General de Costas, modificado por el Real Decreto 668/2022, se utiliza para realizar los cálculos los registros de boyas existentes, siendo la Red SIMAR a través del punto 2038080 el más cercano a toda la extensión de la zona de estudio. Los registros históricos de oleaje de este punto se han obtenido de 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 desde 1958, a continuación se aportarán las mayores alturas de ola significantes encontradas en el periodo (entre enero de 1958 y noviembre 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 °
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111
3:00	11	10	2008	4,64	9,23	102
12:00	8	4	2015	4,75	10,15	108
18:00	20	4	2017	4,92	9,67	109
12:00	19	11	2021	4,78	9,1	110
10:00	18	3	2020	4,37	9,1	111
15:00	28	1	2018	4,24	8,27	104

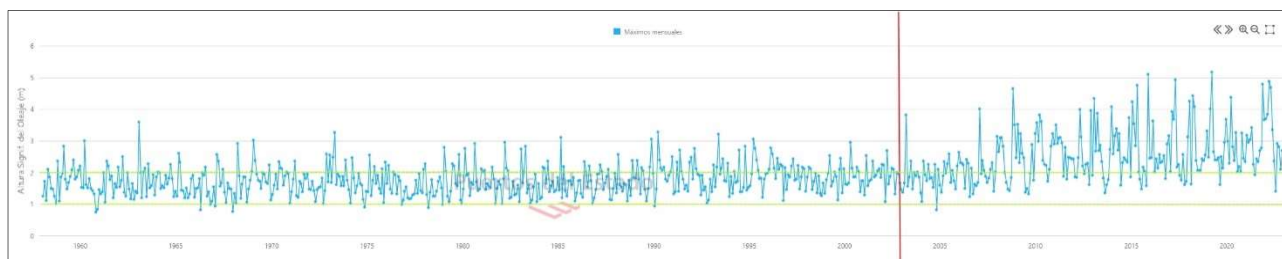
Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2038080. (www.puertos.es)

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 2038080

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 son 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 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:

Mareógrafo de Malaga 3

[Acceso a datos](#)[Información](#)[Ceros - Referencias](#)

Ubicación	Situado junto la la baliza roja en el Muelle 67 Transversal de poniente.	
Longitud	4.42° O	
Latitud	36.71° N	
Cadencia	1 Min	
Código	3546	
Inicio de medidas	1-7-1992	
Última medida	22-9-2022	
Tipo de sensor	Radar	
Modelo	Miros	
Comentarios	Datos de presión desde 26-11-2015	
Conjunto de datos	REDMAR	



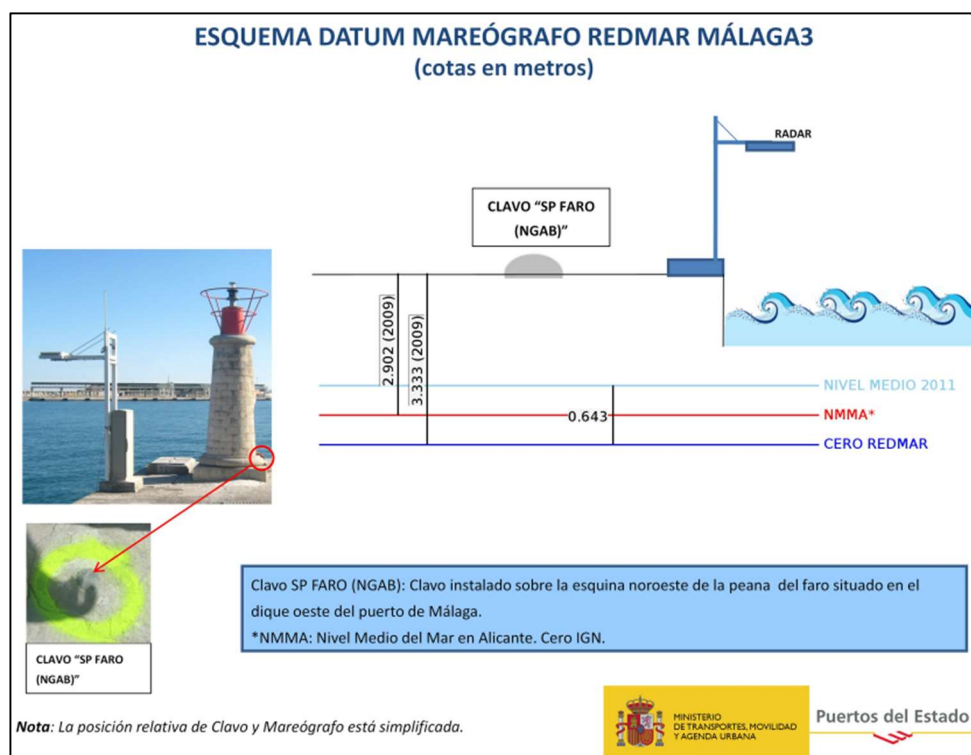
GOBIERNO DE ESPAÑA
Ministerio de Transportes, Movilidad
y Agenda Urbana



Puertos del Estado

[Cerrar](#)

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



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 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. Por tanto, 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}
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416
3:00	11	10	2008	4,64	9,23	102	112	1,120	0,689
12:00	8	4	2015	4,75	10,15	108	87,3	0,873	0,442
18:00	20	4	2017	4,92	9,67	109	92,7	0,927	0,496
12:00	19	11	2021	4,78	9,1	110	105,6	1,056	0,625
10:00	18	3	2020	4,37	9,1	111	76,2	0,762	0,331
15:00	28	1	2018	4,24	8,27	104	83,5	0,835	0,404

Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2038080.

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.

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:

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

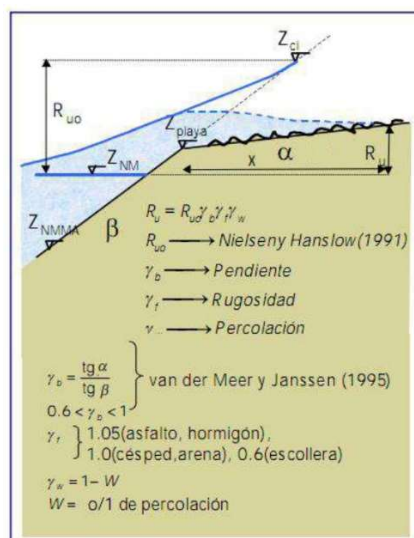
Donde:

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 las tablas siguientes se añade la columna 'L' con el resultado de la longitud de onda para cada evento de temporal descrito en la tabla anterior:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	SREDMAR (cm)	SREDMAR (m)	S _{NM}	L (m)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10
3:00	11	10	2008	4,64	9,23	102	112	1,120	0,689	132,90
12:00	8	4	2015	4,75	10,15	108	87,3	0,873	0,442	160,72
18:00	20	4	2017	4,92	9,67	109	92,7	0,927	0,496	145,87
12:00	19	11	2021	4,78	9,1	110	105,6	1,056	0,625	129,18
10:00	18	3	2020	4,37	9,1	111	76,2	0,762	0,331	129,18
15:00	28	1	2018	4,24	8,27	104	83,5	0,835	0,404	106,69

Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2038080.

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 6 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-7 y M-8.
- Zona 2: entre el vértice M-17 y M-18.
- Zona 3: entre el vértice M-35 y M-36.
- Zona 4: entre el vértice M-53 y M-54.
- Zona 5: entre el vértice M-85 y M-86.
- Zona 6: entre el vértice M-120 y M-121.

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

Zonas 1 y 2:



Zonas 3 y 4:



Zona 5:



Zona 6:



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)	6,00
distancia (m)	276
pendiente %	2,174

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)	32
pendiente %	9,922

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}
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 4,3$$

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 (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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23

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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33	2,93
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04	2,78
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,71
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23	2,64

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 término municipal de Nerja es el acontecido el 4 de abril de 2022 que alcanzó su mayor intensidad a las tres de la tarde con una cota de inundación de unos 2,93 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de abril de 2022 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.

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 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)	175
pendiente %	3,429

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)	19
pendiente %	26,316

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}
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 7,7$$

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 0,6, al tratarse de una zona de costa rocosa baja asimilable al coeficiente de rugosidad de una escollera artificial.

$$\gamma_f = 0,6$$

- Factor de percolación:

Como ya se ha dicho más arriba, este factor está relacionado con las características del terreno. Al tratarse de una zona rocosa se deduce que no existe percolación, por lo tanto tomará un valor de 1.

$$\gamma_w = 1$$

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

$$R_u = R_{u0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{u0} \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1$$

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:

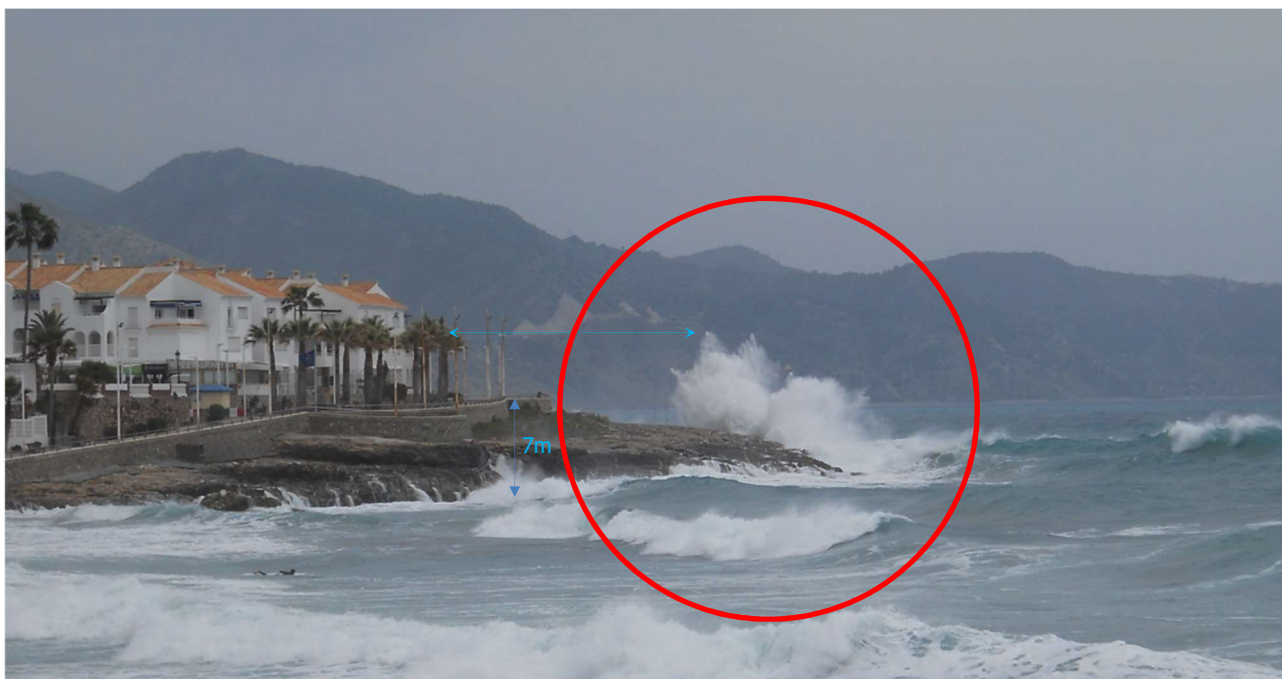
Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S _{REDMAR} (cm)	S _{REDMAR} (m)	S _{NM}	L (m)	R _{u0}	R _u	R _{u2%} (m)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	0,79	1,56
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	0,69	1,36
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	0,73	1,44
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	0,75	1,49

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 _{u0}	R _u	R _{u2%} (m)	S _{cl} (m)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	0,79	1,56	2,15
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	0,69	1,36	2,10
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	0,73	1,44	1,99
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	0,75	1,49	1,90

Vistos los resultados tras la aplicación de las fórmulas y factores correctores desarrollados anteriormente y, teniendo en cuenta que se trata de un sector de costa rocosa baja, se puede decir que el mayor temporal conocido que ha afectado a la costa término municipal de Nerja es el acontecido el 4 de abril de 2022 que alcanzó su mayor intensidad a las tres de la tarde con una cota

de inundación de unos 2,15 m.n.m.a. en esta zona; sin tener en consideración el alcance del agua del mar al proyectarse hacia arriba y hacia adelante tras su impacto contra las rocas. A modo de ejemplo de este efecto que no se evalúa en el cálculo de cota de inundación tenemos esta fotografía del año 2021 durante un temporal de intensidad media en esta zona:



Proyección del oleaje en la zona de rocas. Como referencia de cota, la plataforma del paseo marítimo en la parte alta (superada por la altura de la proyección) se encuentra a 7 msnm. Vease copa de las palmeras y la altura de las farolas respecto a la parte alta de la proyección.

Por lo tanto, este temporal de abril de 2022 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.

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)	266
pendiente %	2,256

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:

$$R_{u0}=0,04 \cdot (H_s \cdot L)^{1/2}$$

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	4,00
distancia (m)	46
pendiente %	8,696

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_{u0}) los 4 eventos cuya altura de ola

significante 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}
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 3,9$$

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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23

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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33	2,93
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04	2,78
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,71
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23	2,64

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 término municipal de Nerja es el acontecido el 4 de abril de 2022 que alcanzó su mayor intensidad a las tres de la tarde con una cota de inundación de unos 2,93 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de abril de 2022 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.

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)	6,00
distancia (m)	243
pendiente %	2,469

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)	36
pendiente %	13,889

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 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}
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 5,6$$

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:

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

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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23

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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33	2,93
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04	2,78
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,71
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23	2,64

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 término municipal de Nerja es el acontecido el 4 de abril de 2022 que alcanzó su mayor intensidad a las tres de la tarde con una cota de inundación de unos 2,93 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de abril de 2022 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.

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)	6,00
distancia (m)	246
pendiente %	2,439

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)	29
pendiente %	13,793

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}
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan} = 5,7$$

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:

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

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0,1 = 0,9$$

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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23

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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33	2,93
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04	2,78
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,71
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23	2,64

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 término municipal de Nerja es el acontecido el 4 de abril de 2022 que alcanzó su mayor intensidad a las tres de la tarde con una cota de inundación de unos 2,93 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de abril de 2022 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.

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)	6,00
distancia (m)	203
pendiente %	2,956

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)	4,00
distancia (m)	123
pendiente %	3,067

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}
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25

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

- Factor por pendiente:

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

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:

$$Ru_{2\%} = 1,98 \cdot R_u$$

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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23

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)
15:00	4	4	2022	4,69	12,11	108	102,4	1,024	0,593	228,78	1,31	1,18	2,33	2,93
16:00	1	11	2015	5,09	10,15	113	117,3	1,173	0,742	160,72	1,14	1,03	2,04	2,78
1:00	25	3	2022	4,87	11,01	109	97,5	0,975	0,544	189,10	1,21	1,09	2,16	2,71
0:00	27	3	2019	5,17	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10	1,25	1,13	2,23	2,64

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 término municipal de Nerja es el acontecido el 4 de abril de 2022 que alcanzó su mayor intensidad a las tres de la tarde con una cota de inundación de unos 2,93 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de abril de 2022 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.

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.

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:

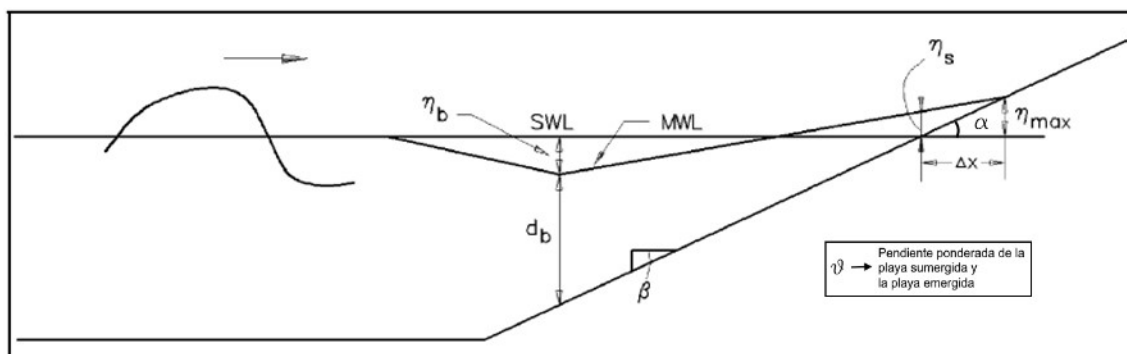
$$d_b = \frac{H_b}{\gamma_b^2}$$

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 el más alto.



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 4 de abril de 2022 con una cota corregida de inundación corregida de 2,93 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	2038080
Fecha máx. temporal	04/04/2022
Hs	4,69
Tp	12,11
L	228,78

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,22
Hb	5,72
$d\eta/dx$	0,0049
η_s	1,22
η_b	-0,32
γb	0,88
db	6,47
$\tan \alpha$	0,094
$\tan \beta$	0,022
$\tan \vartheta$	0,029

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 50,27 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 4 de abril de 2022 en esta zona se habría adentrado hasta los 50,27 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, siendo éste un 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 4 de abril de 2022 con una cota corregida de inundación corregida de 2,93 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	2038080
Fecha máx. temporal	04/04/2022
Hs	4,69
Tp	12,11
L	228,78

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ω_b	1,22
Hb	5,72
$d\eta/dx$	0,0086
η_s	1,27
η_b	-0,34
γ_b	0,95
db	6,03
$\tan\alpha$	0,263
$\tan\beta$	0,034
$\tan\vartheta$	0,057

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 26,36 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 4 de abril de 2022 en esta zona se habría adentrado hasta los 26,36 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, siendo éste un 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 4 de abril de 2022 con una cota corregida de inundación corregida de 2,93 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	2038080
Fecha máx. temporal	04/04/2022
Hs	4,69
Tp	12,11
L	228,78

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ω_b	1,22
Hb	5,72
$d\eta/dx$	0,0051
η_s	1,22
η_b	-0,32
γ_b	0,89
db	6,44
$\tan\alpha$	0,087
$\tan\beta$	0,023
$\tan\vartheta$	0,032

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 45,51 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 4 de abril de 2022 en esta zona se habría adentrado hasta los 45,51 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, siendo éste un 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 4 de abril de 2022 con una cota corregida de inundación corregida de 2,93 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	2038080
Fecha máx. temporal	04/04/2022
Hs	4,69
Tp	12,11
L	228,78

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ω_b	1,22
Hb	5,72
$d\eta/dx$	0,0057
η_s	1,23
η_b	-0,32
γ_b	0,90
db	6,36
$\tan\alpha$	0,139
$\tan\beta$	0,025
$\tan\vartheta$	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 36,59 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 4 de abril de 2022 en esta zona se habría adentrado hasta los 36,59 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, siendo éste un 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 4 de abril de 2022 con una cota corregida de inundación corregida de 2,93 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	2038080
Fecha máx. temporal	04/04/2022
Hs	4,69
Tp	12,11
L	228,78

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ω_b	1,22
Hb	5,72
$d\eta/dx$	0,0057
η_s	1,23
η_b	-0,32
γ_b	0,90
db	6,37
$\tan\alpha$	0,138
$\tan\beta$	0,024
$\tan\vartheta$	0,036

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 40,10 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 4 de abril de 2022 en esta zona se habría adentrado hasta los 40,10 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, siendo éste un 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 4 de abril de 2022 con una cota corregida de inundación corregida de 2,93 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	2038080
Fecha máx. temporal	04/04/2022
Hs	4,69
Tp	12,11
L	228,78

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ω_b	1,22
H_b	5,72
$d\eta/dx$	0,0072
η_s	1,25
η_b	-0,33
γ_b	0,92
db	6,19
$\tan\alpha$	0,033
$\tan\beta$	0,030
$\tan\vartheta$	0,031

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

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

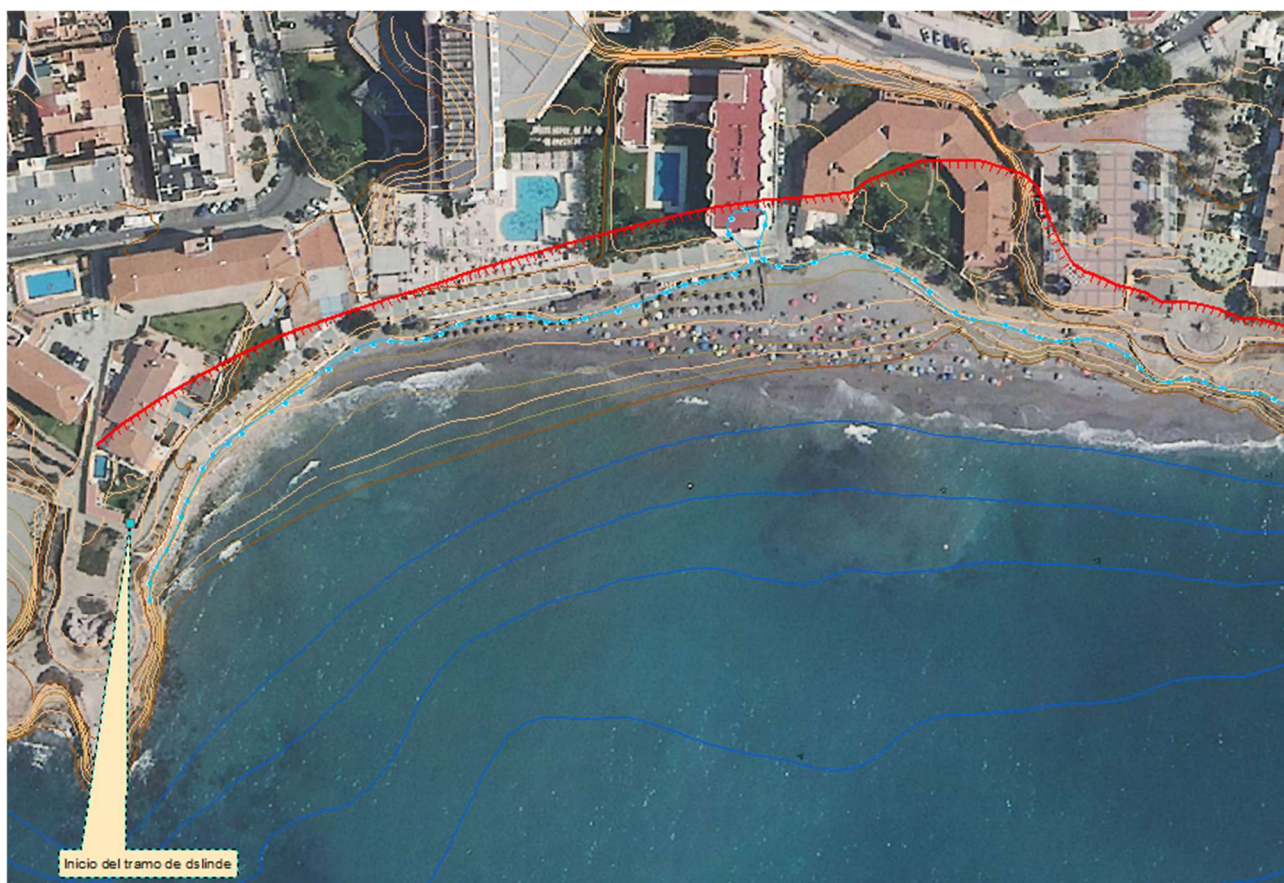
Arroja un resultado de 53,18 metros tierra adentro desde la línea de agua, considerada ésta como la cota 0 de la cartografía. Es decir, el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar en caso según la cartografía utilizada, siendo éstas homogéneas en toda su extensión, una pendiente constante, y un oleaje regular durante el temporal.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 4 de abril de 2022 en esta zona se habría adentrado hasta los 53,18 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, siendo éste un 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 una de las zonas en estudio:

Zona 1:



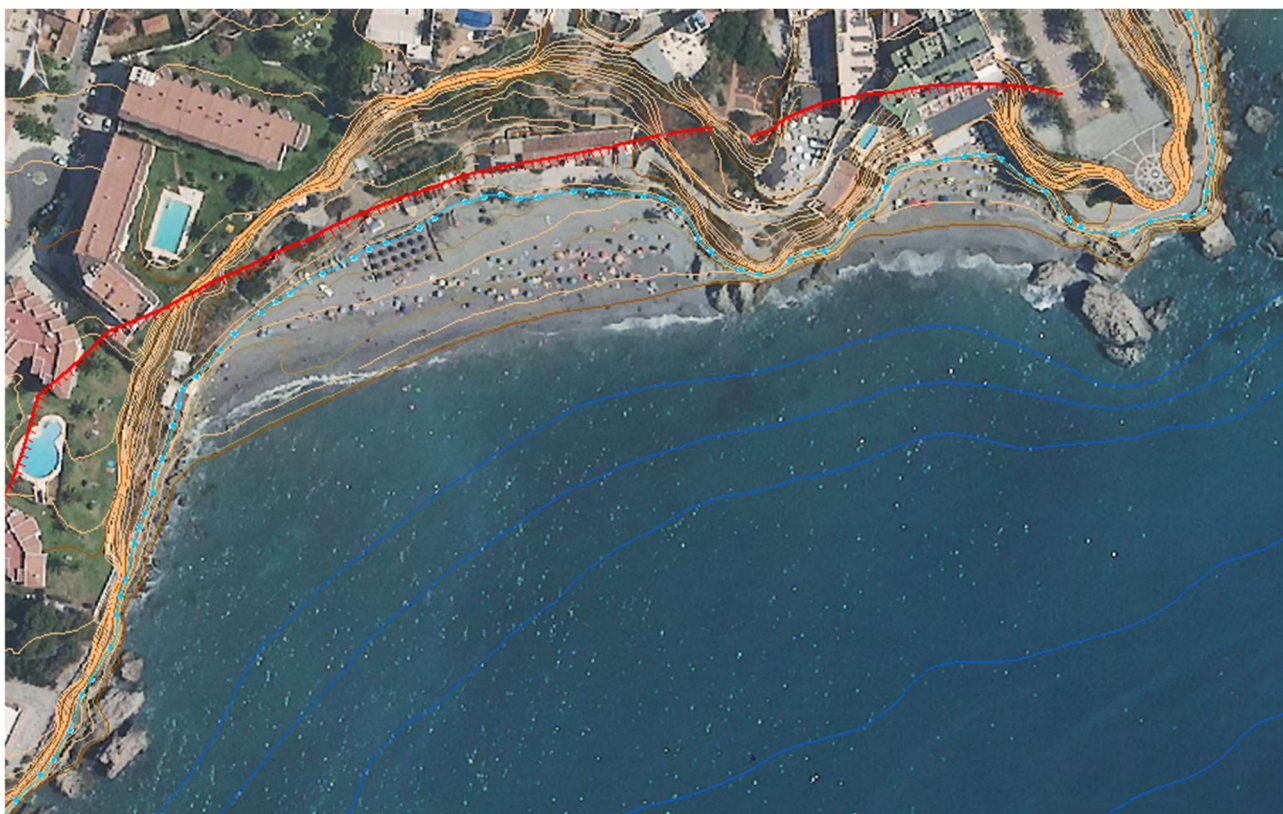
Representación gráfica de los alcances calculados mediante el C.E.M. (en rojo) y la cota de inundación mediante la fórmula de Nielsen-Hanslow (1991) corregida con los factores de Van der Meer y Jansen (en azul).

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 y 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).

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.

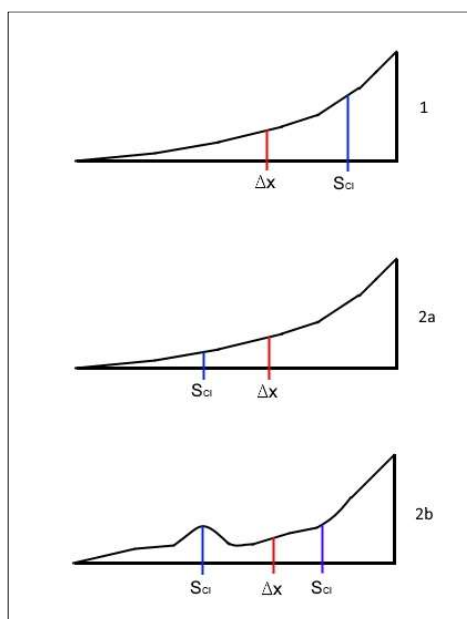
La topografía del terreno es un factor limitante en la extensión de la inundación y se relaciona con los dos parámetros calculados, pudiéndose dar tres casos genéricos que han de ser considerados en cada zona de estudio. Estos casos son:

- 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.

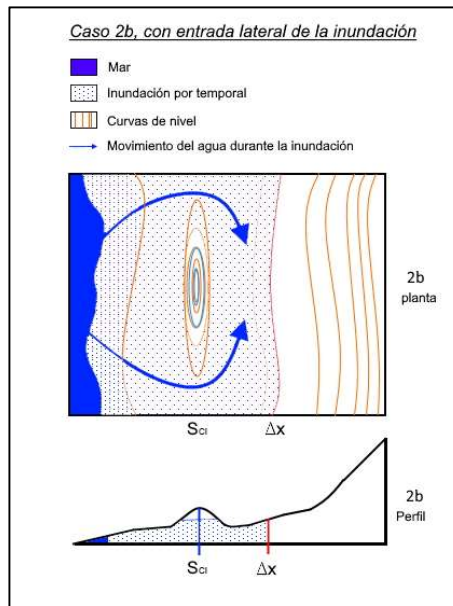
Esquemáticamente:



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:



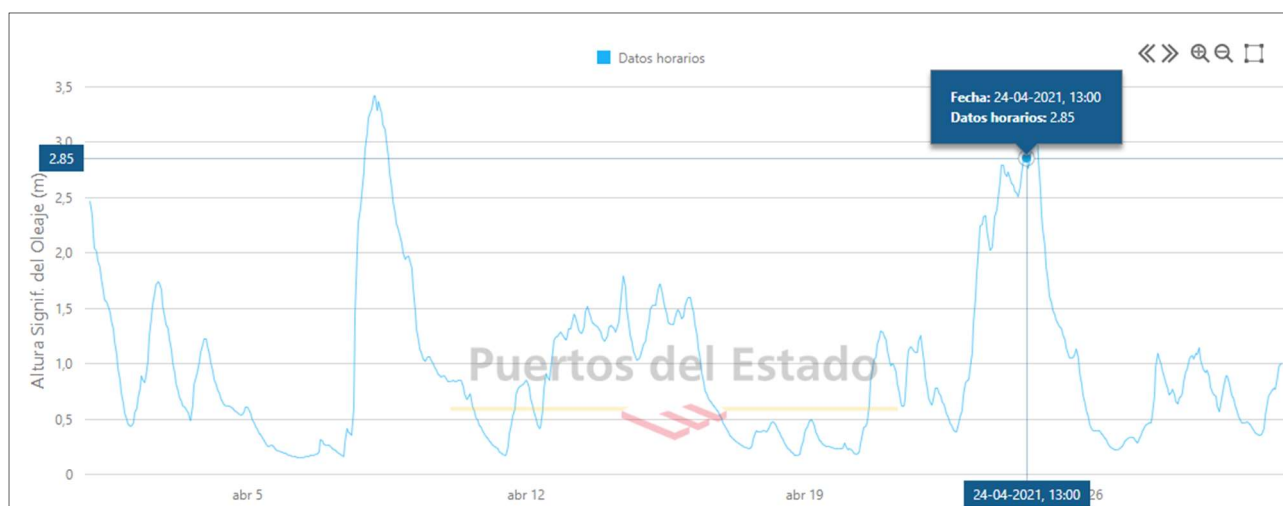
Vistos los casos genéricos, se debe considerar, si la extensión de inundación viene limitada por cota o por distancia en los casos en estudio.

En la zona 1 correspondiente a la playa de la Torrecilla de Nerja, según los cálculos realizados mediante la formulación teórica, la configuración de la zona es la '2a' donde la fórmula de cota de inundación de Nielsen-Hanslow (1991) corregida mediante los factores de Van der Meer y Jansen, arroja una cota de inundación, S_{ci} , de 2,93 metros, por tanto, los cálculos teóricos y la cartografía indican que el mar llegaría hasta el fondo de la playa donde existe un muro que mantiene elevado el paseo marítimo y donde el agua del mar no llega excepto por su posible entrada por los imbornales (hipótesis no recogida por la formulación teórica).

Los cálculos teóricos se sustentan, además, en la evidencia del alcance de los indicios dejados durante los temporales por el oleaje en la costa, como puede observarse en el caso de la fotografía siguiente en donde se aprecia el alcance del oleaje durante un temporal ocurrido el 24 de abril de 2021 (no siendo el mayor temporal conocido), donde la fotografía realizada a las 13:00 horas de ese día muestra que el mar ha alcanzado una cota cercana el límite marcado por la cota de inundación, S_{ci} , si se observa la arena mojada al pie del muro del paseo marítimo.



Playa de la Torrecilla de Nerja el 24 de abril de 2021



Altura significativa del oleaje el 24 de abril de 2021 a las 13:00 horas (2,85 metros)

La zona 2 se corresponde con el saliente rocoso entre la playa de la Torrecilla y la playa del Salón. En este caso, según los cálculos realizados mediante la formulación teórica, la configuración de la zona es la '2a' donde la fórmula de cota de inundación de Nielsen-Hanslow (1991) corregida mediante los factores de Van der Meer y Jansen, arroja una cota de inundación, Sci , de 2,15 metros, por tanto, los cálculos teóricos y la cartografía indican que el mar llegaría hasta la parte del saliente rocoso donde disminuye su pendiente, formando una plataforma. 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 la imagen siguiente:



Espray generado por el oleaje al impactar sobre las rocas. Estas alturas y alcances no se tienen en cuenta en los cálculos de los modelos numéricos de alcance de oleaje y cota de inundación. Foto realizada el 24 de abril de 2021 a las 13:00 horas.

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 esta zona, para conocer el alcance del oleaje se tendrán en cuenta las evidencias obtenidas mediante fotografía del oleaje, o de su alcance (costras salinas en el suelo, etc).

La zona 3 se ubica en la playa del Salón situada en una cala bajo unos acantilados rocosos. Este caso sigue el mismo criterio que los dos anteriores, donde según los cálculos realizados mediante la formulación teórica, la configuración de la zona es la '2a' donde la fórmula de cota de inundación de Nielsen-Hanslow (1991) corregida mediante los factores de Van der Meer y Jansen, arroja una cota de inundación, Sci , de 2,93 metros, por tanto, los cálculos teóricos y la cartografía indican que el mar llegaría hasta, prácticamente, el fondo de la playa.

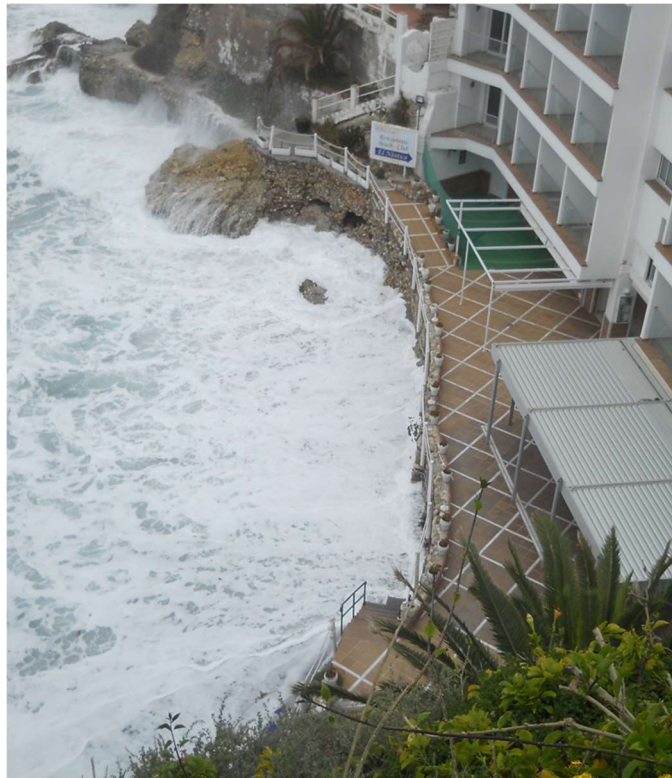
Los cálculos teóricos se sustentan, además, en la evidencia del alcance del oleaje, como puede observarse en el caso de la fotografía siguiente en donde se aprecia el alcance del oleaje durante un temporal ocurrido el 24 de abril de 2021, no siendo el mayor temporal conocido, donde la fotografía realizada a las 13:00 horas aproximadamente de ese día muestra que el mar ha alcanzado las cercanías del límite marcado por la cota de inundación, Sci , si se observa la arena mojada al pie del muro que protege la edificación situada bajo el acantilado.



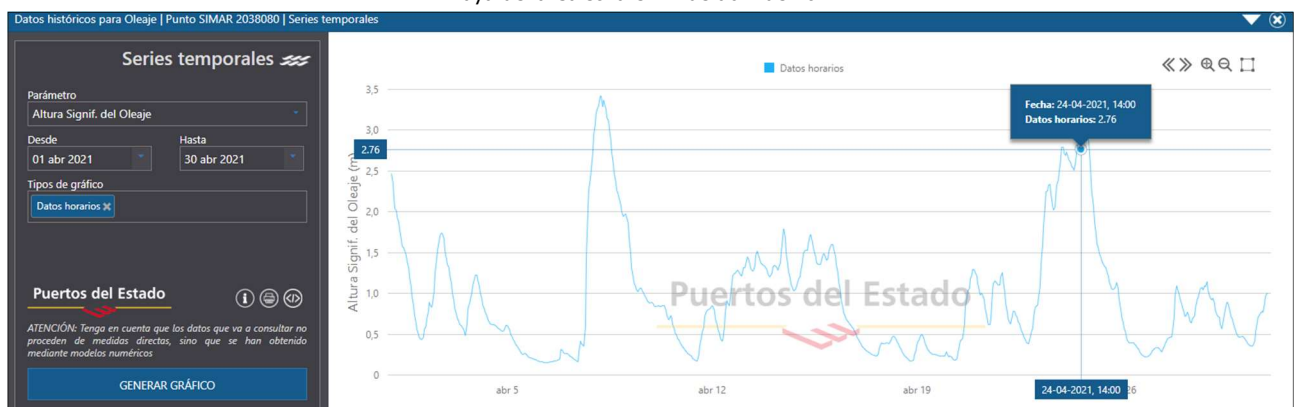
Playa del Salón de Nerja el 24 de abril de 2021

En la zona de la playa de la Caletilla que es una pequeña cala rodeada de zonas de acantilados rocosos y muy modificada por la acción antrópica, existiendo un muro de defensa de entre 1,5 y 2m de altura desde la arena de la playa para proteger del oleaje la zona de esparcimiento de la instalación hotelera construida en el acantilado. Se mantiene la misma hipótesis de trabajo de las anterior, es decir, la '2a' en la que la cota de inundación, Sci , se sitúa más al exterior que el alcance del oleaje, Δx .

En la siguiente fotografía se observa que el alcance del oleaje durante el temporal ocurrido el 24 de abril de 2021 a las 13:45, no siendo este el mayor temporal conocido, impacta contra el muro de defensa, inundando la playa de arena en su totalidad.



Playa de la Caletilla el 24 de abril de 2021.



Altura significativa del oleaje el 24 de abril de 2021 a las 14:00 horas (2,76 metros)

La zona 4 afecta en su estudio del oleaje a la playa Calahonda que es una cala con una playa de arena rodeada de zonas de acantilados rocosos con grandes bloques desprendidos al Este de ésta. Recientemente se ha visto modificado la parte interior de esta cala por la acción antrópica. Se mantiene la misma hipótesis de trabajo de las anteriores, es decir, la '2a' en la que la cota de inundación, Sci , se sitúa más al exterior que el alcance del oleaje, Δx . La fórmula de cota de inundación de Nielsen-Hanslow (1991) corregida mediante los factores de Van der Meer y Jansen, arroja una cota de inundación de 2,93 metros, por tanto, los cálculos teóricos y la cartografía indican que el mar inunda prácticamente toda la parte de arena de la playa. Los cálculos teóricos se corroboran, además, con la evidencia del alcance del oleaje, como puede observarse en el caso de la fotografía siguiente en donde se aprecia dicho alcance durante el temporal ocurrido el 24 de abril de 2021, la marca de la arena húmeda se ajusta a la cota de inundación arrojada por los cálculos teóricos, no siendo el temporal de la imagen el mayor temporal conocido con el cual se han realizado los cálculos de cota y alcance del oleaje.



Playa de Calahonda el 24 de abril de 2021.

La zona 5 afecta en su estudio del oleaje a la playa de Carabeo que es una cala rodeada de zonas de acantilados rocosos. Se mantiene la misma hipótesis de trabajo de las anteriores, es decir, la '2a' en la que la cota de inundación, Sci , se sitúa más al exterior que el alcance del oleaje, Δx . La fórmula de cota de inundación de Nielsen-Hanslow (1991) corregida mediante los factores de Van der Meer y Jansen, arroja una cota de inundación de 2,93 metros.

La zona 6 de este estudio corresponde con la playa de Burriana de Nerja y la playa del Carabeillo Chico. Se trata de una amplia zona de arenal de unos 800 metros de longitud y unos 60-70 metros de anchura en la playa de Burriana. En la mayor parte del arenal se da la hipótesis del resto de las zonas estudiadas, es decir, la '2a' en la que la cota de inundación, Sci , se sitúa más al exterior que el alcance del oleaje, Δx . La fórmula de cota de inundación de Nielsen-Hanslow (1991) corregida mediante los factores de Van der Meer y Jansen, arroja una cota de inundación de 2,93 metros. Con estos datos la extensión de la inundación ocuparía prácticamente la totalidad de la playa del Carabeillo Chico y aproximadamente la mitad de la anchura de la playa de Burriana; en este último caso, en 2 zonas en las que la cota de la playa es más baja, la extensión de la inundación vendrá dada por el alcance del oleaje, Δx , que aquí es de unos 53 metros, manteniéndose dicha inundación en aproximadamente la mitad del arenal.

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 4 de abril de 2022), se puede decir que, teóricamente, 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

noviembre 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, ya que, según dichos cálculos, realizados y expuestos anteriormente, no se adentra dicho oleaje más al interior de la delimitación propuesta.

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.

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 estudiados los condicionantes de la delimitación del dominio público marítimo-terrestre, se analizan de manera conjunta todos ellos según los preceptos jurídicos que marca la legislación vigente para determinar la inclusión o no en el dominio público los diferentes ambientes que configuran las zonas del tramo de deslinde de Nerja en estudio.

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 los diferentes sectores del tramo que nos ocupa y que se mencionan en cada sector, 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 4.4 de la Ley de Costas:

Artículo 4.

Pertenecen asimismo al dominio público marítimo-terrestre estatal:

4. Los terrenos acantilados sensiblemente verticales, que estén en contacto con el mar o con espacios de dominio público marítimo terrestre, hasta su coronación.

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 4.9 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.

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.

Respecto al criterio que define los acantilados sensiblemente verticales, el artículo 5.4 del RGC define cual es el criterio a seguir:

Artículo 5. Bienes de dominio público marítimo-terrestre por determinación legal.

Pertenecen, asimismo, al dominio público marítimo-terrestre estatal:

4. Los acantilados sensiblemente verticales, que estén en contacto con el mar o con espacios de dominio público marítimo-terrestre, hasta su coronación.

A estos efectos, se consideran acantilados sensiblemente verticales aquellos cuyo paramento, como promedio, pueda ser asimilado a un plano que forme un ángulo con el plano horizontal igual o superior a 60 grados sexagesimales. Se incluirán en su definición las bermas o escalonamientos existentes antes de su coronación.

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

- **Vértice M-1 a M-8.** Sector de unos 210 metros de longitud de poligonal de deslinde ubicado en la playa de la Torrecilla, siendo la primera zona del tramo de deslinde que nos ocupa. Se trata de una playa de arena fina que forma parte del casco urbano de Nerja, ubicándose a su interior un paseo marítimo a cota mayor que la de la arena interior; esta playa está situada en una ensenada delimitada por zonas rocosas a ambos extremos de ella. Esta playa tiene una anchura de 20 a 30 metros de media (medida realizada en agosto de 2017) aunque ésta es variable tanto por la época del año (condicionada por los temporales que pueden reducir su anchura), como por el año en el que se realicen las mediciones donde la anchura es condicionada por la dirección de las corrientes marinas, responsables del transporte litoral de la arena, como ocurrió en el año 2019 en el que la playa quedó reducida a la mitad, desapareciendo la mayor parte de la arena de la zona oeste de la playa o por el basculamiento de la playa acumulándose la arena al este o al oeste de ella según sea el sentido de las corrientes que transportan la arena.

Al interior de la zona de arena, como se ha dicho anteriormente, se ubica un paseo marítimo pavimentado, con varios accesos a la playa y elevado unos 2 metros sobre el nivel de la playa en su parte interior.

Los bienes que se incluyen están compuestos por la playa hasta su límite interior situado en el muro del paseo marítimo ya que se constatan las características del DPMT descritas en el artículo 3.1.b) de la Ley 22/88 de Costas por ser el muro del paseo marítimo el límite interior de la arena de la playa y habiéndose confirmado mediante los cálculos de cota y alcance realizados con datos hasta la fecha de redacción de este proyecto, que no alcanza el agua del mar más al interior que la

delimitación representada en los planos de deslinde (muro del paseo marítimo), cumpliendo, así mismo, el párrafo a) del artículo 3.1 de la Ley de Costas ya que es hasta dicho muro es hasta donde alcanza el mar durante los mayores temporales conocidos hasta la fecha, siendo esta delimitación coincidente con la delimitación provisional propuesta y expuesta a información pública en su momento procedimental.

- **Vértice M-8 a M-10.** Sector de unos 76 metros de longitud de poligonal de deslinde coincidente con la zona marítimo terrestre aprobada por OM de 26-04-1966. Se trata de una zona completamente antropizada. Los bienes de DPMT incluyen el paseo marítimo y parte de los jardines situados al interior del paseo marítimo. En esta zona, debido a la pérdida de las características naturales del terreno, se ubica la ribera de mar en el muro del paseo peatonal para incluir en ella los bienes que cumplen con las características descritas en el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas de 1988 y, subsidiariamente el artículo 3.1.a) ya que también hasta el muro alcanza el agua del mar durante los mayores temporales conocidos, como puede apreciarse en la imagen siguiente tomada durante el temporal del 24 de abril de 2021 (no siendo el mayor de los temporales conocidos), en la que se puede apreciar el agua en la rampa de acceso a la playa procedente del impacto del oleaje sobre la escollera defensiva al pie de esta rampa.



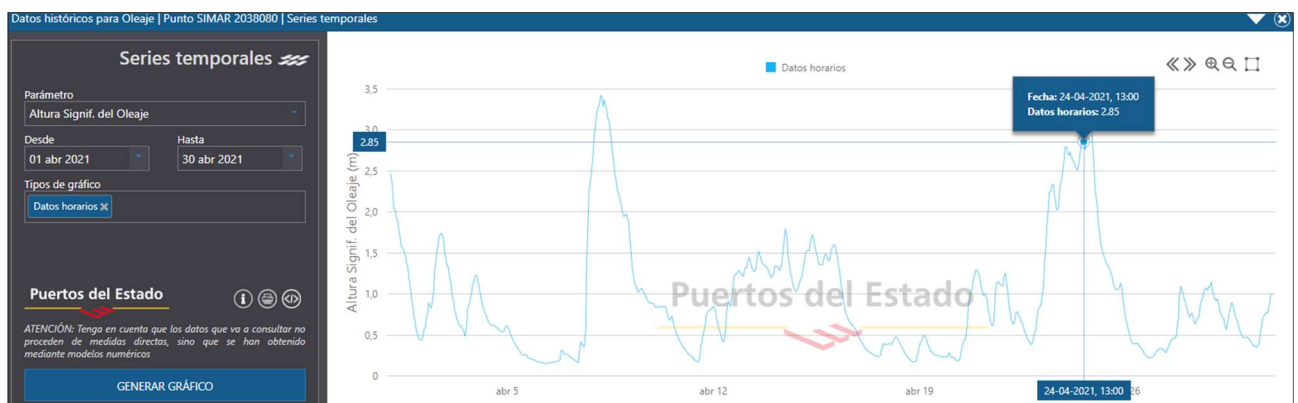
Al interior de la ribera de mar, los bienes están justificados por lo expuesto en el artículo 4.5 de la Ley de Costas de 1988 si bien estos terrenos que han perdido sus características naturales de playa se consideran necesarios para asegurar la protección y el uso del DPMT.

- **Vértice M-10 a M-24.** Sector de unos 228 metros de longitud de poligonal de deslinde. Se trata de una zona de costa rocosa baja que se sitúa al Este de la playa de la Torrecilla y que se va elevando y aumentando en verticalidad conforme se avanza hacia levante. Sobre esta zona rocosa se ha seguido construyendo el paseo peatonal antes mencionado y que termina al final del sector; en el vértice M-24. El límite interior de los bienes de DPMT se sitúa en el borde interior del paseo peatonal construido por el Estado por lo que estos bienes forman parte del demanio por lo descrito en el artículo 4.9 de la Ley 22/88, de Costas, debiendo mantenerse adscritos al DPMT por resultar necesarios para la defensa y uso del mismo. La ribera de mar, ubicada en el exterior del paseo peatonal, dado que hasta esa zona se ubican los terrenos naturales descritos en el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas de 1988 ya que hasta esa zona alcanza el agua del mar durante los mayores temporales conocidos. Como muestra se adjuntas las siguientes imágenes del temporal del día 24 de abril de 2021; no siendo éste, a la hora de la toma de las fotografías (tomadas en la distancia por seguridad), de los más intensos en la zona (ver gráfica de Hs al final de la serie de fotografías):



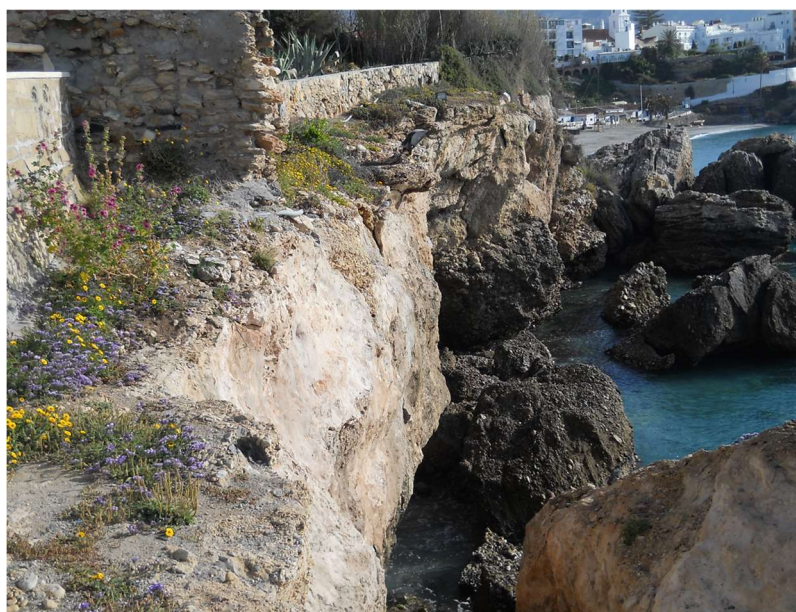


Serie de fotografías del temporal de 24-04-2021 tomadas entre las 13:00h y las 13:30h



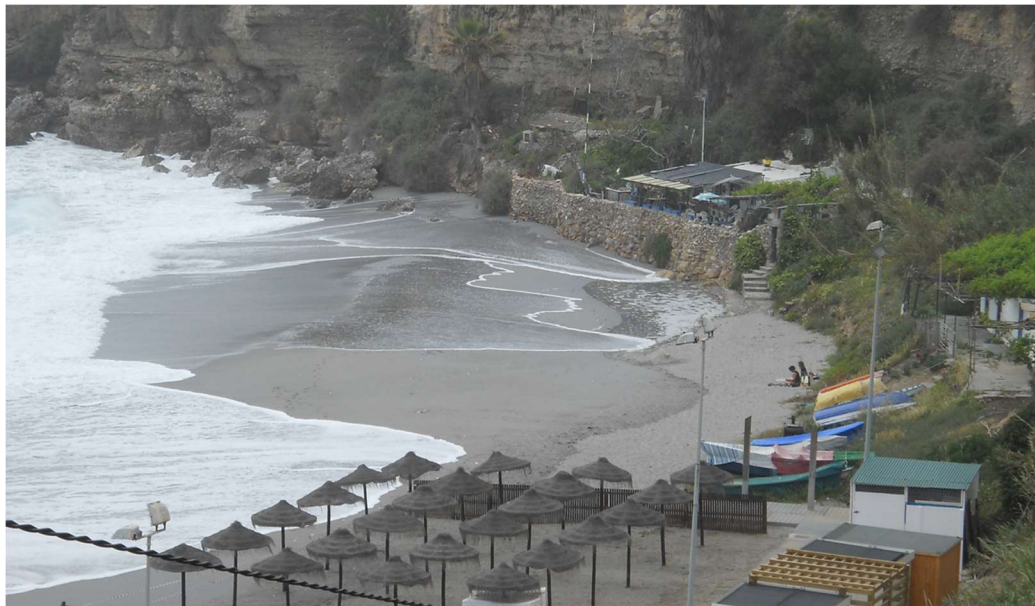
Gráfica de datos horarios del mes de abril de 2021 para la altura de ola significativa a las 13:00h (2,85m), hora de la toma de las fotografías anteriores.

- **Vértice M-24 a M-31.** Sector de unos 161 metros de longitud de poligonal de deslinde. Todo este sector se trata de una zona de acantilados regresivos sensiblemente verticales (en el proyecto conservado se pueden consultar los perfiles realizados en esta zona) con construcciones en la coronación por lo que reúnen las características descritas en el artículo 4.4 de la Ley 22/88, de Costas. A continuación, se muestran dos imágenes de estos acantilados:



- **Vértice M-31 a M-38.** Sector de unos 172 metros de longitud de poligonal de deslinde. En este sector se encuentra la playa "El Salón"; se trata de una playa con dimensiones variables dependiendo de las corrientes que desplazan la arena a resguardo de poniente o de levante. En el año 2013 sus dimensiones se redujeron por la parte de poniente llegando el mar hasta las proximidades del vértice M-33 ampliándose la anchura de la playa en la parte Este llegando a estar comunicadas por arena la playa del Salón y la playa de la Caletilla durante ese año.

definida por el artículo 3.1.b) de la Ley 22/88, de Costas. Los cálculos teóricos de alcance durante los mayores temporales conocidos en esta zona indican que el agua del mar no supera, en la fecha de redacción de este estudio complementario, la delimitación de la ribera del mar. En la fotografía siguiente se aprecia cómo durante los temporales habituales el agua llega calmada hasta los muros de defensa por donde se ha trazado la delimitación de la ribera del mar (por existencia de arena de la playa):



Por lo que, subsidiariamente, esta acotación de la ribera del mar se ajusta también a lo descrito en el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas.

- **Vértice M-38 a M-40.** Sector de unos 39 metros de longitud de poligonal de deslinde. Se trata de una zona de acantilados rocosos sensiblemente verticales de hasta unos 10-12 metros de altura. Tras la línea de deslinde provisional existe una rampa pavimentada de acceso a la playa. Estos terrenos, por ser acantilados sensiblemente verticales cumplen con lo establecido en el artículo 4.4 de la Ley 22/88, de Costas.
- **Vértice M-40 a M-41.** Sector de unos 12 metros de longitud de poligonal de deslinde. Se trata de una zona de acantilados rocosos sensiblemente verticales de hasta unos 10-12 metros, habiendo horadado el mar la parte inferior de la pared rocosa penetrando el agua del mar por debajo de las rocas por lo que se considera que los terrenos incluidos en el demanio lo hacen en virtud de lo establecido en el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas de 1988.



- **Vértice M-41 a M-42.** Sector de unos 18 metros de longitud de poligonal de deslinde que comprende unos terrenos rocosos sensiblemente verticales que cumplen con lo establecido en el artículo 4.4 de la Ley 22/88, de Costas. Durante el año 2022 se ha construido la senda litoral y un mirador en este punto cuyas obras finalizaron en abril de 2022, modificando la configuración natural del acantilado (que puede observarse en la foto aérea de 2017), por la instalación de escaleras y el mencionado mirador.



Foto aérea oblicua de 2017

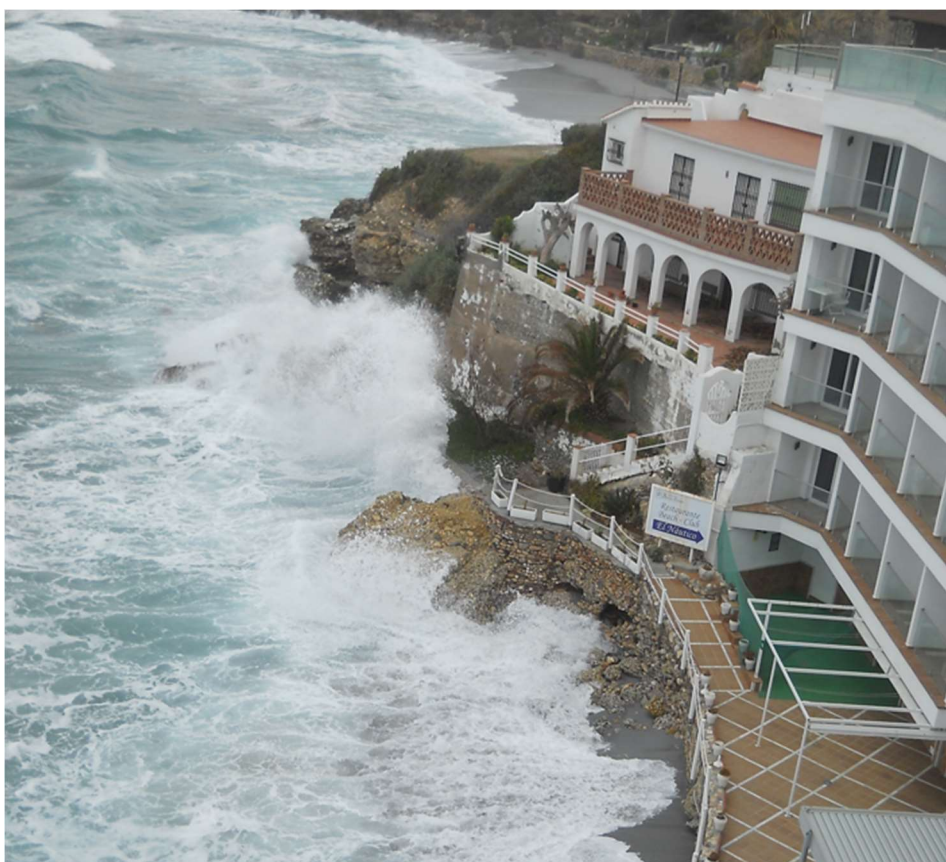


Mirador y senda litoral (escalera).



Senda litoral

- **Vértice M-42 a M-44.** Sector de unos 26 metros de longitud de poligonal de deslinde, coincidente con el deslinde aprobado por OM de 26-04-1966. Se trata de una zona rocosa antropizada dado que se construyó en el pasado una pasarela, semiderruida hasta 2021 por la acción del oleaje, pero reconstruida en 2022 como parte de la senda litoral de Málaga; por lo que dichos bienes están definidos por lo dispuesto en el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas de 1988 por alcance del agua del mar durante los mayores temporales conocidos.



Estado de la zona un año antes de la construcción de la senda litoral



Aspecto de la senda litoral en la zona

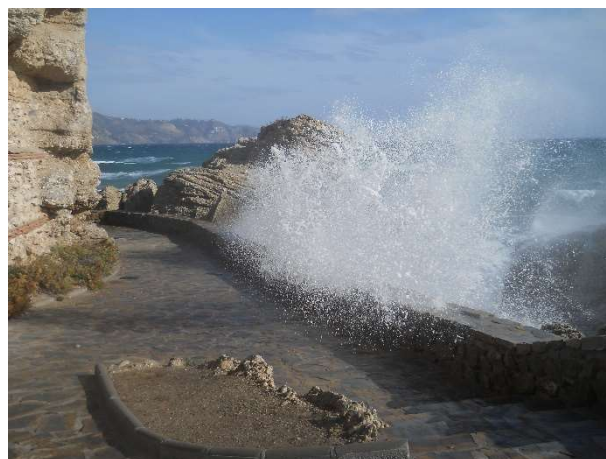
- **Vértice M-44 a M-47.** Sector de unos 41 metros de longitud de poligonal de deslinde. Los terrenos comprenden la playa de la Caletilla que es un arenal de dimensiones variables, según los años y la acción de las corrientes marinas, rodeado de altos acantilados. La variabilidad en el tamaño del arenal se ilustra con las siguientes fotografías del año 1998, con una superficie de playa considerable y con la fotografía del año 2017:



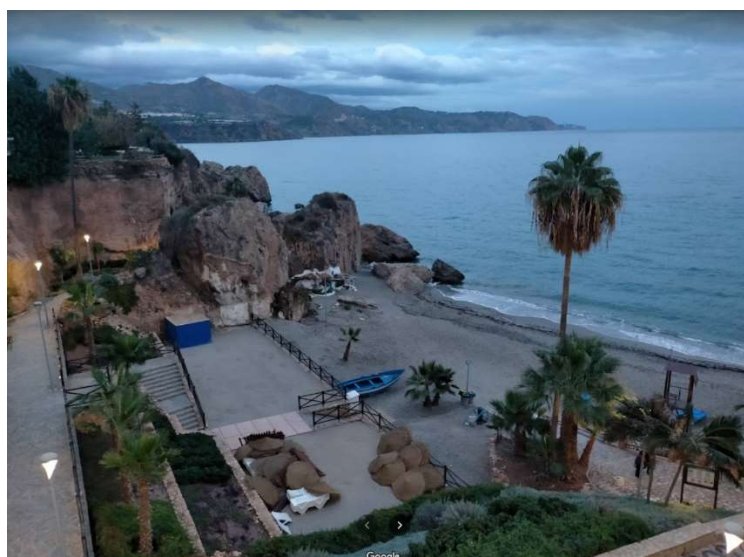
Variación de la superficie de arena años 2004, izda. y 2017 dcha.

Sobre los acantilados se encuentra el casco urbano de Nerja lo que hace que la zona esté completamente antropizada y con una presión urbanística máxima. Edificado sobre la pared norte del acantilado existe un hotel de hasta 9 plantas que abarca en altura desde la playa hasta entre 10 y 15 metros por encima de la pared del acantilado. Los terrenos incluidos en el DPMT cumplen con lo establecido en el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas de 1988.

- **Vértice M-47 a M-51.** Sector de unos 91 metros de poligonal de deslinde. Este tramo es coincidente con el deslinde aprobado por OM de 26-04-1966. Se ubica en el conocido "Balcón de Europa" y se caracteriza por ser una zona de acantilados rocosos verticales totalmente antropizados en donde se ha construido un paseo peatonal a unos 4-5 metros sobre el nivel del agua. Así mismo, en el propio acantilado está construido el conocido mirador sobre la costa antes mencionado. El oleaje impacta directamente sobre el acantilado por lo que estos terrenos están caracterizados por lo descrito en el artículo 3.1.a) de la Ley de Costas de 1988.



- **Vértice M-51 a M-54.** Sector de unos 91 metros de longitud de poligonal de deslinde coincidente con el deslinde aprobado por OM de 26-04-1966. Se trata de la parte oriental del “Balcón de Europa” cuya morfología es la misma que en el sector anterior, es decir, acantilados verticales antropizados en donde se ha construido un paseo peatonal a media altura (unos 5 metros sobre el nivel del agua) y construcción en su coronación de una plaza pavimentada. Por tanto, estos terrenos cumplen con lo establecido en el artículo 4.5 de la Ley de Costas, si bien, siguen siendo necesarios para la protección y utilización del DPMT. Entre los vértices M-51 y M-53 la ribera de mar deja de ser coincidente con el DPMT para desplazarse al exterior hasta el muro del paseo peatonal por cumplir con lo establecido en el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas de 1988 y no habiéndose constatado ni por cálculos teóricos ni por evidencia fotográfica, que el mar alcance más al interior de la zona delimitada como ribera del mar. Entre los vértices M-53 y M-54 ubicados al interior de la playa de Calahonda los terrenos se caracterizan por ser una playa de unos 30 metros de anchura con fondo reformado durante los años 2021 y 2022 hasta la parte alta, en la que se encuentran las edificaciones del núcleo urbano de Nerja.



Aspecto de la zona de Calahonda tras las obras llevadas a cabo por el Ayuntamiento de Nerja.

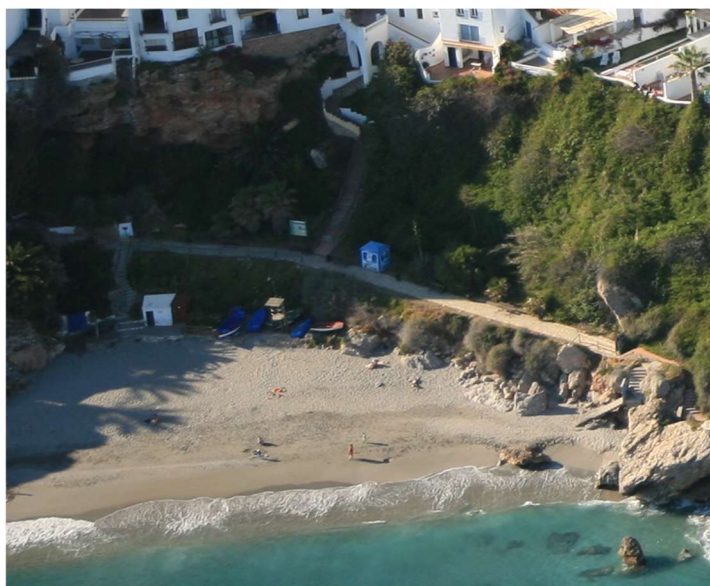
El DPMT, entre estos vértices, se ajusta a lo establecido en el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas de 1988 porque se delimita la superficie hasta donde se encuentran las arenas de la playa.

- **Vértice M-54 a M-84.** Sector de unos 295 metros de longitud de poligonal de deslinde. Esta zona se compone de altos acantilados sensiblemente verticales con depósitos de arena en su base en las

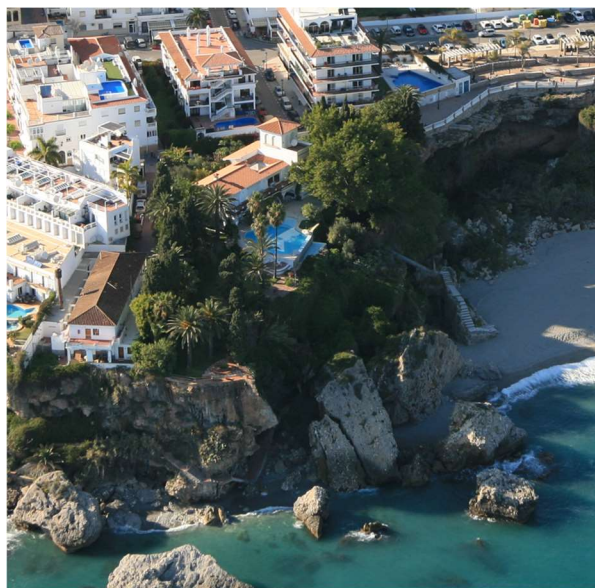
zonas resguardadas del embate directo del oleaje. Entre los vértices M-82 y M-84 se encuentra, en la base del acantilado, la parte oeste de la playa de "El Carabeo". Dada la morfología de la zona, los bienes de dominio público marítimo terrestre están definidos por el artículo 4.4 de la Ley 22/88 de Costas. Se ilustra la zona en la siguiente imagen en la que se aprecian los acantilados:



- **Vértice M-84 a M-88.** Sector de unos 75 metros de longitud de poligonal de deslinde. En este tramo el DPMT es coincidente con el deslinde aprobado por OM de 26-04-1966 entre los vértices M-84 y M-87. Este sector se encuentra en la cala de la conocida playa "El Carabeo" donde los terrenos incluidos como pertenecientes al demanio están definidos por el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas de 1988.



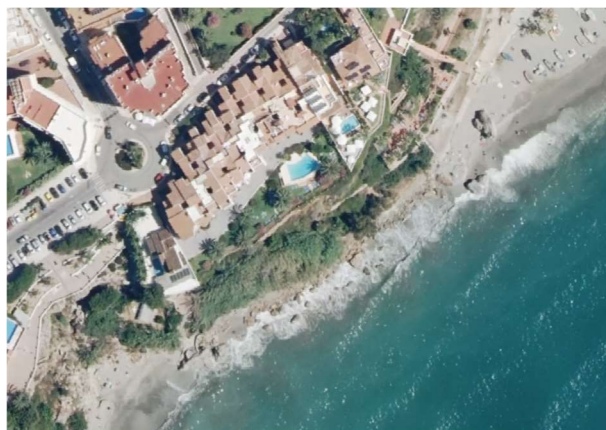
- **Vértice M-88 a M-104.** Sector de unos 199 metros de longitud de poligonal de deslinde. Se trata de la zona de acantilados sensiblemente verticales situados al este de la playa del Carabeo y que los separa de la playa de "El Carabeillo Chico". En su coronación la zona está totalmente antropizada con edificaciones que forman parte del casco urbano de Nerja. Los terrenos, por ser acantilados sensiblemente verticales, están descritos como bienes de dominio público marítimo terrestre por el artículo 4.4 de la Ley de Costas de 1988.



- **Vértice M-104 a M-105.** Sector de unos 16 metros de longitud de poligonal de deslinde, coincidente con el deslinde aprobado por OM de 26-04-1966, siendo el límite interior de los terrenos de la playa de “El Carabeillo Chico” por lo que se ajusta a los descrito en el artículo 3.1.b) de la Ley 22/88, de Costas ya que la arena llega hasta dicha delimitación, como puede observarse en la siguiente fotografía del límite interior de la playa del Carabeillo Chico:



- **Vértice M-105 a M-114.** Sector de unos 174 metros de longitud de poligonal de deslinde coincidente con el deslinde aprobado por OM de 26-04-1966 en el que se construyó un muro para defender la zona semiacantilada de los embates del mar en los años en los que las corrientes y los temporales dejaron esta zona de la playa con escasa anchura y los golpes de mar extremos podían causar riesgos de seguridad al alcanzar la base de estos acantilados como así ocurrió en 2016:



Ortofoto del año 2016 donde se observa la reducción de la arena y la llegada de las olas hasta la base del acantilado separando las 2 playas.

En esta zona, la ribera de mar se ubica en la base de la zona acantilada ya que hasta esta parte llegan las arenas de la playa y, por tanto, cumple con lo establecido en el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas. Los acantilados en esta zona no se consideran sensiblemente verticales ya que no cumplen los requisitos establecidos en el artículo 5.4 del Reglamento General de Costas (ángulo con el plano horizontal superior a 60 grados sexagesimales). Se incluyen por tanto en el dominio público marítimo terrestre en virtud del artículo 4.5 de la Ley de Costas de 1988 al coincidir con la zona marítimo terrestre aprobada por OM de 26-04-1966, siendo estos terrenos necesarios para la protección y estabilidad de la costa por lo que se conservan en el demanio.

- **Vértice M-114 a M-126.** Sector de unos 620 metros de longitud de poligonal de deslinde. Se trata de una zona completamente antropizada ubicada en la playa de Burriana en la que hay un paseo marítimo construido por el Estado, y diversas edificaciones más al interior. El DPMT se ajusta, por tanto, a lo establecido en el artículo 4.9 de la Ley de Costas de 1988. Entre los vértices M-114 y M-125A la ribera de mar y el DPMT no son coincidentes, ubicándose dicha ribera en el límite exterior del paseo marítimo que es hasta donde llega la zona de arena de la playa.



Paseo marítimo de la playa de Burriana. Límite interior de la arena.

- **Entre el vértice M-125B y M-126.** Existe una zona acantilada por lo que se ajusta a lo establecido en el artículo 4.4 de la Ley de Costas y conecta este segmento de la poligonal con el vértice de deslinde contiguo para mantener la continuidad espacial del dominio público marítimo-terrestre.



Final del tramo. Zona acantilada.

En la revisión general de expediente para su adaptación y actualización a los preceptos del R.D. 668/2022 no se constata que sea necesario hacer cambios en la delimitación del DPMT ni de la ribera del mar respecto al trazado provisional expuesto a información pública ya que, a fecha de la redacción de este estudio complementario, se engloban todos los bienes que se caracterizan por los artículos 3, 4 y 5 de la Ley de Costas de 1988 y el Reglamento General de Costas modificado por dicho Real Decreto.

Aplicando los nuevos criterios técnicos para la determinación del alcance del oleaje y de extensión de las playas y zonas dunares como bienes que pertenecen al DPMT introducidos en la legislación de Costas aprobada con posterioridad a la redacción del proyecto conservado y a la incoación del expediente de deslinde de este tramo de la costa de Nerja, se puede decir que la delimitación contenida en la propuesta de delimitación provisional expuesta a información pública se mantiene en la misma longitud y extensión sin que sobrevengan modificaciones de carácter significativo ni sustancial. No constatándose además en las visitas de campo realizadas, para la comprobación de las características del terreno y el ajuste de la línea de DPMT a las mismas, la existencia de indicios de los que se pueda deducir la llegada del agua del mar más al interior de la línea de DPMT en la fecha de redacción de este estudio. Sí habrá de tenerse en consideración para posibles modificaciones futuras los cambios que se puedan producir, principalmente por el alcance del oleaje (y en consecuencia, la determinación de la ribera del mar por el artículo 3.1.a) debido a la variación del nivel del mar y la severidad de los temporales en la zona a consecuencia del calentamiento global y el cambio climático.

Cabe destacar llegados a este punto, en relación a la morfología actual de la costa en el tramo de deslinde de la costa de Nerja que nos ocupa, la presencia de la altísima presión antrópica que existe en todo él, así como recordar el deber de protección del medio ambiente natural que emana de la Constitución Española de 1978 (artículo 45), y aquello que al respecto se hace referencia en la Exposición de Motivos de la Ley de Costas de 1988:

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

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

“[...] **Las consecuencias del creciente proceso de privatización y depredación, posibilitado por una grave dejación administrativa**, han hecho irreconocible, en numerosas zonas, el paisaje litoral de no hace más de treinta años, con un urbanismo nocivo de altas murallas de edificios al mismo borde de la playa o del mar, vías de transporte de

gran intensidad de tráfico demasiado próximas a la orilla, y vertidos al mar sin depuración en la mayoría de los casos.

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

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

Inciendo en esta cuestión los paseos peatonales suponen, de hecho, una pequeña barrera ante la acción de los temporales que afectan de manera natural prácticamente toda la superficie de las playas descritas pero que, dado el incremento en la severidad y frecuencia de los temporales, puede verse fácilmente superados por el alcance del agua del mar en un futuro próximo.

Mencionar en relación a las obligaciones que el artículo 45 de la CE expresa respecto a la conservación del medio ambiente natural y la perspectiva de futuro que ha de tenerse en cuenta por 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 edificaciones existentes tras ellas, no de la playa o de la costa en general), se ha de tener en consideración los escenarios que los modelos matemáticos, realizados para diferentes escalas territoriales y de tiempo, indican sobre el aumento del nivel del mar y de la severidad de los temporales por las consecuencias del cambio climático, por lo que es muy previsible que los terrenos ocupados actualmente por los senderos peatonales, otras infraestructuras y las

edificaciones existentes al interior de los paseos peatonales sean, en un futuro, alcanzados por el oleaje y en alta probabilidad “reintegrados” al Dominio geomorfológico Marino, ocasionando inundaciones en las edificaciones ubicadas al interior del DPMT debido a que dicha infraestructura lineal, una vez superada por el oleaje, continuará su avance y además podrá crear en algunas zonas bolsas de agua ya que la barrera pavimentada creada impediría la evacuación del agua hacia el mar, 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 las Administraciones 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 (en parte causantes de los daños), 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.

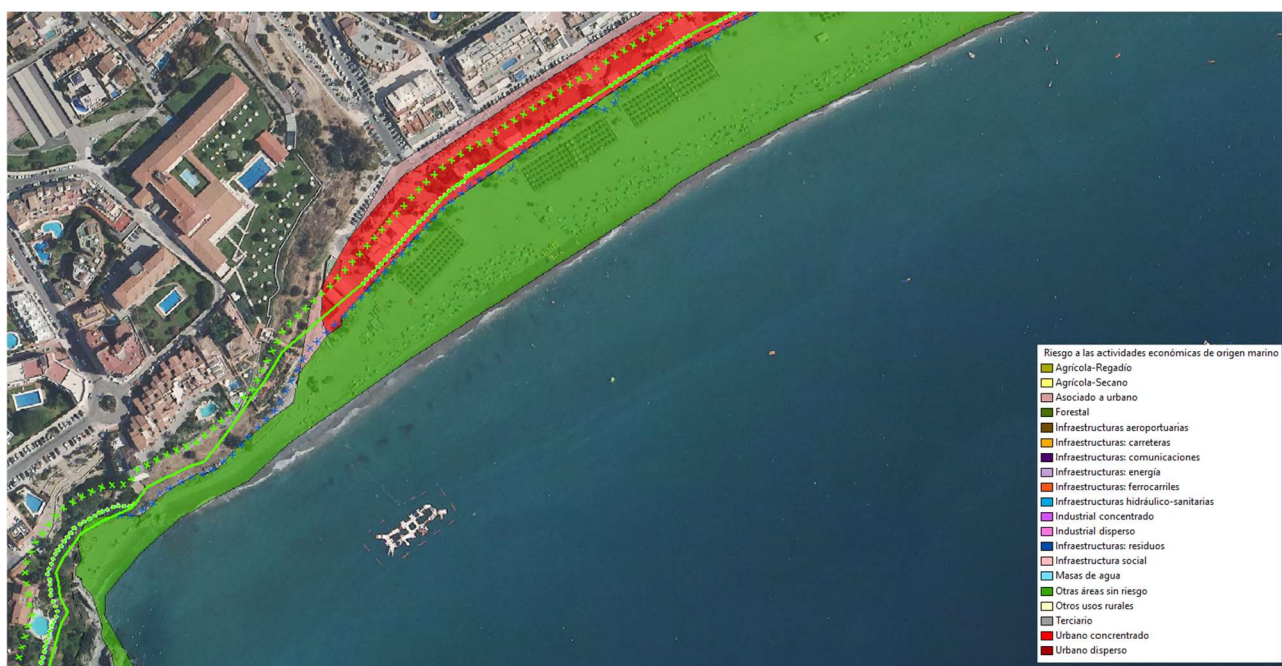
A continuación se muestran los mapas de riesgo de actividades económicas de origen marino para un periodo de retorno de 100 años *de probabilidad media de inundación* elaborados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (última actualización de abril de 2014), en el deslinde que nos ocupa:



Riesgo a las actividades económicas de origen marino a un escenario de probabilidad media de inundación (periodo de retorno de 100 años). Fuente: «© Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO)».



Riesgo a las actividades económicas de origen marino a un escenario de probabilidad media de inundación (periodo de retorno de 100 años). Fuente: «© Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO)».



Riesgo a las actividades económicas de origen marino a un escenario de probabilidad media de inundación (periodo de retorno de 100 años). Fuente: «© Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO)».



Riesgo a las actividades económicas de origen marino a un escenario de probabilidad media de inundación (periodo de retorno de 100 años). Fuente: «© Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO)».

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 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, 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.