GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas Andalucía-Mediterráneo

INFORME SOBRE LA REGRESIÓN DE LA COSTA

Entre el término municipal de Torremolinos y la desembocadura del río Guadalhorce

Tragsatec
Grupo Tragsa

MAYO 2024

ÍNDICE:

1 INTRODUCCIÓN. 1

2 ANTECEDENTES LEGISLATIVOS Y ADMINISTRATIVOS 3

3 RESUMEN DEL ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO DE JUNIO 1995 PARA LA DETERMINACIÓN DEL DPMT VIGENTE 3

3.1 Justificación del deslinde del DPMT del proyecto de deslinde de afosto de 2000 8

4 ESTUDIOS ESPECÍFICOS Y DE DETALLE DE LA COSTA EN SU ESTADO ACTUAL 11

4.1 Estudio geomorfológico general del tramo 11

4.1.1 Distribución de altitudes 11

4.1.2 Distribución de pendientes 14

4.1.3 Contexto geológico 15

4.1.4 Dominios morfogenéticos 17

4.1.5 El Dominio Morfogenético Marino 19

4.1.6 El Dominio Morfogenético Continental 21

4.1.7 El Dominio Morfogenético Antrópico 21

4.1.8 Morfodinámica de la costa entre Torremolinos y la desembocadura del río Guadalhorce 22

5 ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA PARA LA DEFINICIÓN DE SU ESTADO FUTURO Y DEL DPMT. 24

5.1 Estudio de la evolución de la costa de Guadalmar y playa de San Julián mediante ortofotografía histórica 24

5.1.1 Definición de las líneas de costa y límite de referencia interior 25

5.1.1.1 Límite de referencia interior 25

5.1.1.2 Líneas de costa 27

5.1.2 Evolución de la línea de costa 44

5.1.2.1 Análisis cuantitativo y resultados 48

5.1.2.2 Previsión y tendencia del estado futuro de la línea de costa 53

5.2 Modelos digitales del terrenos (MDT) 70

6 ESTUDIO DEL CÁLCULO DE MÁXIMA ELEVACIÓN DEL MAR EN CONDICIONES DEL AÑO 2024 ... 72

6.1 Descripción general del clima marítimo 73

6.2 Planteamiento justificado de la estimación del nivel máximo que asciende el mar 79

6.3 Obtención de los datos de clima marítimo necesarios para la identificación de los mayores temporales desde que se tienen registros 81

6.4 Cálculo de la cota de inundación asociada a cada evento de temporal estimado 84
6.5 Cálculo del desplazamiento de la ola por la playa seca para cada zona 115
6.6 Estudio de los resultados 129
6.7 Cambio climático: consecuencias económicas, sociales y protección de la costa 146
6.8 Planos 148

7 COTA DE INUNDACIÓN EN ESCENARIOS FUTUROS 150
7.1 Introducción 150
7.2 Estimación de la cota de inundación y el alcance del oleaje en el año 2030 154
7.2.1 Cálculo de la cota de inundación en el año 2030 asociada a cada evento de temporal estimado hasta la actualidad 155
7.2.2 Estimación del desplazamiento de la ola por la playa seca en el año 2030 184
7.2.3 Discusión de los resultados para el año 2030 196
7.3 Estimación de la cota de inundación y el alcance del oleaje en el año 2040 211
7.3.1 Cálculo de la cota de inundación en el año 2040 asociada a cada evento de temporal estimado hasta la actualidad 212
7.3.2 Estimación del desplazamiento de la ola por la playa seca en el año 2040 242
7.3.3 Discusión de los resultados para el año 2040 253
7.4 Estimación de la cota de inundación y el alcance del oleaje en el año 2070 266
7.4.1 Cálculo de la cota de inundación en el año 2070 asociada a cada evento de temporal estimado hasta la actualidad 268
7.4.2 Estimación del desplazamiento de la ola por la playa seca en el año 2070 298
7.4.3 Discusión de los resultados para el año 2070 310
7.5 Planos 322

ANEXO 1 Imágenes de la líneas de costa entre 1957 y 2022 330
ANEXO 2 Procesos de regresión y acreción entre 1957 y 2022 371
ANEXO 3 Planos de deslinde del DPMT vigente 391

1 INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, el 8% de la superficie terrestre, a nivel mundial, pertenece a zonas costeras; dos tercios de las grandes ciudades del planeta se sitúan en la costa (Crooks y Turner, 1999) en el que se establece cerca del 70% de la población mundial (Brown y Tompkins, 2012) ya que en el litoral el ser humano ha encontrado múltiples usos, entre los que destacan el residencial, las infraestructuras marítimas e industriales, los recursos naturales y, el mayor transformador que es el turístico y recreativo. Sin embargo, son terrenos con gran importancia medioambiental y de gran fragilidad a los cambios teniendo además para la población humana funciones fundamentales como la protección frente a los efectos atmosféricos y marinos extremos.

A nivel europeo, en las últimas décadas los efectos negativos de los procesos de antropización de sus costas ha generado preocupación por parte de la Comisión Europea. En estudios como el Eurosión (European Communities, 2005) se apunta que el 20% de las costas europeas están en regresión indicando que, si bien en parte se debe a procesos geomorfológicos (procesos naturales), son las actividades humanas las principales causantes del fenómeno erosivo, sobre todo la actividad industrial y la actividad turística.

Ello representa, aparte de poner en peligro la seguridad de más 70 millones de personas en Europa, que viven a menos de 100 metros de la línea de costa, riesgos en la sostenibilidad tanto medioambiental como social y la económica. Al respecto de estas situaciones generadas en las costas, la Comisión Europea indica que se tome conciencia de que «*la política a aplicar en el espacio costero debería ser integrada, intersectorial y multidisciplinar y no una mera colección de políticas verticales sectoriales*» (Comisión de las Comunidades Europeas, 2006:5).

En España el 39,2% de su población censada en 2020 (más de 18,5 millones de personas) vive en la zona costera con una importante densidad de población, 429,4 hab/km^2, indicador de la alta urbanización de la zona costera para dar cabida a tal densidad poblacional. Esta población se ha incrementado en los últimos 30 años un 25%, principalmente en la primera década del siglo. Entre 2011 y 2020 este crecimiento es del 1,6%. Catalunya, Comunitat Valenciana y Andalucía suman el 60% de la población costera de España siendo el 17,5% de la población costera española la residente en Andalucía, es decir, unos 3.250.000 habitantes costeros (un 38,4% de la población total andaluza). (*"Análisis y Prospectiva – Serie Pesca nº5. DEMOGRAFÍA DE LA POBLACIÓN COSTERA EN 2020." Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Feb-2022).*

La actividad turística a nivel internacional ha crecido rápidamente en los últimos 60 años hasta convertirse en uno de los mayores sectores económicos mundiales, con una contribución importante en numerosas economías, tanto nacionales como locales. El turismo costero ha sido uno de los más prósperos en su desarrollo, lo que ha lleva asociado un desmesurado crecimiento urbanístico en las zonas litorales. Los diversos los usos y actividades asociados al turismo que se desarrolla en la costa y su entorno ha provocado numerosas actuaciones antrópicas que han generado desequilibrios en la zona, por ejemplo, la construcción de puertos (Naik and Kunte, 2016), urbanizaciones, campos de golf, encauzamientos, soterramiento e incluso desvíos de cauces fluviales, espigones, diques y escolleras, etc, produciendo cambios notables en la batimetría y en la textura de los sedimentos depositados en profundidades donde la hidrodinámica del oleaje no le afecta (Aragonés et al., 2016; Zhu et al., 2016), así como la inmovilización de arenas, bloqueos en el transporte eólico y destrucción de depósitos de depósitos de arenas litorales. Estos desequilibrios generalmente están relacionados con el retroceso de la línea de costa, lo que provoca una vulnerabilidad de todo asentamiento humano ubicado a su alrededor (Newton et al., 2014) lo que supone un riesgo para los millones de personas residentes en el litoral.

Si a todo lo expuesto anteriormente, le unimos el cambio climático que predice un aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos extremos, y un aumento de los niveles del mar (Arnell and Lloyd-Hughes, 2014; Jiménez et al., 2017), además del insuficiente aporte de los ríos (Aragonés et al., 2016) principalmente por la construcción de embalses y azudes así como, en menor medida, los trabajos hidrológico-forestales para paliar los procesos erosivos continentales; se hace necesario conocer la relación entre los agentes y procesos de cada uno de los campos implicados (marinos, costeros y

terrestres), para la toma de decisiones encaminadas a preservar o regenerar las zonas afectadas y, sobre todo, adaptar las infraestructuras artificiales a las circunstancias de cada zona aunque implique el retranqueo de ellas.

Las playas son ambientes sedimentarios con alta capacidad dinámica que se localizan en la zona de transición entre el medio puramente marino y el continental. Poseen una estrecha y compleja interacción con las dunas costeras y la zona de transporte litoral mediante un continuo almacenamiento, transporte e intercambio de sedimentos. Por tanto, el litoral cambia constantemente, tratando de alcanzar y mantener el equilibrio de sus elementos entre las muchas fuerzas que les afectan, no siempre naturales, durante un periodo de tiempo.

El estudio de la posición de la línea costa proporciona información sobre la tendencia histórica de las playas (Riggs et al., 1995) y permite una previsión de la evolución de la misma teniendo en cuenta los mecanismos a los que está sometida la playa, como los ya citados: disminución de aporte de sedimentos por parte de los ríos, ramblas o barrancos; el aumento del nivel del mar o el aumento de la frecuencia e intensidad de los temporales marinos, etc.

El oleaje al incidir en la costa provoca movimientos el material que forma la franja litoral. El transporte longitudinal de sedimentos en una playa obliga a que la cantidad de material entrante en el tramo de playa sea igual a la que sale del mismo para considerarlo en equilibrio estable (durante un periodo determinado de tiempo). De no cumplirse este equilibrio, sucede que la diferencia sea por exceso debido a la acumulación de material en la playa o por defecto debido a la erosión de la misma ocasione desplazamientos de la línea de costa. En el primer supuesto, de balance positivo, la playa se encuentra en estado de acreción mientras que el segundo caso describe el comportamiento de una playa en estado de regresión. El oleaje también mueve los sedimentos en sentido transversal a la orilla, pudiendo emigrar desde el límite superior de la playa seca hasta el límite inferior de la playa sumergida, la profundidad de cierre; afectando este movimiento tanto a las zonas más elevadas como a las más profundas del perfil conforme aumenta la intensidad del oleaje. Por tanto, la afectación del oleaje por el efecto amortiguador de las playas aumenta o disminuye según sea la anchura de los depósitos de arenas, es decir, a mayor erosión (regresión) menor anchura de playas y por lo tanto menor amortiguación del oleaje, lo que implica mayores efectos adversos a causa del oleaje.

El método utilizado más utilizado para evaluar la afección de la erosión en las playas ha sido el del empleo de fotografía aérea y topografía clásica. Eran métodos suficientemente válidos para evaluar aquellos factores que eran eminentemente visibles y fácilmente mensurables. En la actualidad el empleo de sistemas de información geográfica (GIS) ha supuesto un gran avance en este campo, al integrar diversas fuentes de datos (cartográficas, ortofotografías, imágenes de satélite) que permiten obtener y comparar la evolución en el tiempo de la línea de costa (Battiau-Queney et al., 2003).

En este trabajo se ha realizado un estudio de la evolución de la playa de arena y del delta del río Vélez en la provincia de Málaga con el fin de conocer sus tendencias de cambio en el pasado, su estado actual y su progresión futura, así como su velocidad de cambio a lo largo del tiempo para prever los efectos sobre la población costera y las infraestructuras litorales para la toma de las decisiones adecuadas.

2 ANTECEDENTES LEGISLATIVOS Y ADMINISTRATIVOS

En julio de 1988 se publica la Ley 22/1988, de Costas que sustituye la anterior Ley de Costas de 1969 y diversos artículos de la Ley de Puertos de 1928 y de 1880, así como otras Leyes como las Leyes de paseos Marítimos de 1918 y de 1957 o la Ley de Protección de las Costas Españolas de 1980.

En 1989 se aprueba el Reglamento General de Costas que desarrolla la Ley 22/88, de Costas.

En 2013 se aprueba la Ley 2/2013 de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/88, de Costas.

En 2014 se aprueba el Reglamento General de Costas y derogación del anterior.

Con esta legislación se han ido realizando los trabajos y procedimientos necesarios para la determinación de la zona marítimo terrestre en su momento y del dominio público marítimo terrestre posteriormente.

Así, fue aprobada la zona marítimo terrestre por las OO.MM. de 28 de marzo de 1979, 25 de abril de 1964 y de 11 de abril de 1961.

Entre 1996 y 1999 se realizaron los trabajos previos para la delimitación provisional del deslinde del dominio público marítimo terrestre y otros complementarios a solicitud de la Dirección General de Costas, autorizándose la incoación del expediente de deslinde el 24-11-1999.

En mayo de 2000 y julio de 2000 se realiza el acto de apeo remitiéndose el proyecto de deslinde del DPMT a la Dirección General de Costas en agosto de 2000.

En cumplimiento del art. 84 de la LRJAP se otorga audiencia a los interesados en el expediente de deslinde.

Debido a la especial situación de la desembocadura del río Guadalhorce (vértices M-1 a M-19), se decidió que se necesitaba un estudio más detallado de esa zona por lo que, para no demorar la resolución del resto del expediente, se propuso la aprobación del deslinde entre los vértices M-19 a M-44.

El 30 de junio de 2005 se recibe informe favorable de los SS.JJ. del Ministerio de Medio Ambiente, aprobándose por O.M. de 11 de julio de 2005 el deslinde del DPMT en la playa de San Julián hasta el límite con el T.M. de Torremolinos.

3 RESUMEN DEL ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO DE JUNIO 1995 PARA LA DETERMINACIÓN DEL DPMT VIGENTE

Entre mayo y junio de 1995 se iniciaron los trabajos necesarios para caracterizar la costa en la zona de la playa de San Julián, entre el T.M. de Torremolinos y la desembocadura del río Guadalhorce, desde el punto de vista físico, para definir la posible línea interior del DPMT considerando el aspecto geomorfológico de la zona en aquel tiempo.

Los trabajos consistieron en una recopilación de la información sobre la geomorfología y geología costeras de la zona, un estudio fotogeológico mediante observación estereoscópica de las fotografías aéreas de los vuelos Americano de 1956, del IRYDA de 1976, de Costas de junio de 1989 y de la Junta de Andalucía de 1994. Además, como trabajos de campo se realizó una toma de muestras de suelo para su estudio sedimentológico y granulométrico en las zonas que ofrecían dudas sobre las características detalladas del terreno y un reportaje fotográfico de la zona en estudio.

En el informe geomorfológico se describió genéricamente la geografía física del litoral de la Hoya de Málaga y posteriormente se detalló la hidrografía de la zona destacando que por el Este el sector limita con la desembocadura del río Guadalhorce y que en su zona central existen pequeños arroyos del que sobresale el arroyo Cañuelo cerca del límite occidental del sector. Sobre el río Guadalhorce se subrayó la regularización de su caudal mediante embalses (zona de El Chorro y los Gaitanes), limitando hasta casi su totalidad el aporte de sedimentos al delta y la llanura aluvial, "*lo cual unido a la poca consistencia*

de los materiales depositados y las corrientes litorales han promovido una regresión importante en el frente costero, con una dinámica erosiva de la costa en franco retroceso".

Los terrenos en el área de estudio tienen escasa diversidad debido a su origen reciente, principalmente por ser materiales del Cuaternario. Se distinguieron dos orígenes: cuaternario marino y cuaternario continental mencionándose que los terrenos del cuaternario marino forman las playas y las dunas. Aquellas se describieron como depósitos de arena poco desarrollados por ser una zona en "*franca regresión*" por lo que tenían poca anchura, aunque ya desde entonces, se hacían obras de regeneración que consiguieron, según se dice en ese informe, "*estabilizar unas zonas de considerable anchura de playa*". Su granulometría era tipo grava de tonos oscuros y apagados. Respecto a las dunas se decía que se observaban "*claramente depósitos de arena cuarcíferas ampliamente elaborados y con huellas de erosión y transporte eólico-marino"* y se desarrollaba mencionando que los depósitos "*algunos estabilizados y fijados de forma natural, pero principalmente por erosión andrógena, forman una importante cadena de dunas muy actuales, en los que además existen pocos granos carbonatados y casi total ausencia de elementos ligeros (micas), lo que indica al amplio trabajo de erosión marina desarrollado".*

Respecto a la geomorfología del terreno, concretamente a los dominios morfogenéticos, se describen los dominios marinos, marino-continental y antrópico haciéndose la matización, respecto a los sistemas dunares, que se consideran dentro del dominio marino-continental (modelado eólico) aunque haya autores que los consideran dominio continental.

Para identificar las unidades morfológicas de los dominios se recurrió al tipo de material que los componen y los procesos generadores de la unidad. En el estudio de junio de 1995 se describieron los dominios más relevantes que afectan a la zona y se relacionan con el dominio público marítimo terrestre.

<u>Dominio Marino</u>

El dominio marino es aquel que se encuentra incluido en el DPMT dadas sus características físicas. Las playas, pertenecientes a este dominio, se describieron de la siguiente forma en 1995:

Las playas son acumulaciones de arena que se extienden a lo largo de la costa, constituidas en su mayor parte por arenas finas que forman una franja estrecha y que en algunos puntos se ensanchan en flecha debido a la acción antrópica.

Es una unidad morfológica de forma planar y con suave pendiente haca el mar, caracterizada por una desproporcionada relación entre su anchura y su longitud. Están compuestas por depósitos de materiales arenosos sueltos transportados, paralelos a la costa, por corrientes marinas de deriva. Se generan en puntos del litoral donde la energía del oleaje disminuye al ser amortiguada por algún tipo de obstáculo.

Se forman, esencialmente, en costas relativamente bajas, y para subsistir requieren un aporte continuado de sedimentos que es suministrado por los ríos colindantes, y es redistribuido a lo largo de la costa por la deriva litoral. Una interrupción natural o artificial del aporte causará efectos fatales en las playas, que se traducirán en forma de retrocesos o erosiones del litoral. (Dabrío, 1989).

El análisis sedimentológico y mineralógico de los materiales que forman las playas del tramo estudiado demuestra que son procedentes exclusivamente de los aportes del Guadalhorce, mientras que los aportes de los arroyos y rieras (por ejemplo, el arroyo Cañuelo) son de menor importancia.

Haciendo un corte transversal a la playa desde la zona más interior hasta la más exterior, encontramos tres zonas esenciales:

- *Zona sublitoral o "shoreface". Es la parte más profunda y distal de la playa, que da paso gradualmente a la plataforma interna marina. Constituye una estrecha franja de terreno que se extiende paralela a la costa, y que comprende desde la línea de marea baja hasta donde, mar adentro, las olas dejan detener una acción efectiva sobre el fondo. En caso de formar barras o bajíos arenosos, estos aparecen siempre sumergidos.*

- *Anteplaya, zona de batida o "foreshore". Que es la zona comprendida entre las altas y las bajas mareas, barrida periódicamente por la oscilación mareal.*
- *Postplaya, trascosta o "backshore". Es la parte de la playa adyacente a la anteplaya, que queda entre la línea de dunas litorales y una ruptura de pendiente o berma, que es hasta donde normalmente llegan las olas en las mareas altas. Su límite superior es más difícil de precisar, aunque se suele considerar como la zona en donde aparece vegetación permanente (que solo queda cubierta por el agua durante los temporales).*

Tras describir las partes de las playas se centraron en la descripción de su formación para dar explicación de la dinámica de la anchura de las playas y los eventos que causan su modificación a lo largo del tiempo, siendo unos conceptos que se mantienen actualmente (a los que habrá que añadir los efectos del cambio climático). Esta dinámica se refirió de la siguiente forma:

El proceso fundamental que actúa en la generación de una playa es la llegada de las olas cuya energía se disipa por rozamiento sobre el fondo. En el sistema de circulación costera inducido por las olas, tiene gran importancia el ángulo de incidencia de los frentes de onda, el cual está controlado a su vez por la orientación de la costa respecto a los vientos dominantes y los frentes de borrasca. Cuando hay una dirección de oleaje dominante, el sistema costero no devuelve los granos de sedimento a su posición original, sino que los desplaza en un sentido determinado, dando lugar a una componente neta de transporte a lo largo de la costa que se conoce como deriva litoral (Dabrío, 1989).

Así pues, existen dos direcciones fundamentales de transporte de sedimento en las playas, una más o menos perpendicular a la costa controlada por las olas que llegan y la resaca, y otra paralela a la costa debida a corrientes inducidas por el oleaje.

Un factor modificante en la configuración de la playa es la acción de los temporales que generan olas de periodos largos que, a la vez que apilan agua sobre la costa permitiendo al oleaje atacar las zonas altas de la playa, removiendo sedimentos que las corrientes de resaca, forzadas por el temporal, arrastran activamente mar adentro. Al desvanecerse la tempestad, vuelven las olas de periodo corto propias del buen tiempo, que mueven sedimento hacia tierra y devuelven a la playa su perfil convexo, apilando nuevos depósitos sobre la superficie erosiva talladas por las olas del temporal (Dabrío, id.).

En la superficie de la trascosta ("backshore"), a veces se aprecian resto de antiguas bermas y canales residuales rellenos, después de que las barras arenosas se soldaran a aquellas. En conjunto forman las crestas de playa, separadas por suaves depresiones, típicas de costas progradantes, que reciben sedimentos solo durante las subidas excepcionales del nivel del mar, que suelen coincidir con grandes temporales (Dabrío, id.)

En los periodos de buen tiempo, la trascosta (parte alta de la playa) está sujeta a una importante deflación eólica por las brisas y los vientos diurnos. El resultado es un activo transporte de arena que se acumula en las dunas costeras, o es arrastrado hasta el mar.

Básicamente las unidades que afloran son relativamente recientes, cubriendo casi completamente los terrenos Paleozoicos y Mío-Pliocénicos.

El cuaternario está ampliamente desarrollado, distinguiéndose por su origen cuaternarios marinos y continentales.

Los depósitos de playa formados por materiales procedentes de formaciones próximas (generalmente Paleozoicos) presentan granulometrías bastante bastas incluso tipo gravas y de tonos oscuros y apagados.

Se han efectuado importantes obras de regeneración y recarga que han contribuido a modificar positivamente tanto el equilibrio dinámico marino como el entorno ambiental.

<u>Dominio Marino-Continental.</u>

El dominio marino-continental es aquel que se encuentra en la interfaz Marino-Continental. Se considera que los sistemas dunares litorales forman parte de este dominio frontera entre "lo marino" y "lo continental".

Si bien, los sistemas dunares costeros se puede considerar que forman parte del dominio Marino dadas sus características morfológicas (principalmente arenas procedentes de la playa), como por el elemento que lo genera (vientos marinos costeros), sin embargo, gozan de unas peculiaridades morfodinámicas suficientes como para ser consideradas dentro de un sistema diferente como es el origen inicial de los depósitos de arena que lo compone, ya que su génesis son los aportes de sedimentos fluviales de procedencia continental por los procesos erosivos que llegan al mar para, luego la dinámica litoral, transformarlos y trasladarlos. También diferencia a las dunas del dominio marino puro por la cubierta vegetal que sirvió de obstáculo permeable para la fijación de las arenas para su primer estadio de formación y posteriormente la vegetación fijadora de las dunas propiamente dicha que llega tener especies de porte arbóreo como *Pinus sp. y Juniperus sp.*

Las dunas litorales pertenecientes a este dominio, se describieron de la siguiente forma en el estudio geomorfológico de 1995:

Al hablar de dunas litorales o costeras, estamos ante una unidad morfológica asociada espacialmente a la anterior (playas) y en íntima dependencia genética con ella, por lo que resulta imposible describir una sin hacer referencia a la otra.

Las crestas de la playa ofrecen asiento a un tipo de vegetación, siempre que ésta sea capaz de soportar los suelos salinos en los que se asienta, y que a su vez sirve como núcleos de acumulación de la arena que es arrastrada desde la parte alta de la playa ("backshore"), constituyendo las llamadas dunas incipientes o embrionarias.

De esta forma, se puede decir que las dunas vienen ser montículos de arena que se forman en torno a algún obstáculo, generalmente vegetal, y que se alimentan de arena transportada desde la playa alta por los vientos marinos costeros.

Así, el viento marino moviliza fácilmente las arenas de la playa hacia el interior de la costa, formando acumulaciones que son colonizadas por especies vegetales adaptadas que tienden a estabilizar y fijar las posiciones de las dunas.

En la zona se extiende una importante cadena de dunas formadas por acumulaciones de arenas cuarcíferas finas, muy elaboradas y con huellas de transporte eólico. El contenido de organismos es muy bajo, si bien hay restos carbonatados de origen mineral. Las cadenas de dunas han sufrido una importante acción antrópica, habiendo sido modificadas, invadidas e incluso eliminadas en algunos puntos de la zona de estudio.

<u>Dominio Antrópico</u>

Este dominio se estudia en este apartado haciendo *referencia a las zonas ocupadas y modificas de manera sustancial por la acción humana, sobre morfologías que forman parte del dominio público marítimo-terrestre, como por ejemplo las playas y dunas.*

Está definido como sistema al considerarse dichas áreas como un proceso de transformación del medio, con leyes propias de crecimiento y una dinámica específica con respuestas formales particulares, que en gran medida constituyen fenómenos análogos a los de otros procesos geomorfológicos (Salazar et al. 1991).

La mayor parte de las unidades morfológicas se han convertido en espacios sumamente antropizados, por lo que prácticamente todo el área de estudio podría ser considerado como un sistema Antrópico. En cualquier caso, se han seleccionado, aquellas que han supuesto una profunda transformación de las características naturales originarias. Así se han diferenciado las siguientes unidades:

· *Asentamientos antrópicos (ocupaciones del suelo). Dentro de estos asentamientos quedan englobados todas las edificaciones (ED), obras de infraestructura (OI) como viales, aparcamientos, paseos marítimos y las instalaciones deportivas.*

· Removilizaciones y nivelaciones del suelo. Se trata de zonas que han sido movilizadas o niveladas como fase previa a la construcción de obras mayores, polígonos industriales, urbanizaciones campings, etc; o bien para uso deportivo (campo de golf, de futbol, etc) o aprovechamiento agrícola (huerta tradicional), habiéndose alterado el medio físico natural, de una manera tan sustancial, que es ya prácticamente irrecuperable.

· Acumulaciones (vertidos). Dentro de esta unidad se consideran aquellas zonas que han sido utilizadas como lugares de depósito de residuos procedentes directamente de ciertas actividades antrópicas. Se incluyen aquí acumulaciones de orígenes y contenidos diversos, como residuos sólidos urbanos, basuras y escombros, residuos industriales y escombreras mineras. El relleno de la depresión central con la arena del conjunto dunar externo, elevando su altura media constituye el vertido más generalizado (si bien el menos impactante) a lo largo de todo el tramo de costa.

· Actividades extractivas. Se incluyen las explotaciones activas i abandonadas de arenales canteras de rocas industriales y extracciones mineras. El arrasamiento del conjunto dunar externo es el ejemplo más evidente de actividad extractiva.

A este respecto, en el estudio de junio de 1995 se hace énfasis en la acción antrópica sobre las dunas y la vegetación existente anteriores a la intervención humana tomando como referencia la fotografía aérea del vuelo Americano de 1956.

Así, se manifiesta que la mayor parte de las unidades morfológicas de la zona sufrieron transformaciones profundas en las décadas anteriores al estudio que condujeron a la desaparición o a una drástica modificación de sus características.

Según se dice en el estudio "*las primeras actuaciones importantes se produjeron a mediados de los años 60 aunque los cambios de formas más importantes son posteriores".*

De la revisión de las fotografías aéreas de 1956 se aprecia que ya existía un campo de golf de nueve hoyos (que data de los años 20 y 30 del siglo XX) aunque menos invasivo que el actual tanto por extensión como por vegetación ya que "todo el recorrido estaba cubierto de arena y solo alguna hierba asomaba espontáneamente, o por siembra de algunas semillas que traían los mozalbetes de las orillas del río Guadalhorce, cobrándolas a perra gorda el saquillo", según se extrae de algunos textos que se refieren a este campo de golf. En los años 60 se amplió a 18 hoyos y se cubrieron sus calles de césped siendo a principios del siglo XXI cuando se completó el campo con una nueva ampliación de 9 hoyos más paralelos a la playa.

Al norte del campo de golf, lindando con él, se construyó una línea de viviendas unifamiliares entre 1990 y 1991 que trasformó considerablemente esa zona.

Se añade en el estudio geomorfológico que "*La urbanización de un amplio sector y las modificaciones infraestructurales han supuesto la pérdida de una gran parte de las formaciones dunares que existían, quedando solo algunos retazos*".

La urbanización Guadalmar, en el extremo oriental del tramo de costa que nos ocupa y que limita al Este con el cauce del río Guadalhorce, inició su transformación urbanística a principios de los años 70, desarrollándose hasta completar toda la superficie del polígono a mediados de los años 90.

Entre el campo de golf antes mencionado y la urbanización Guadalmar existen unos terrenos aun no edificados en la fecha del estudio geomorfológico ni de aprobación del deslinde de DPMT vigente, aunque si transformados, al principio con parcelas de cultivo y después con un deterioro eminente con vertidos de basuras, escombros, etc; eliminación de dunas y espacios interdunares con su relleno, eliminación de vegetación, incluso con la traslocación de especies endémicas de la costa malagueña (*Muscari parviflorum*) en la última década y otras diversas agresiones a su estado natural.

Sobre esto, en el documento de 1995 que tratamos en este punto, dice que "*El desequilibrio geomorfológico ha provocado un notable impacto en todo el dominio ecológico. La pérdida de la vegetación que fijaba el conjunto externo fue simultánea con el arrasamiento de las dunas delanteras. La vegetación más alejada de la línea costa, la poder penetrar sin dificultad el viento marino hasta el interior, se vio resentida paulatinamente del pernicioso efecto de la salinidad. La desaparición de este elemento de fijación provocó el aumento de la proporción de arena susceptible de ser transportada por*

el viento, descompensando el balance aportes-pérdidas. En la actualidad, la presencia de las obras de infraestructura y edificios, así como el desarrollo significativo de la vegetación que ha tenido lugar desde el arrasamiento, imposibilitan en gran medida el movimiento de arena".

Como resumen en el estudio geomorfológico del año 1995 se dice:

"En un análisis por tramos, podemos destacar las siguientes modificaciones con respecto a la situación del año 1956 observada en el vuelo americano:

- *La zona ha sufrido una importante invasión urbanística.*
- *El delta del Río Guadalhorce ha experimentado una gran regresión fijada en el extremo occidental de la desembocadura por las obras de fábrica y asentamientos urbanísticos.*
- *Los modelados dunares han casi desaparecido como resultado de la implantación de urbanización y campos de golf".*

"*El modelado dunar ha sido sustituido por el paisaje típico de las urbanizaciones y de la huerta tradicional. Según el Mapa Geológico del I.G.M.E. (E: 1/50000), los depósitos naturales de esta zona corresponden a campos de dunas formados por arenas fijadas, y a los materiales sueltos (arenas finas) de la playa en la parte más externa, parte de los cuales se acumulan hoy junto a los obstáculos que forman las construcciones actuales y vallas de las parcelas y el campo de golf".*

3.1 Justificación del deslinde del DPMT del proyecto de deslinde de agosto de 2000

En primer lugar, tenemos la referencia que se hace en el estudio geomorfológico de la zona fechado en junio de 1995 y que se ha resumido en el ítem anterior. Al final de él se hace una justificación resumida del deslinde de DPMT provisional en referencia a las características físicas del terreno.

"*Forman parte del dominio público marítimo terrestre las siguientes unidades:*

a) *Playa: desde la anteplaya hasta la primera línea de dunas (trascosta)*
b) *Conjunto dunar externo: todo el primer cordón y la serie de subalineaciones, aunque se haya producido su transformación, incluso si han sido ocupadas por obras e invasiones (campo de golf), que separaba las dos grandes alineaciones exteriores.*
c) *Terrenos anteriormente deslindados: al menos quedarían incorporados aquellos comprendidos hasta el límite interior de aquellos".*

"Las dificultades de drenaje y la proximidad del nivel freático que permiten la aparición de charcas temporales y el desarrollo de comunidades vegetales en zonas húmedas, incluso encharcadas (hidrófilas), no permiten incluir estos terrenos en la delimitación de playa."

"Tampoco se considerarán incluidas en la delimitación de la playa las largas cadenas del conjunto dunar interno. En efecto, las arenas fijadas por el desarrollo de una vegetación arbórea, su considerable distancia al mar y la ubicación tras la depresión central, confirman su exclyusion del dominio público marítimo terrestre estatal".

"En cualquier caso, con la inclusión de los terrenos del conjunto dunar externo se puede asegurar que queda garantizada la playa y la defensa de la costa, siempre y cuando se dé cumplimiento a los requisitos que establece la Ley 22/1988 de Costas, en orden a ejercer la debida gestión, control y protección de este espacio litoral sumamente antropizado y cuyas consecuencias han sido la ruptura del equilibrio entre el hombre y su medio".

El tramo en estudio tenía aprobada una zona marítimo terrestre por las OO.MM. de 28 de marzo de 1979, 25 de abril de 1964 y de 11 de abril de 1961, pero no englobaba la totalidad de los terrenos con características de dominio público marítimo terrestre descritas en la Ley de Costas de 1988 por lo que, para incorporarlos al demanio, se inició un procedimiento de deslinde.

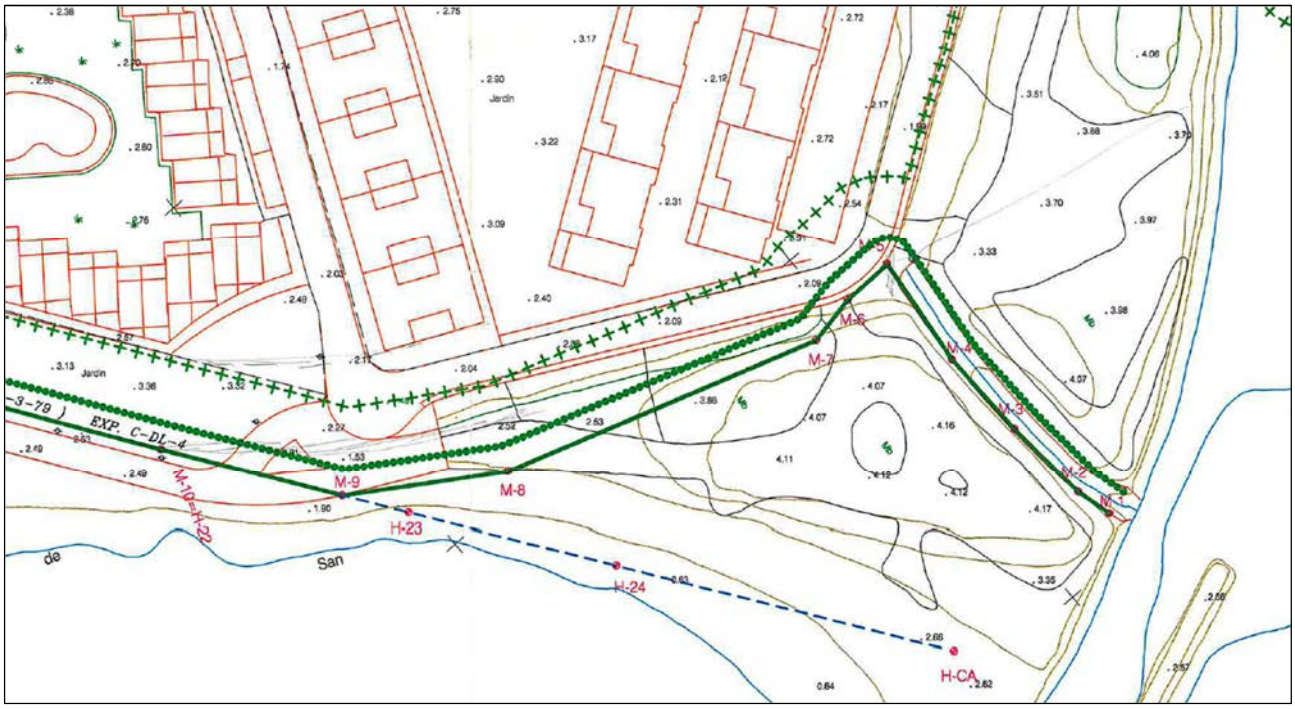
Este deslinde se hizo basándose en el estudio geomorfológico realizado entre mayo de 1995 y fechado en junio de 1995, por lo que el límite interior del DPMT se trazó según las características físicas del terreno en aquel momento.

Los criterios que se utilizaron en aquel momento (año 1995 del estudio geomorfológico y año 2000 del proyecto de deslinde) para la delimitación interior del DPMT, así como su descripción, se desarrolla a continuación:

(La numeración de los vértices de deslinde es la misma que la usada en aquel proyecto)

Del M-1 al M-9.

Entre este intervalo de vértices, el proyecto de deslinde de 2000 justificaba el límite interior del DPMT por la presencia de dunas y en aplicación del artículo 4.d) del Reglamento General de Costas de 1989, en su redacción de origen, manifestando que un sendero de separación entre los terrenos degradados en aquel momento era la zona de separación de los terrenos de DPMT ya que esos terrenos degradados estaban prácticamente en un estado irrecuperable a su estado anterior.

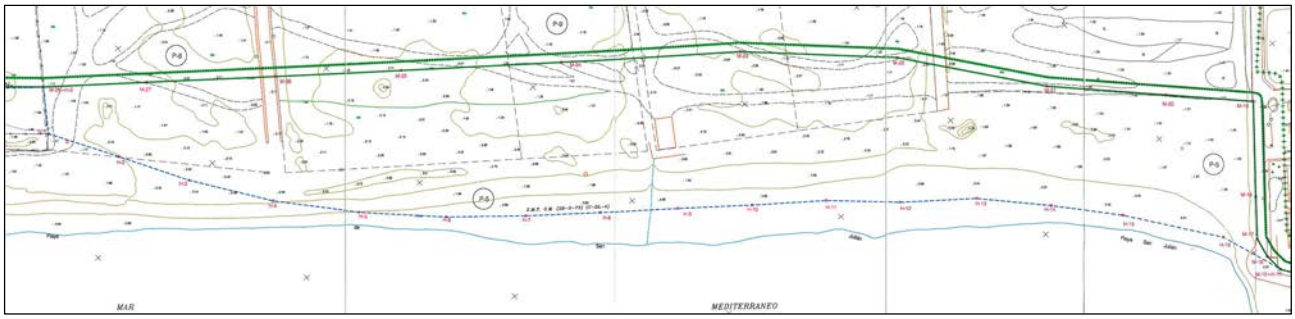


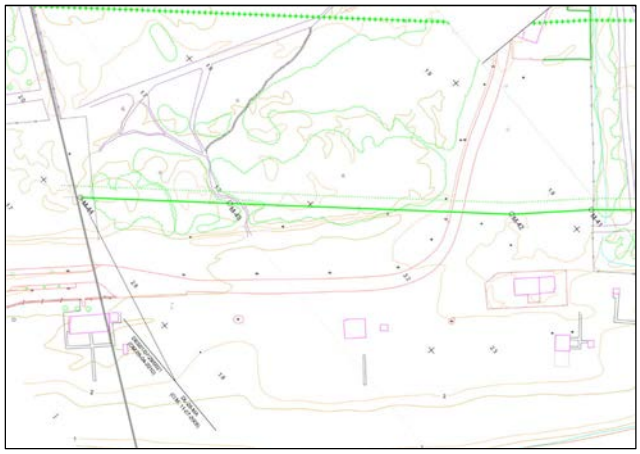
Del M-9 al M-15.

La delimitación del DPMT que se propuso en el proyecto fue coincidente con la zona marítimo terrestre aprobada por O.M. de 28 de marzo de 1979, incluyendo lo que era playa según la Ley de Costas de 1969 donde no se incluían en el demanio las dunas como si hace la Ley de Costas de 1988 actualmente vigente. La zona se encontraba totalmente degradada (según recoge el proyecto de deslinde de 2000) en el año 1989, ubicando la línea de DPMT en el paseo marítimo coincidente con la ZMT (según se dice en el mencionado proyecto del año 2000).

Del M-15 al M-28 y del M-42 al M-44.

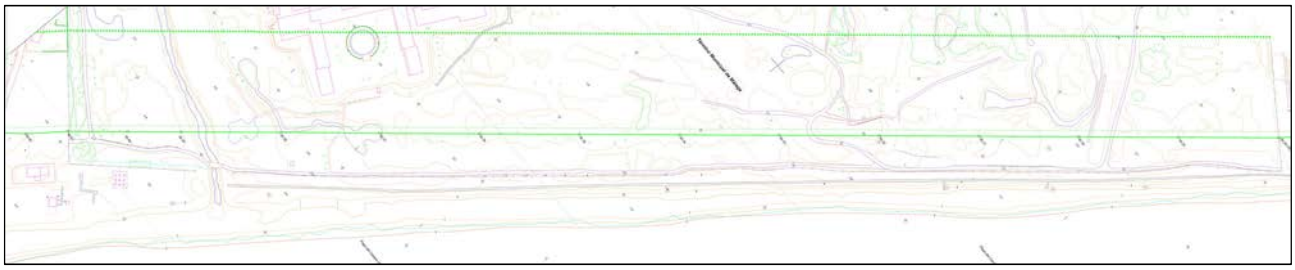
La línea interior del dominio público marítimo terrestre se ubicó al interior de la zona marítimo terrestre aprobada por las OO.MM. de 28-3-1979 y 25-4-1964, por estar estos terrenos constituidos por depósitos arenosos que conforman la playa, recogiendo los terrenos dunares que se consideraron necesarios para la defensa de la costa.





Del M-28 al M-42.

Se dice en el proyecto de deslinde de agosto de 2000 para este sector que "*se hace coincidir la propuesta con la delimitación de ZMT antigua, incluyéndose un total de 36.764 m2 de terrenos sobrantes afectados al dominio público marítimo-terrestre, en virtud del artículo 3.1.a) de la Ley de Costas, y además recogiendo el criterio de esa Dirección General de Resolución 14-1-99*".



La Orden Ministerial de 11 de julio de 2005 expone que, entre los vértices M-1 a M-19 (zona de la desembocadura del río Guadalhorce y la urbanización Guadalmar), debía ser objeto de estudio más pormenorizado al ubicarse en una zona considerada sensible en aquel momento como la desembocadura del río Guadalhorce, por lo que, para no demorar la resolución del resto del expediente, se propuso la aprobación del deslinde entre los vértices M-19 a M-44.

Para el tramo que se aprobó (M-19 a M-44), se resumía la justificación de cada tramo de la siguiente forma:

- "*Vértices M-19 a M-28 y M-42 a M-44, corresponden al límite interior de espacios constituidos por arenas, gravas y guijarros, y escarpes, con o sin vegetación de influencia marina, por lo que se corresponden con el concepto de playa tal y como lo define el artículo 3.1.b) de la Ley de Costas".*
- *"Vértices M-28 a M-42, el límite interior del dominio público marítimo-terrestre se corresponde con el anterior deslinde, toda vez que interiormente al mismo no se encuentra ningún bien que tenga las características a las que la Ley de Costas le atribuya el carácter demanial"*

La ribera del mar, según se dice en el proyecto de deslinde de 2000, es coincidente con el límite interior del dominio público marítimo terrestre entre los vértices M-19 y M-44, que son los aprobados por Orden Ministerial.

Respecto a las servidumbres la servidumbre de transito se estableció con la anchura genérica, es decir, de 6 metros de anchura medidos desde la ribera del mar. Respecto a la servidumbre de protección, se estableció, "*según la ordenación urbanística existente a la entrada en vigor de la presente Ley de Costas",* en 100 metros en el tramo aprobado por la O.M. de 11 de julio de 2005 mientras que entre los vértices M-5 y M-19 (no aprobados por esa O.M.), la anchura se estableció en 20 metros "*en aplicación de las Disposiciones Transitorias 8ª y 9ª del Reglamento".* Entre los vértices M-1 y M-5 aunque en un principio se estableció en 20 metros, tras el acto de apeo se modifica y se establece en 100 metros ya que se trataba de "*suelo no urbanizable protegido ecológico"*.

4 ESTUDIOS ESPECÍFICOS Y DE DETALLE DE LA COSTA EN SU ESTADO ACTUAL

4.1 Estudio Geomorfológico general del tramo

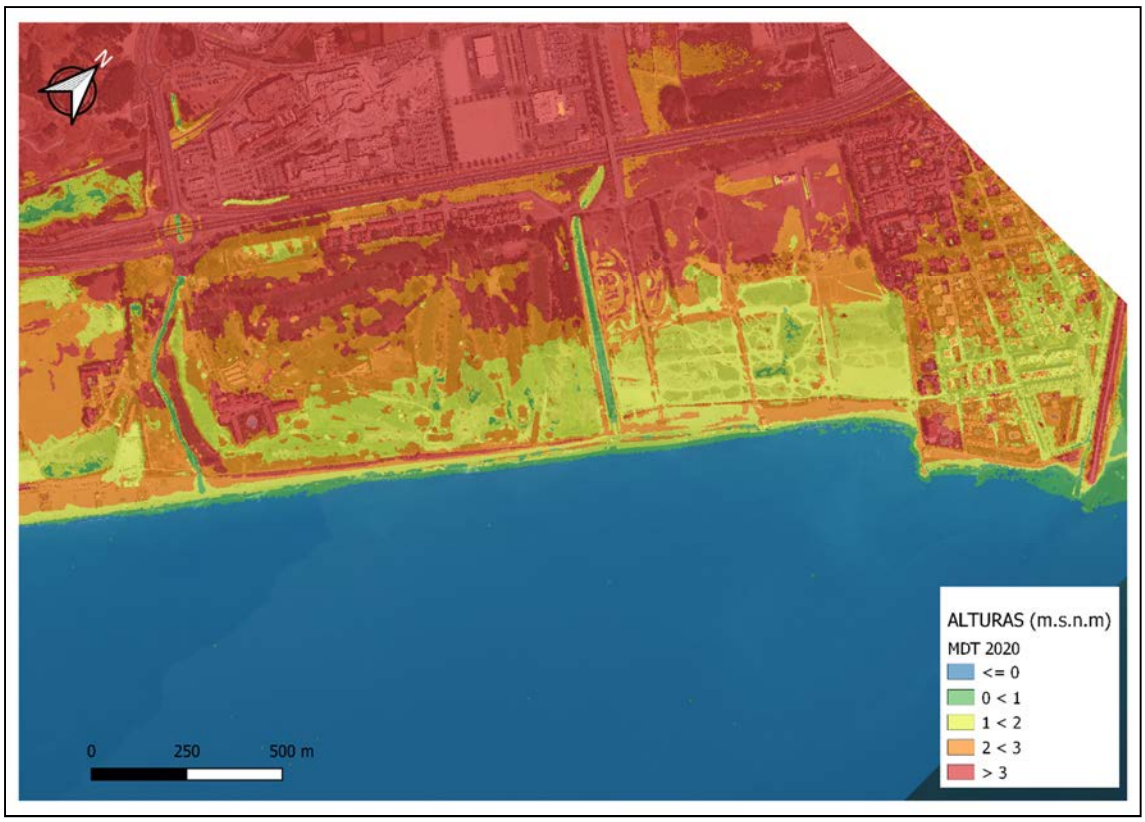
En este punto se realiza un análisis geomorfológico de la zona de estudio con el fin de delimitar bajo este criterio los diferentes Dominios, sus procesos morfogenéticos y alcances en el territorio.

4.1.1 Distribución de altitudes

El estudio de altitudes y pendientes se realiza en base al modelo digital del terreno (MDT) MDT02 del IGN con resolución de 2m, elaborado desde 2015 hasta la actualidad.

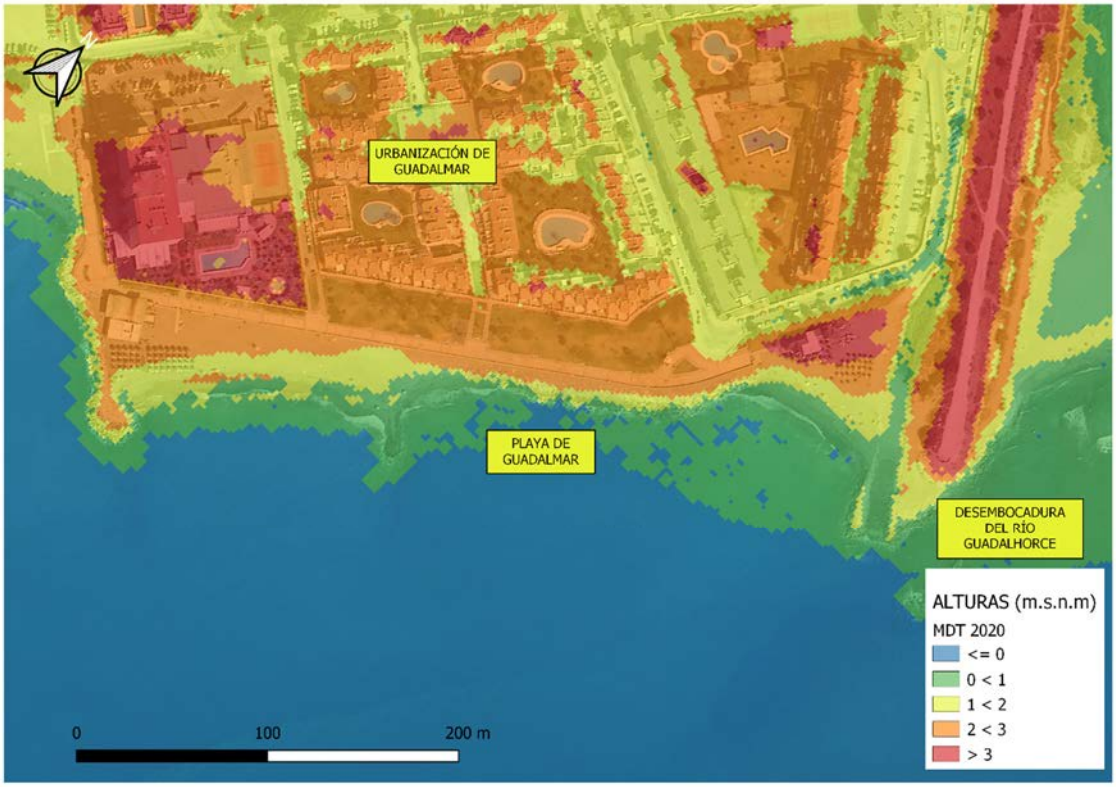
El área de estudio se encuentra entre las cotas 0 m.s.n.m., coincidente con la línea de costa, y la cota 3 m.s.n.m., y superiores, aumentando progresivamente en franjas paralelas a la costa, donde las mayores elevaciones se encuentran al interior. Se observan pocas variaciones en las cotas, característico de un relieve plano, lo que provoca que se puedan describir cambios puntuales de

elevaciones debido a elementos bi en definidos en el territorio, como los que se describen a continuación.



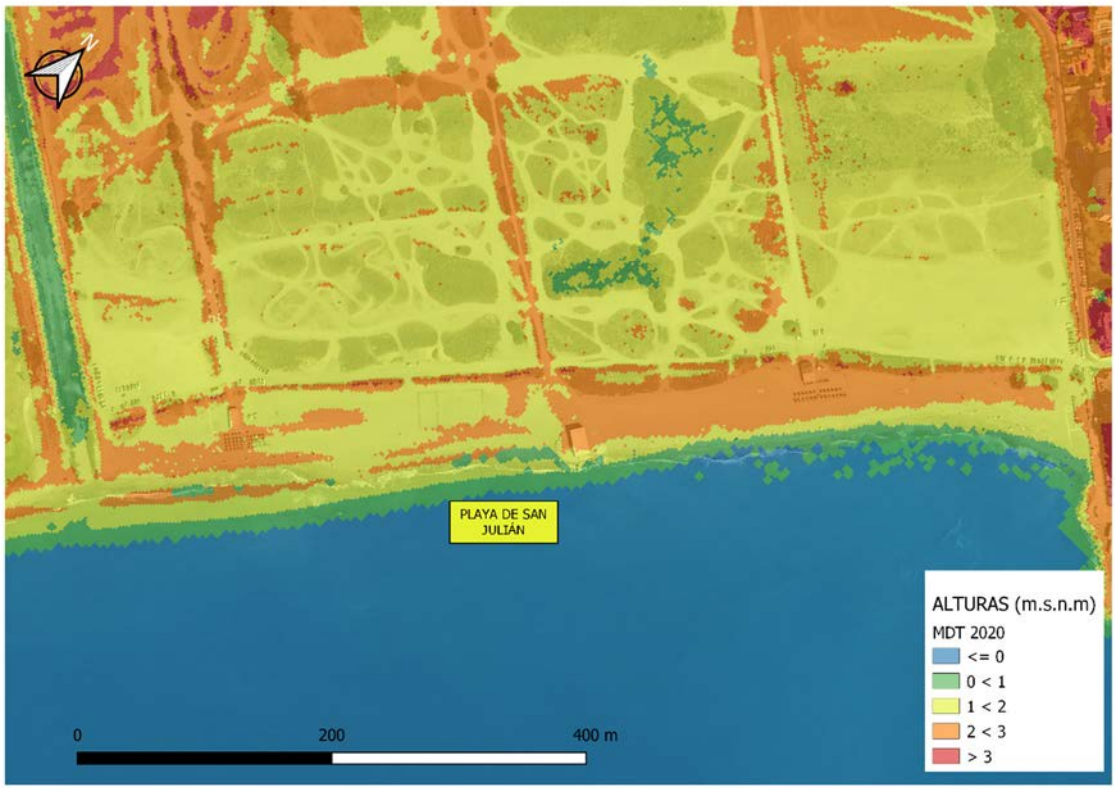
Distribución de alturas del relieve entre la playa de San Julián y la playa de Guadalmar (m.s.n.m.)

Las altitudes en el entorno de la playa de Guadalmar aumentan rápidamente desde la línea de costa hacia el interior, conforme a la actividad urbanizadora y de protección (escolleras y espigones).



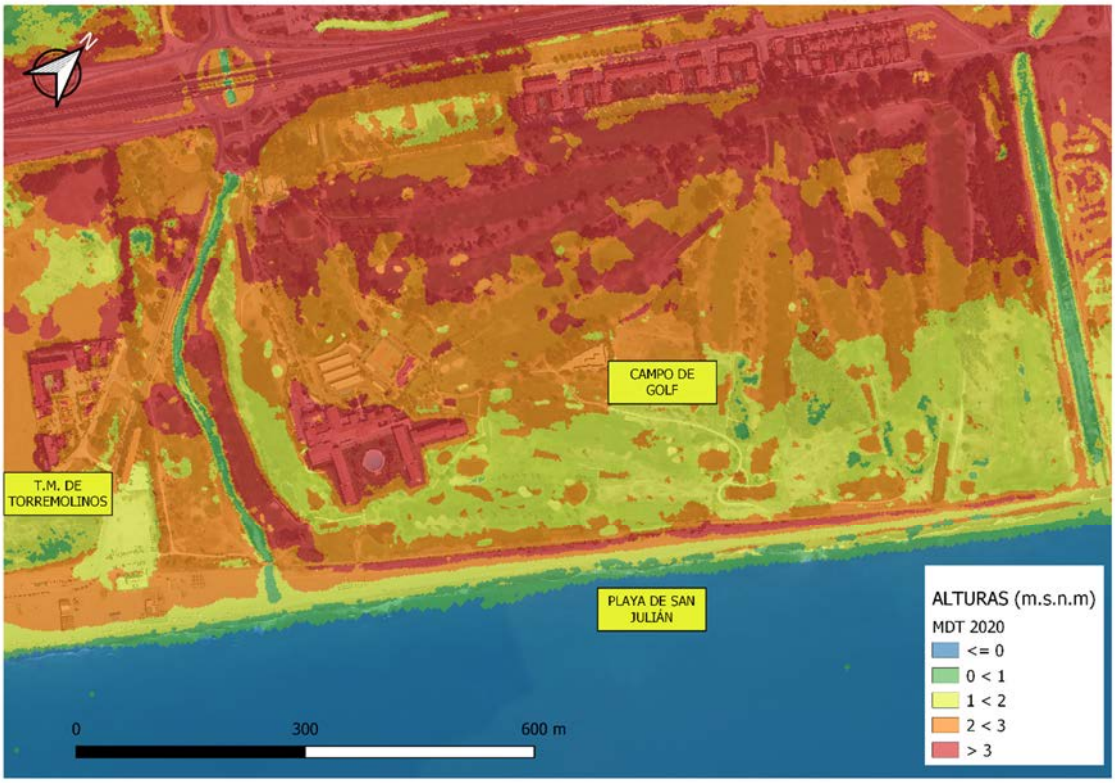
Distribución de alturas del relieve en la playa y urbanización de Guadalmar (m.s.n.m.)

Hacia el oeste, el incremento de alturas entre la línea de costa y el interior es menor. Se destaca una distribución lineal de elevaciones paralela a la costa de entre 2 y 3 m.s.n.m., coincidente con formaciones arenosas, que podrían formar parte de estructuras dunares.



Distribución de alturas del relieve en la playa de San Julián (m.s.n.m.)

En las proximidades del campo de golf, la distribución de alturas es similar, pero con mayor incremento, hacia el interior. Las mayores son coincidentes con las edificaciones, instalaciones y estructuras de protección de avenidas como se observa en la margen izquierda del arroyo procedente del Camino de la Cizaña y que bordea, en dirección N-S el extremo occidental del campo de golf. Entre dichas instalaciones y la playa, se observa una franja estrecha con alturas superiores a 3 m.s.n.m. y que coincide con el cerramiento exterior y una elevación del terreno debido a formaciones arenosas, visibles en ortofoto, y que podrían formar parte de estructuras dunares.



Distribución de alturas del relieve en la playa frente al campo de golf (m.s.n.m.)

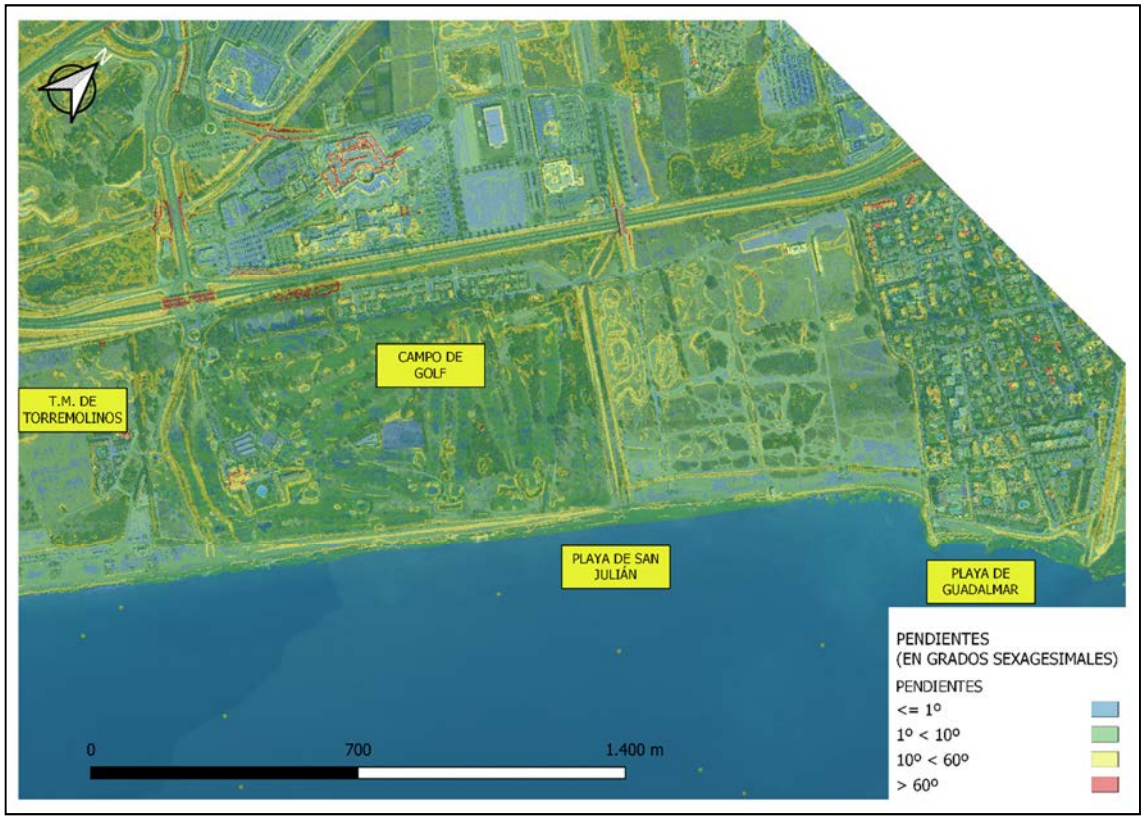
4.1.2 Distribución de pendientes

Predominan las pendientes inferiores a 10º, como corresponde a un entorno de playa baja.

En este entorno, existen estructuras con pendientes mayores, hasta 60º, que se distribuyen paralelas a la línea de costa:

- La primera, más próxima a la línea de costa, coincidente con el escarpe de la playa. Estas son más perceptibles en la playa de San Julián. En la playa de Guadalmar, estas pendientes coinciden con las escolleras.
- La segunda, coincidente con formaciones arenosas al interior.

Entre ambas líneas de mayores pendientes, se extiende la playa con pendientes inferiores a 1º, características de playa baja.



Distribución de pendientes entre la playa del campo de golf y San Julián, y la playa de Guadalmar (en grados sexagesimales).

4.1.3 Contexto geológico

El valle del Bajo Guadalhorce es una zona deprimida heredada, es decir, no es la red hidrográfica del río Guadalhorce y la destrucción de sus vertientes la que ha ido labrando el valle, sino que el río Guadalhorce ha aprovechado una depresión postorogénica previa a su propia existencia. En el Plioceno inferior, hace 5-4 Ma constituyó una zona marina somera con fuerte subsidencia. Finalmente, emergió hacia el final del Plioceno inferior, hace unos 4 Ma.

Se ha desarrollado una amplia zona costera, aunque la expansión urbanística hace difícil la observación de sus características. En todo caso, podemos observar amplias playas, con bermas variables, aunque en general suaves. En las playas hay pocos guijarros porque el río Guadalhorce, en épocas de tormentas, suele transportar la mayoría de los detríticos gruesos mar adentro a través de la plataforma por su canal submarino y las corrientes de deriva distribuyen el material arenoso a lo largo del litoral. En la desembocadura, los vientos dominantes de levante favorecen el desarrollo de cordones litorales paralelos a la costa avanzando hacia el SW. Han desarrollado dunas, hoy día muy poco perceptibles y en gran parte fijada por pinares.

Las playas de Guadalmar y San Julián se localizan en la margen derecha de la desembocadura del río Guadalhorce. Las condiciones de aridez y torrencialidad de las lluvias favorecen la formación de playas en el entorno de la desembocadura, compuestas, en su mayor parte, por sedimentos fluviales procedentes del río Guadalhorce y otros cauces de arroyada y ramblas litorales que pueden aportar fracciones más gruesas e irregulares.

La información geológica ha sido extraída de la hoja 1067, de Torremolinos, del MAGNA 1/50.000 del IGME.

Los materiales que componen el entorno de la zona de estudio están compuestos por Sedimentos Postmantos tanto del Mio-Plioceno, Plioceno Superior y Cuaternario.

- Mio-Plioceno y Plioceno Superior.

Se distribuyen alrededor de los depósitos Cuaternarios aluviales y costeros. En las proximidades de la zona de estudio, afloran al NW de los depósitos cuaternarios aluviales y de playa, en contacto discordante, de la playa de San Julián. Compuesto por afloramientos situados en la llanura costera, rellenando la Hoya de Málaga y algunos más pequeños a lo largo de la costa. Son sedimentos marinos, con abundante fauna de edad Andaluciense-Plioceno. Se distinguen arcillas, margas, arenas y conglomerados.

- Cuaternario

En la zona de estudio se pueden distinguir, por su origen, sedimentos cuaternarios marinos y continentales asociados, por una parte, a los depósitos de playas y, por otra, a la llanura de inundación del río Guadalhorce.

  - Cuaternario marino

    - <u>Playas actuales</u>

Los depósitos de playas son de escasa anchura. Las granulometrías suelen ser bastas, con litologías de formaciones más o menos próximas, especialmente paleozoicas que son las que afloran en la región con mayor extensión.

    - <u>Dunas costeras</u>

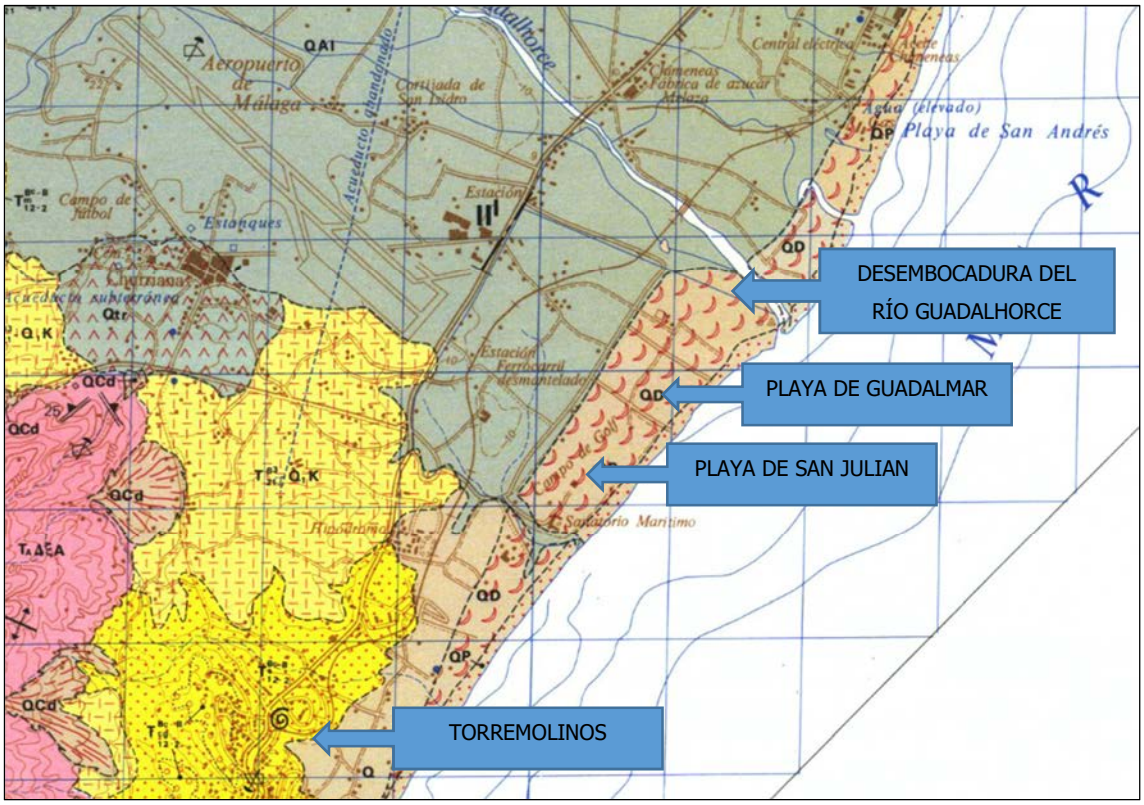
Las dunas costeras que actualmente son visibles con más facilidad se encuentran en las proximidades de la playa de San Julián y Arraijanal. Por otra parte, a poniente del campo de golf, en las parcelas ubicadas en el área de la Cizaña, se observan formaciones dunares allí donde la actividad antrópica es más reducida (construcciones o vertidos).

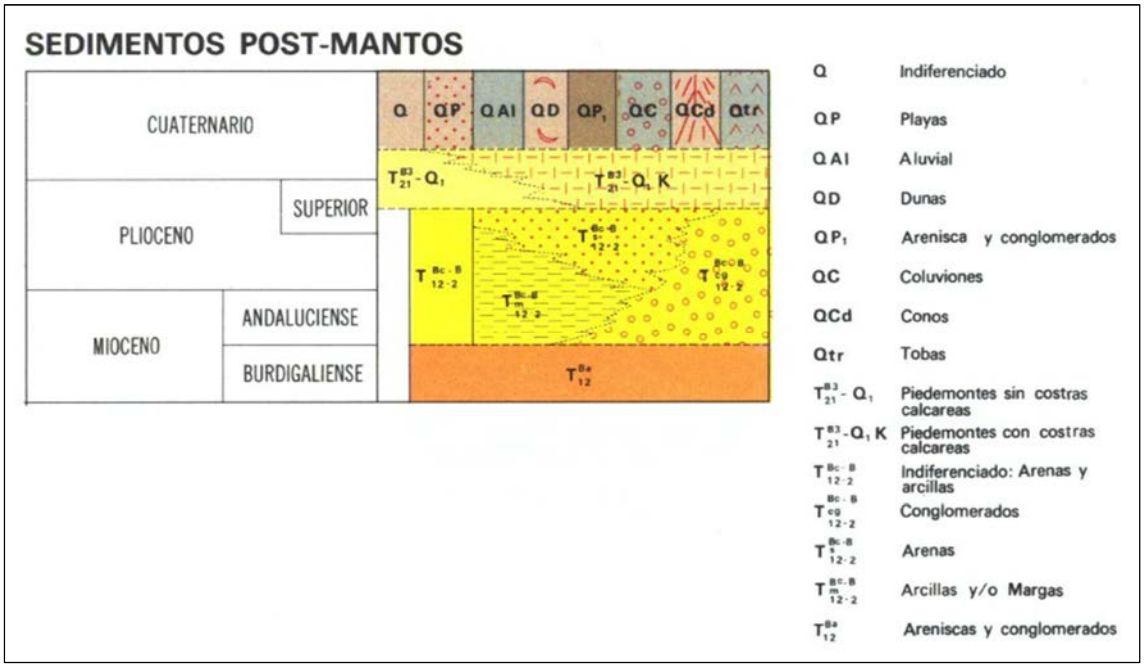
Lo forman arenas cuarcíferas finas, muy elaboradas y con huellas de transporte eólico. Las arenas aparecen con ausencia de elementos ligeros, debido a la naturaleza del transporte eólico.

  - Cuaternario continental

    - <u>Aluviales</u>

En el bajo Guadalhorce alcanzan gran extensión y potencia. Se sitúan a pocos metros sobre el cauce actual. En nuestra zona de estudio, se localizan al NW de las dunas costeras, en contacto discordante, ocupando la llanura de inundación del río Guadalhorce, en el área próxima a la urbanización de Guadalmar, y la llanura litoral. Este material se desplaza actualmente hacia el mar, siendo la principal fuente de sedimentos para las playas.



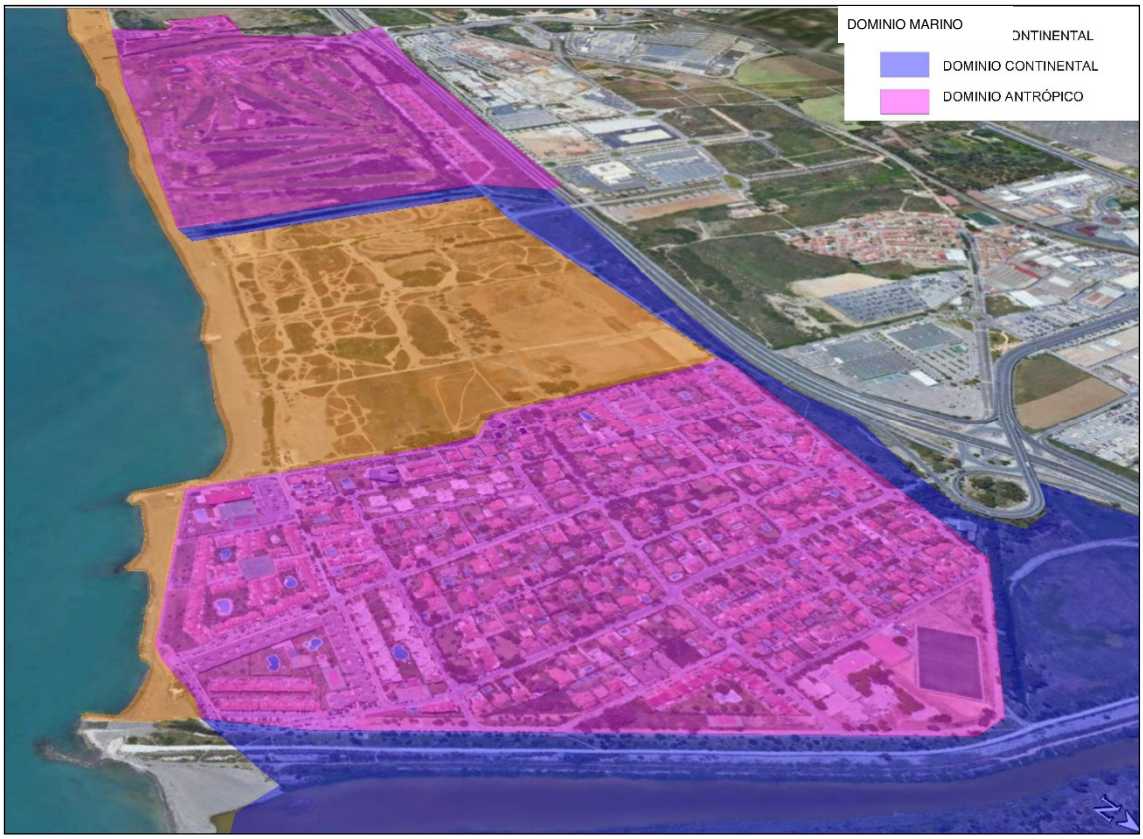


Información geológica de la hoja nº 1067 de Vélez-Málaga, del MAGNA 50 del IGME

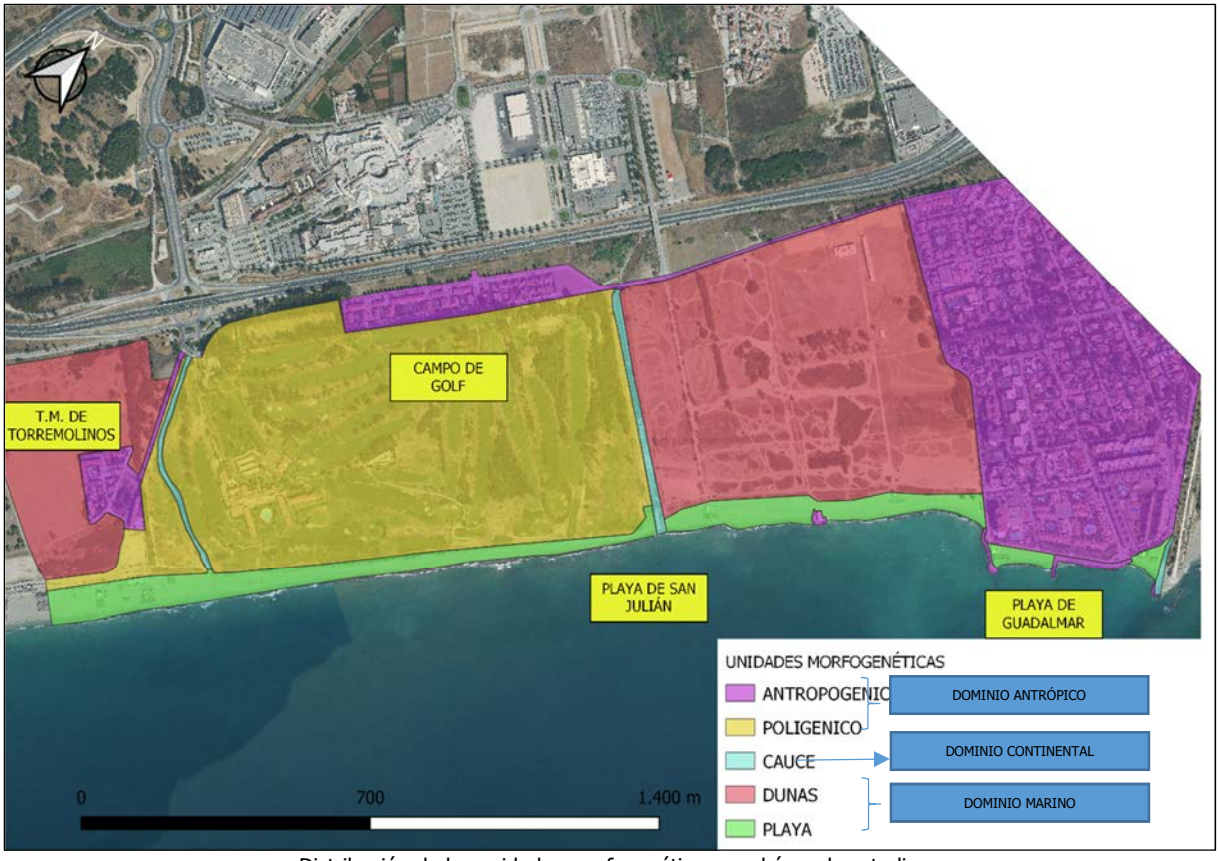
4.1.4 Dominios morfogenéticos

Encontramos en el área de estudio tres Sistemas Morfogenéticos, dos en el Dominio Marino (litoral y eólico), y uno en el Dominio Continental (fluvio-coluvial). El Dominio Antrópico se define por las formas características de la actividad humana como la ocupación del terreno por urbanizaciones y otras actividades como la agricultura o el transporte.

El Dominio Marino se extiende a lo largo de las playas de Guadalmar y San Julian, y las dunas entre la urbanización de Guadalmar y el campo de golf.



Distribución de los dominios morfogenéticos en el área de estudio



Distribución de las unidades morfogenéticas en el área de estudio

4.1.5 El Dominio Morfogenético Marino

La delimitación del Dominio Morfogenético Marino responde a la identificación realizada mediante fotografías aéreas actuales. En ellas se pueden observar actividades antrópicas contiguas a dicho Dominio que la han modificado sustancialemnte. En este apartado se describe el área donde se pueden identificar con claridad las unidades morfogenéticas definitorias del Dominio Morfogenético Marino.

- Playa de arenas y/o gravas

La playa de mayor extensión en la zona de estudio y con menor presión urbanística es la Playa de San Julián. La playa de Guadalmar, ha sido continuamente modificada por construcciones de protección del litoral como escolleras y espigones, habiendo perdido en la actualidad gran parte de su superficie en comparación con las extensiones registradas en las ortofotos históricas (desde los años 50, aproximadamente).

La playa de San Julián tiene unos 2.300 m de longitud y una anchura media aproximada de 50 m, localizándose las mayores en la zona próxima a la urbanización de Guadalmar y las menores frente al campo de golf. Esta playa, a pesar de tener menor presión urbanística, posee instalaciones relacionadas con la red de saneamiento, en particular, una EBAR (estación de bombeo de aguas residuales) y la línea integral (junto con sus correspondientes pozos de registros), de hormigón y un diámetro de entre 1.000 – 1.100 mm. Los elementos puntuales que componen esta línea de saneamiento se encuentran, como decimos, en la playa, habiendo sido afectadas por el oleaje de forma periódica (como es el caso de los pozos de registro) o de forma permanente, como es el caso del edificio de la EBAR, hasta llegar a construir una obra de protección entorno a dicho edificio consistente en una escollera, actuación que, como se observa en las imágenes siguientes correspondientes a marzo de 2023, a la postre, están resultando del todo inútil ante la regresión que sufre la línea de playa, debiendo acometer actuaciones periódicas de relleno entorno al edificio (como se observa en las imágenes).

Actuación de protección de EBAR en playa de San Julián, consistente en rellenos de arena entorno a la escollera. Fecha de la foto: 7 de marzo de 2023.

Actuación de protección de EBAR en playa de San Julián, consistente en rellenos de arena entorno a la escollera. Fecha de la foto: 7 de marzo de 2023.

En la playa del campo de Golf, los 10.000 m3 anuales que se aportan no ha conseguido evitar que el campo de golf tenga alcances del oleaje. El sedimento que aportan al campo de golf se obtiene del río Guadalhorce y ocasionalmente de las excavaciones del metro de Málaga y otras excavaciones de edificaciones y promociones de la zona que descubren arenales fósiles.

Este tipo de actuación, destinadas a contrarrestar los efectos negativos de la dinámica litoral, afectan a su evolución y desnaturalizan el entorno, forzando a incluir los elementos propios de la actuación antrópica para la descripción de áreas pertenecientes al Dominio Morfogenético Marino.

- Dunas

La delimitación de las dunas se ajusta a la información del MAGNA50 del IGME. Teniendo en cuenta la escala, es necesario el estudio de detalle de esta área con el apoyo del análisis de muestra de sedimentos para poder realizar una delimitación más ajustada. Los resultados de dichos análisis se muestran en puntos posteriores. No obstante, la zona marcada donde aparecen acumulaciones de arenas cuarcíferas finas, muy elaboradas y con huella de transporte eólico, concordantes, en principio, con dunas, afloran desde la playa de San Julián hasta la carretera del Campo de Golf, y entre la urbanización de Guadalmar y el Parador Málaga Golf. Se observan alteraciones por actividad antrópica que pueden modificar el transporte de sedimentos y su balance.

Campo de dunas de Arraijanal. Fecha de la fotografía: 15 de noviembre de 2023.

4.1.6 El Dominio Morfogenético Continental

En el área próxima a la urbanización de Guadalmar, la actividad antrópica, mediante la actividad constructiva, ha modificado las características naturales al interior de la playa y su transición al Dominio Continental, que es inidentificable en este caso por la unión directa entre la zona de playa y el paseo marítimo.

Los elementos principales que se pueden observar son los cauces de dos arroyos que se sitúan a ambos lados del campo de golf. Se trata de cauces con régimen transitorio y concentración de escorrentías, que sufren crecidas rápidas conforme a la precipitación.

Ambos cauces han sido modificados mediante actuaciones de encauzamiento que facilitan la evacuación de caudales hasta el mar.

Los materiales que forman este dominio son fundamentalmente cuaternarios próximos a depósitos y humedales de transición en el área de las desembocaduras.

4.1.7 El Dominio Morfogenético Antrópico

- Urbanización y protecciones

El principal proceso antrópico que se observa en la zona de estudio es el que interviene sobre los esquemas de la refracción del oleaje utilizados como solución a los problemas de erosión de la costa como regeneración de playas y construcción de espigones y escolleras. Estos elementos surgen a partir de la construcción de la urbanización de Guadalmar y su paseo marítimo, ubicándose en la zona más próxima a la costa, siendo uno de las principales causas para la transformación de la línea de costa y su balance sedimentario.

Escollera defensiva y paseo marítimo de la urbanización Guadalmar. Fecha de la fotografía: 5 abril 2022.

- Instalaciones

Existe otro elemento antrópico, de carácter puntual, en la estación de bombeo de aguas residuales (EBAR) que debió protegerse con escolleras tras verse afectada por la regresión de a costa.

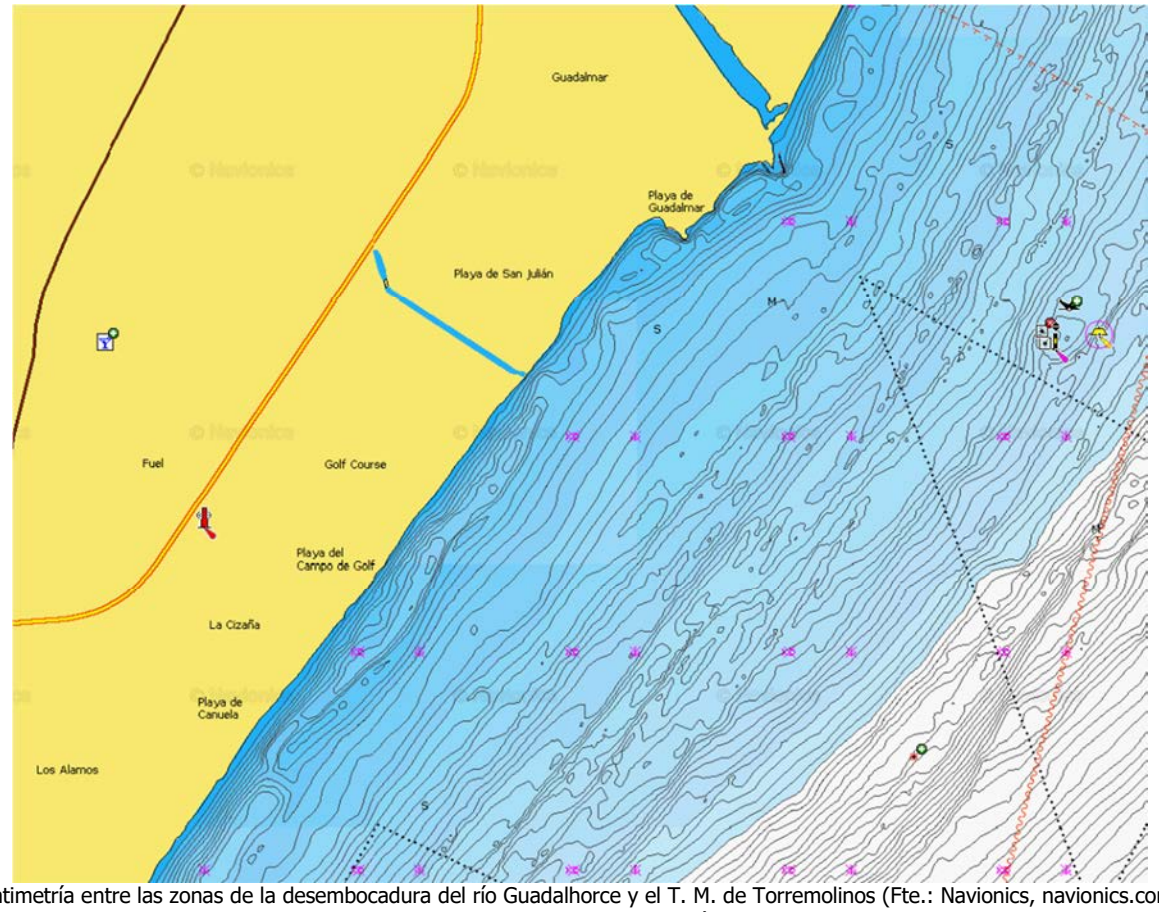
Actuaciones antrópicas semejantes se han dado frente al campo de golf, especialmente en torno a la desembocadura del arroyo que l por el flanco oriental. Se han realizado continuos rellenos en la playa para contener la regresión que podía llegar a afectar al parador de golf. No obstante, a nivel paisajístico, estas actuaciones no tienen mayor impacto que las anteriores y se asimilan con facilidad en la dinámica litoral.

4.1.8 Morfodinámica de la costa entre Torremolinos y la desembocadura del río Guadalhorce

- Batimetría

Nos encontramos en un tramo de costa con orientación NE-SW y una batimetría de escasa pendiente donde la isobata -10 m se alcanza en torno a 1.000m de distancia de la línea de costa.

En la mitad más meridional del tramo de estudio (entre Torremolinos y el campo de golf) se observa un canal o depresión en la zona de nearshore que separa una elevación o barra litoral sumergida de la costa. Entre dicha depresión y la línea de costa, se forma una pendiente muy pronunciada.



Batimetría entre las zonas de la desembocadura del río Guadalhorce y el T. M. de Torremolinos (Fte.: Navionics, navionics.com, 2023. No apto para navegación).

A medida que nos acercamos a Guadalmar, el canal o depresión que hemos mencionado desaparece y sólo se observa una amplía la zona de nearshore, de escasa pendiente, y que se extiende más hacia el mar, afectada por el efecto de los espigones de Guadalmar, creando relieves más planos en la isobata -2 m.

- Relación entre la orientación de la línea de costa, morfología de la zona de nearshore y su respuesta ante temporales

La orientación de la línea de costa tiene una fuerte influencia sobre el transporte/erosión de sedimentos en el área de nearshore. Este efecto destaca principalmente durante el desarrollo de fenómenos costeros de carácter extremo, como los temporales. En el Mediterráneo, los temporales se definen a partir de una altura significante de ola de 2 m y dura al menos 5 horas (Consejería de Medio Ambiente, 2003).

La prolongación submarina del delta del río Guadalhorce se extiende de forma asimétrica con respecto a la desembocadura en dirección suroeste, concordante con el predominio de la corriente en dirección hacia el suroeste (Ferández Salas L.M., 2015). Por tanto, la zona de Guadalmar se ve influenciada por la llegada de los sedimentos fluviales, lo que ayuda a la generación de una batimetría plana, amplia y cuyo nearshore, como se ha descrito anteriormente, se pueda llegar a prolongar hasta un kilómetro desde la línea de costa. La construcción de los diques de Guadalmar tienen como fin la retención de dichos sedimentos para la generación de playa. No obstante, producen un incremento de la superficie de nearshore. Si bien, en un principio, favorecen esta acreción en la línea de costa, posteriormente, al aumentar la superficie de erosión, tanto los temporales de levante como los de poniente disponen de una amplia zona de transporte/erosión del fondo que puede llegar a afectar en mayor medida al trazado de la línea de costa. Dicho fenómeno, a lo largo de los años, se puede observar en la evolución de este tramo en los años siguientes a la construcción de dichos diques.

En la mitad meridional del tramo de estudio, desde el campo de golf hasta Torremolinos, la existencia de una barra de sedimentos separada por una depresión, antes de llegar a la línea de costa, sumado a

una elevada pendiente, antes de la misma, que casi convierten a este tramo en una playa reflexiva, favorece la disipación de la energía del oleaje antes de su llegada a la costa. Por otra parte, la elevada pendiente en la zona de rompiente y surf limita mucho más la superficie expuesta a erosión.

No obstante, en este caso, si bien los temporales de levante, cuyo oleaje se desarrolla perpendicularmente a la línea de costa, encuentran mayor dificultad para erosionar la costa, los de poniente, por su trazado casi paralelo a la costa, encuentran una mayor superficie de erosión y pueden llegar a ocasionar más cambios en la costa.

5 ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA PARA LA DEFINICIÓN DE SU ESTADO FUTURO Y DEL DPMT.

5.1 Estudio de la evolución de la costa de Guadalmar y playa de San Julián mediante ortofotografía histórica.

Para el análisis de la evolución de la línea de costa, se han utilizado las ortofotos y vuelos disponibles en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y en la Diputación Provincial de Málaga, a través del portal IDEMAP, que cubren la zona de estudio entre la playa de Guadalmar y la playa de San Julián, hasta el límite con el T. M. de Torremolinos.

En la tabla siguiente, se detallan las características de las imágenes aplicadas al presente estudio.

NOMBRE	AÑO	RESOLUCION (m) / ESCALA
ORTOFOTOS PROVISIONALES DEL PNOA	2022	0,25
PNOA MÁXIMA ACTUALIDAD	2019	0,25
ORTOFOTO HISTÓRICA PNOA	2016	0,25
IDEMAP (DIP. DE MÁLAGA)	2012	0,2
ORTOFOTO HISTÓRICA PNOA	2010	0,5
ORTOFOTO HISTÓRICA PNOA	2008	0,5
ORTOFOTO HISTÓRICA PNOA	2006	0,5
ORTOFOTO HISTÓRICA PNOA	2004	0,5
FOTOGRAMA 1067017943 VUELO ANDALUCÍA AÑO 2001 – 2003	2003	1/20000
VUELO QUINQUENAL 1998-2003	Agosto 2000	1/40000
FOTOGRAMA 1067011239 VUELO ANDALUCÍA AÑO 1991 – 1996	1995	1/20000
FOTOGRAMA 1067016907 VUELO ANDALUCÍA AÑO 1991 - 1996	Abril 1993	1/20000
VUELO DE COSTAS	1990	1/5000
FOTOGRAMA 1067025663 VUELO COSTA DEL SOL	1987	1/18000

FOTOGRAMA 1066010157s VUELO ANDALUCÍA	1985	1/40000
FOTOGRAMA 1067160359 VUELO PERIMETRO COSTERO DE ANDALUCIA	1984	1/25000
VUELO NACIONAL 1980-1986	1982	1
VUELO INTERMINISTERIAL 1973-1986	1977	1/18000
VUELO DE COSTAS	1963	1/12000
VUELO AMERICANO (SERIE B) 1956-1957	Febrero 1957	1

Listado de los vuelos y ortofotos aplicados al estudio de evolución de la línea de costa con sus principales características.

Como se puede observar, el estudio se ha realizado con todas las imágenes disponibles que cubren el área de estudio entre 1957 (vuelo americano) y 2022 (PNOA). En este intervalo de tiempo, la producción de imágenes sobre la zona de estudio carece de una regularidad que nos permita crear periodos intermedios homogéneos. Este hecho será un factor a tener en cuenta en la interpretación de los resultados, puesto que no se podrán describir con precisión los posibles fenómenos que hubieran acaecido entre ellos, ya sean de erosión o sedimentación en la costa. Por tanto, sólo nos ceñiremos a los resultados obtenidos por las comparativas entre las líneas de costa resultantes de las imágenes expuestas en la tabla anterior.

Para completar este estudio, ha sido necesario establecer una línea de referencia interior, a fin de poder establecer una superficie junto con las diferentes líneas de costa resultantes, y obtener otros valores representativos del estado evolutivo de toda la playa. Dicha línea interior se aplica a modo de referencia, sin pretender establecer el límite de la playa.

Para esta delimitación nos hemos apoyado en las siguientes cartografías temáticas:

- Mapa de Unidades Fisiográficas del Litoral Andaluz (2003). REDIAM. WMS: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM_Fisiografia_Litoral_Andaluz
- Mapa Geológico Continuo de España 1/50.000. WMS: https://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Geologica/IGME_Geode_50/MapServer/WmsServer

5.1.1 Definición de las líneas de costa y límite de referencia interior

5.1.1.1 Límite de referencia interior

El límite de referencia interior de la playa se establece en el frente costero que delimita la playa seca, de tal forma, se aplicará como referencia para la medición del ancho de playa, entendida como la distancia horizontal entre la línea de costa y dicha línea de referencia. El límite interior de la playa, que se define en el presente estudio, es un límite morfodinámico que, en la práctica, se sitúa en la posición del primero de los siguientes elementos desde la línea de costa hacia tierra, y que se pueden detectar en las fotos aéreas:

- Paseos marítimo o vías de comunicación.
- Frente urbano construido.
- Estructuras de protección costera como muros verticales o escolleras.

- Frente natural vegetado.
- Pie de la duna.

Nos apoyamos en las cartografías mencionadas en el punto anterior para definir el área que se tomará de referencia. Debido a las variaciones interanuales de la línea de costa, se tiene en cuenta los años de edición de dichas cartografías, utilizando de forma conjunta la ortofoto más próxima a dicho año de edición, digitalizando el límite interior como se observa en las imágenes siguientes. Este límite interior se considera una línea de referencia para poder medir, sobre los transectos perpendiculares, los distintos anchos de playa en los años de estudio y poder cuantificar la evolución de la línea de costa.

En el caso del Mapa de Unidades Fisiográficas del Litoral Andaluz (REDIAM, 2003), comparamos las distintas áreas superpuestas sobre la Ortofoto Histórica del PNOA del año 2004, al igual que con el Mapa Geológico Continuo de España 1/50.000, ya que este último comenzó a componerse en el año 2004. Posteriormente constatamos con las ortofotos más recientes (PNOA, 2022) que este límite interior no parece haber sufrido variaciones apreciables.

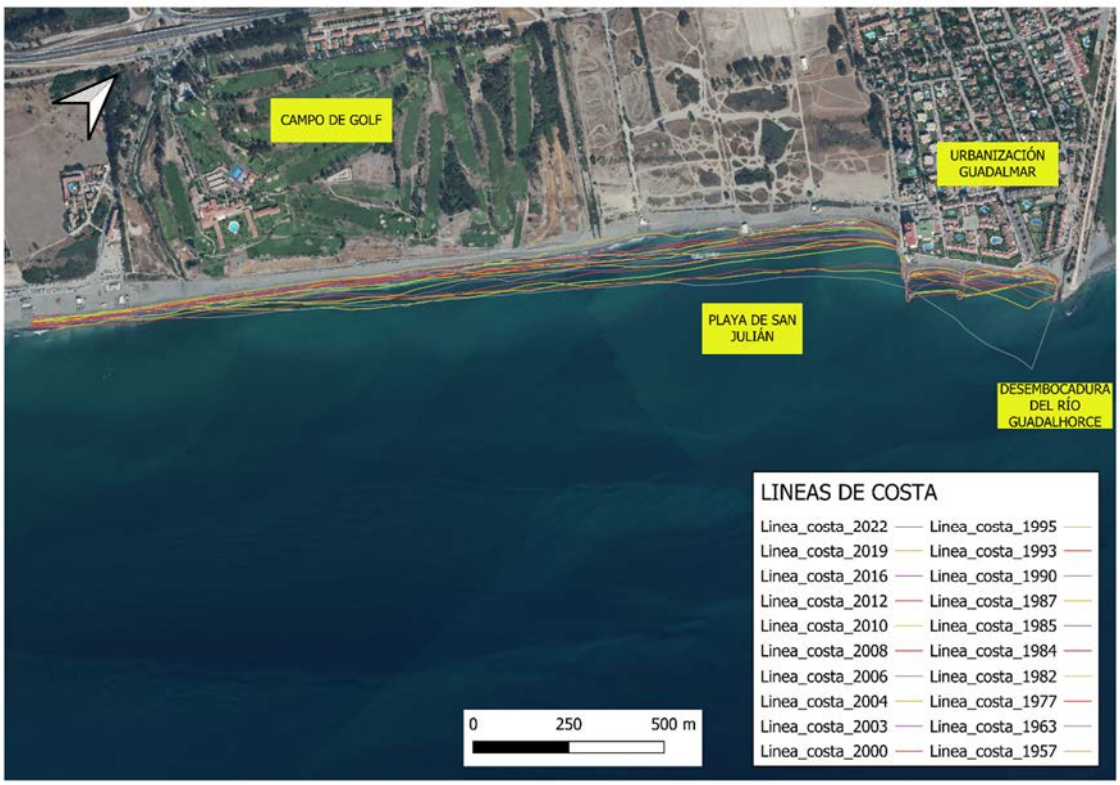
Trazado de la línea de referencia interior entre la playa de San Julián hasta el T.M. de Torremolinos

Trazado de la línea de referencia interior de la playa de San Julián y playa de Guadalmar hasta la desembocadura del río Guadalhorce

5.1.1.2 Líneas de costa

Como se expone al principio de este capítulo, se han definido veinte líneas de costa, entre el año 1957 y el año 2022, correspondientes, cada una, al año de las distintas ortofotos y vuelos utilizados en el presente estudio.

Obtenemos así veinte trazados diferentes que se presentan en las imágenes expuestas en el anexo 1.

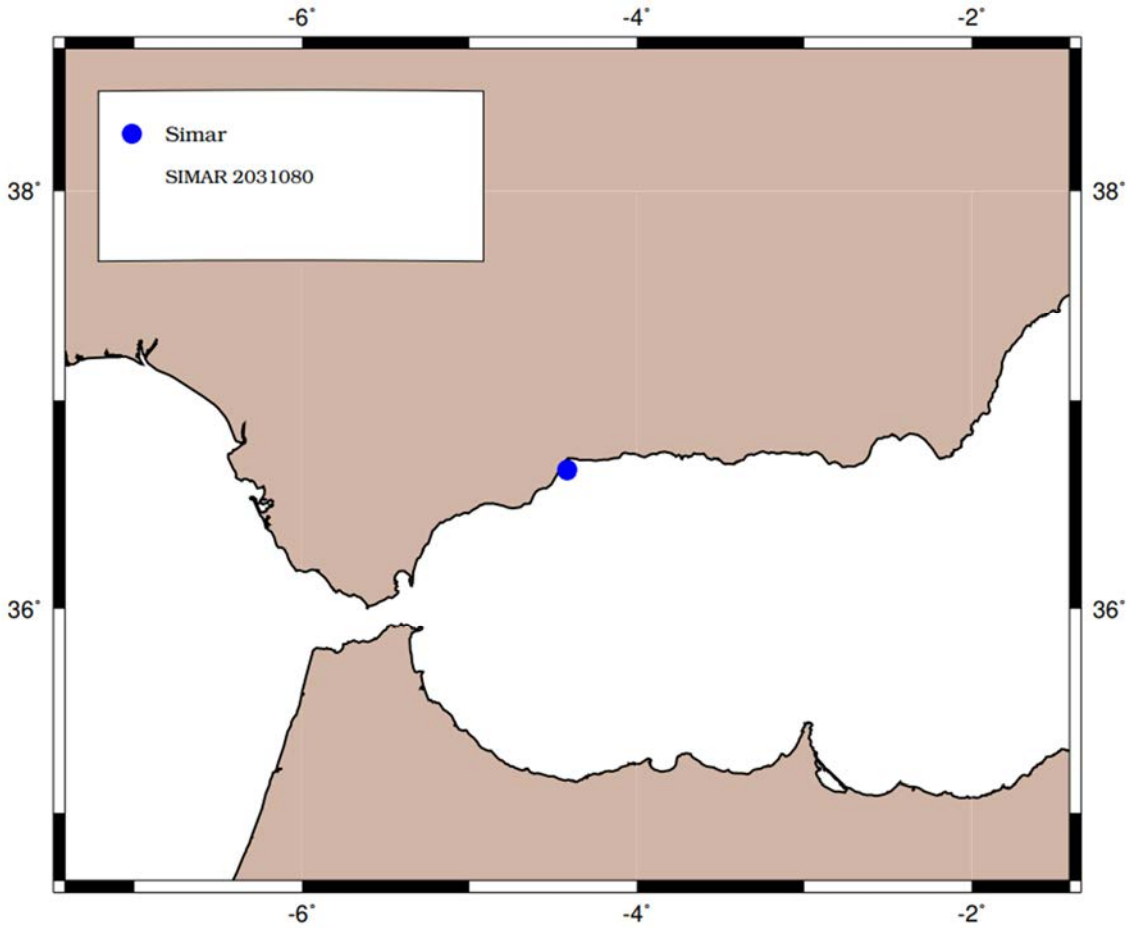


Conjunto de las líneas de costa en las diferentes imágenes analizadas

Pasaremos a describir los cambios en la línea de costa en los periodos establecidos teniendo en cuenta los fenómenos descritos en el punto 3.1.8. del presente estudio. Para ello, tendremos en cuenta los datos históricos de oleaje proporcionados por el punto SIMAR 2031080 perteneciente a Puertos del Estado y cuya localización es:

Longitud: -4.417 E

Latitud: 36.667 N



Posición del punto SIMAR 2031080 (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 1957

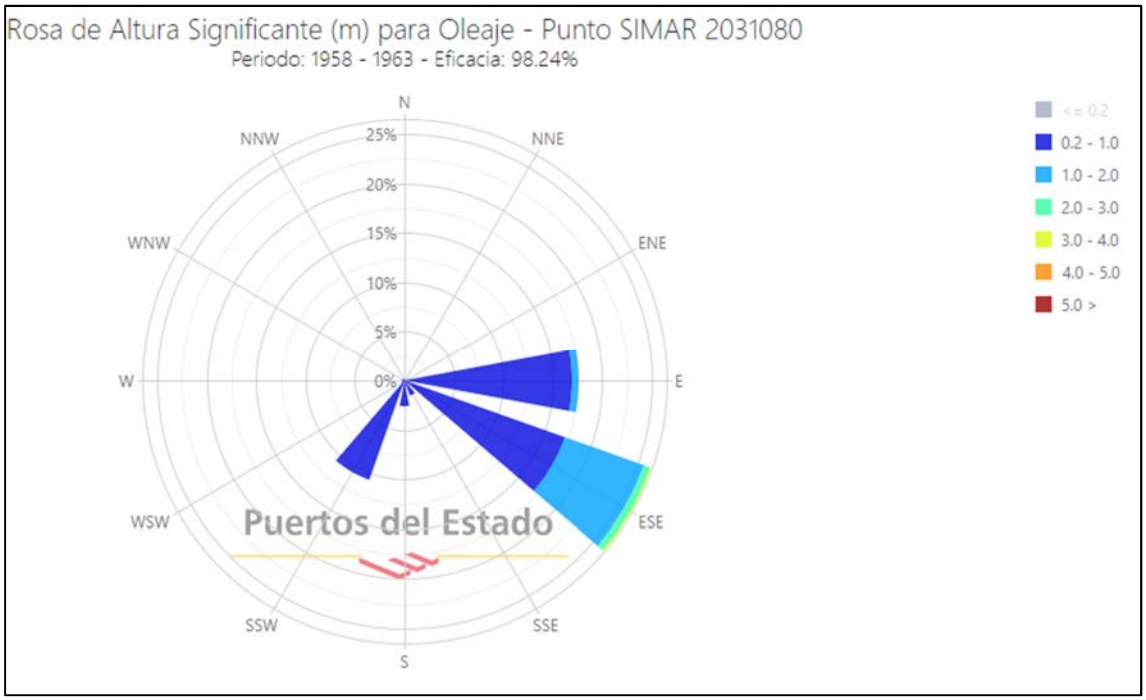
La línea de costa de 1957, trazada sobre el Vuelo Americano (1956-1957), muestra una costa rectilínea, carente de elementos antrópicos que generen rupturas o discontinuidades. Dicha antropización sólo se observa al interior, con pequeñas edificaciones aisladas y ocupaciones agrícolas en la margen derecha del río Guadalhorce (actual urbanización de Guadalmar), así como el área del campo de golf.

- Línea de costa de 1963

La línea de costa de 1963, al igual que en 1957, tiene forma rectilínea en su mayor parte, a excepción del extremo oriental, donde se observa que, entre los años 1957 y 1963, ha habido un incremento en la superficie del delta del río Guadalhorce, con la aparición de un ápice bien definido que bascula hacia el oeste, acompañado con transformaciones agrarias en la margen derecha, donde en el futuro se ubicará la urbanización de Guadalmar.

No obstante, no se contemplan infraestructuras ni obras que interfieran en la dinámica costera, dando como resultado una línea de costa sin apenas alteraciones perceptibles, más próximo a su estado natural.

Hay un predominio del oleaje y temporales de levante. Estos últimos (definidos anteriormente conforme a la CMA, 2003) no superan de media, entre 1958 y 1963 (el punto SIMAR utilizado dispone de datos a partir de 1958), el 0.78% del oleaje registrado, destacando el año 1959, con un porcentaje de oleaje superior a 2 m (sólo en ese año) del 1.46%. Entre 1958 y 1963 no se registran temporales de poniente. De esta forma, debido a la corriente dominante NW-SE, los sedimentos fluviales se distribuyen sobre la margen derecha del río Guadalhorce y los temporales de levante (dirección perpendicular a la costa, cuya morfología la convierte en una playa casi reflexiva) no producen una erosión significativa, lo que favorece una progresión de la costa tal y como se observa en las imágenes de este periodo.



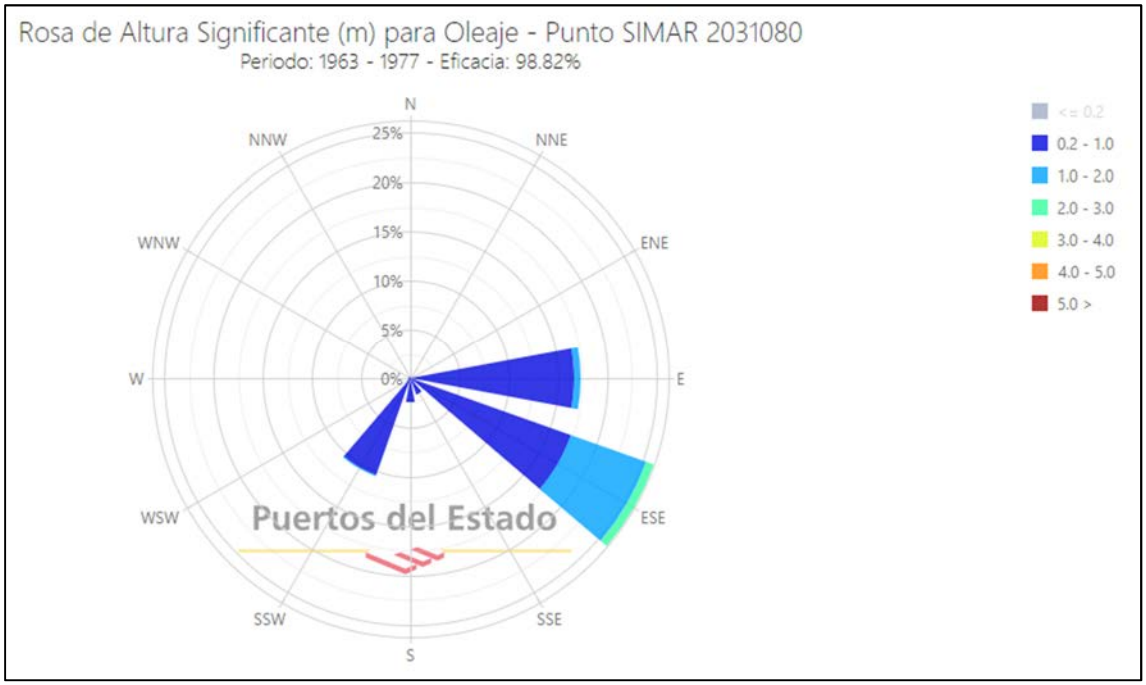
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 1977

La línea de costa de 1977, trazada sobre el Vuelo Interministerial del año 1977, al igual que en 1957, tiene forma rectilínea en su mayor parte, a excepción del extremo oriental, donde se observa que, entre los años 1963 y 1977, se ha desarrollado el suelo urbano de Guadalmar y se han creado estructuras de protección y recreción de la playa al frente de dichas parcelas. Estas obras consisten en dos espigones y la modificación de la desembocadura del río Guadalhorce. Esto creó una importante variación de la línea de costa en este tramo que será analizado cuantitativamente más adelante.

Se ha perdido el ápice del delta del Guadalhorce que se generó en el periodo anterior y los espigones han estabilizado la línea de costa hasta un perfil similar al de 1957. Sin embargo, ha generado el comienzo de un proceso regresivo en la playa de San Julián (a poniente de Guadalmar)

Hay un predominio del oleaje y temporales de levante. Estos últimos no superan de media, entre 1963 y 1977, el 0.87% del oleaje registrado, similar al del periodo anterior pero igualmente, un valor bajo. Entre 1963 y 1977 no se registran temporales de poniente.



alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

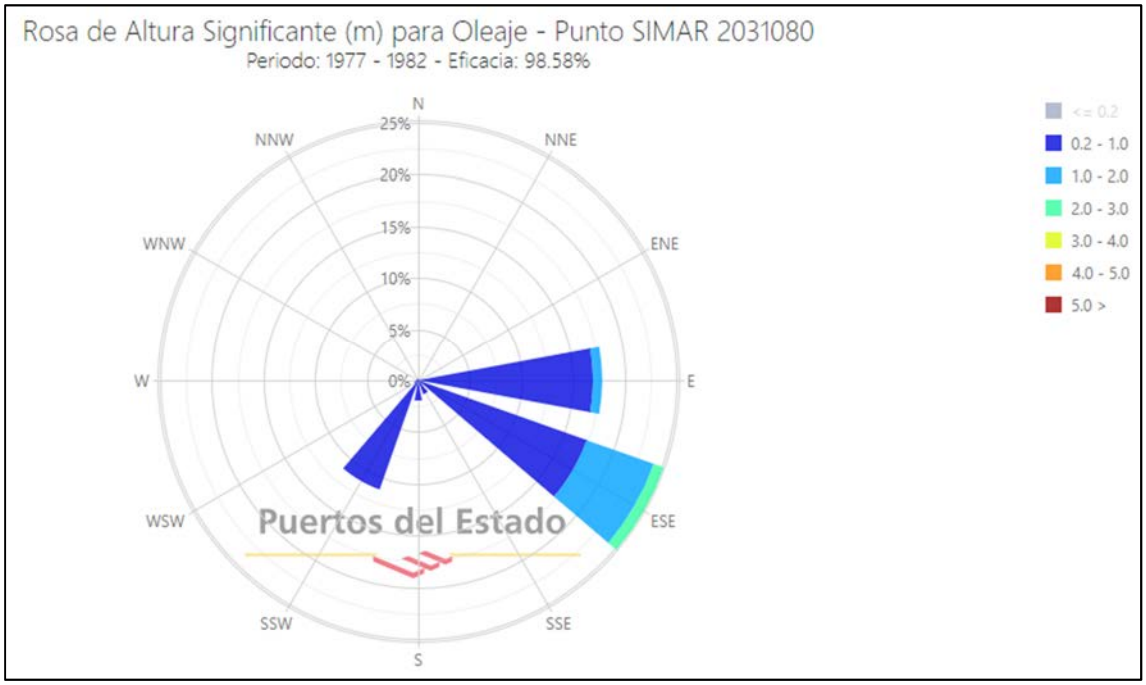
Teniendo en cuenta que no se observan grandes cambios en el comportamiento del mar con respecto al periodo anterior, cabe pensar en la reducción de aportes de sedimentos procedentes del río Guadalhorce debido a cambios en el uso del suelo, construcción de presas y ampliación de infraestructuras de irrigación que hayan podido afectar al balance sedimentario. Dicha regresión del delta que, por otra parte, entra en línea con el carácter fluctuante de la morfología en las desembocaduras de los cauces del mediterráneo andaluz (cuencas con alta capacidad de erosión y transporte, torrencialidad, etc) determinaron la solución de la construcción de los espigones para proteger la nueva urbanización de Guadalmar, junto con las obras de canalización de la desembocadura del río Guadalhorce. De esta forma, la regresión del delta del Guadalorce se pudo contener en el tramo de Guadalmar, no así en San Julian, que incluso la incrementó, al suponer estos espigones un freno al flujo de sedimentos desde el Guadalhorce.

- Línea de costa de 1982

La línea de 1982, trazada sobre el Vuelo Nacional 1980-1986, sigue conservado la forma rectilínea, a pesar de que, al oeste de los espigones, construidos para acrecentar la playa de Guadalmar y proteger la urbanización, se observa un retroceso de la línea de costa hasta llegar al extremo occidental del paseo marítimo.

A medida que nos desplazamos por la playa de San Julián, hasta el T.M. de Torremolinos, los cambios producidos en Guadalmar se van atenuando hasta que apenas son perceptibles en el entorno del campo de golf.

Continúa el predominio del oleaje y temporales de levante. Estos últimos no superan de media, entre 1977 y 1982, el 0.98% del oleaje registrado, similar al del periodo anterior pero igualmente, un valor bajo. No obstante, se puede observar cómo la media de los temporales en cada periodo va aumentando lentamente. Entre 1977 y 1982 no se registran temporales de poniente.



alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

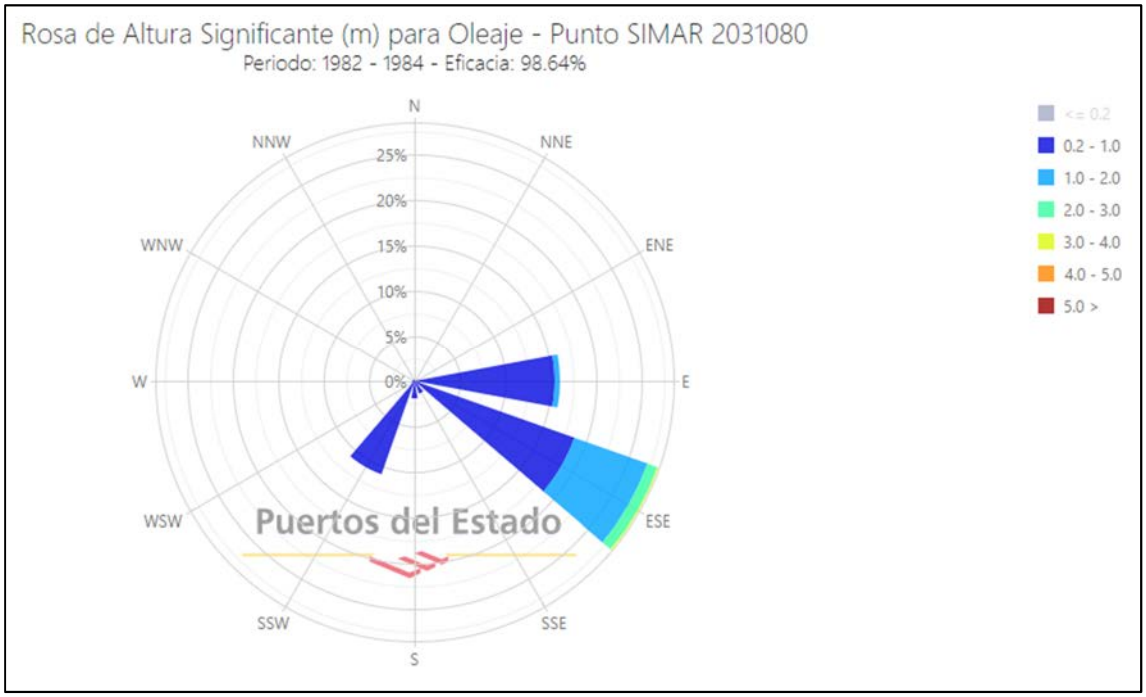
El comportamiento de la línea de costa en este periodo responde de la misma forma que lo hiciera en el periodo anterior (1963-1977) y que ya ha sido descrito.

- Línea de costa de 1984

La línea de costa de 1984, sigue conservado la forma rectilínea frente al campo de golf y la playa de San Julián. Se observa que al oeste de los espigones (en el tramo más próximo a estos) construidos para acrecentar la playa de Guadalmar y proteger la urbanización, continúa el retroceso y el incremento de formas irregulares, al igual que en el tramo de playa de Guadalmar, donde también se observa cierto retroceso en el extremo oriental y se mantienen formas irregulares a pesar de haber conservado gran parte de los rellenos conseguidos en años anteriores.

Es de destacar cómo la línea de costa en Guadalmar está llegando al límite de los espigones construido y, por tanto, cómo se está colmatando de sedimentos este tramo, lo que ha favorecido cierto flujo de sedimentos hacia la playa de San Julián que, como se puede observar, a pesar de seguir sufriendo un proceso regresivo, su velocidad es sensiblemente inferior al de los periodos anteriores. Nos acercamos así a un perfil que podríamos llamar "de equilibrio".

Dicho "equilibrio" viene apoyado en una dinámica marina con valores similares a los periodos anteriores. No existen grandes cambios hasta el momento. Continúa el predominio del oleaje y temporales de levante. Estos últimos no superan de media, entre 1982 y 1984, el 1.27% del oleaje registrado, similar al del periodo anterior pero igualmente, un valor bajo. Tal y como mencionamos en el periodo anterior, sigue en progresivo aumento la media de la frecuencia de los temporales en cada periodo. Entre 1982 y 1984 no se registran temporales de poniente.



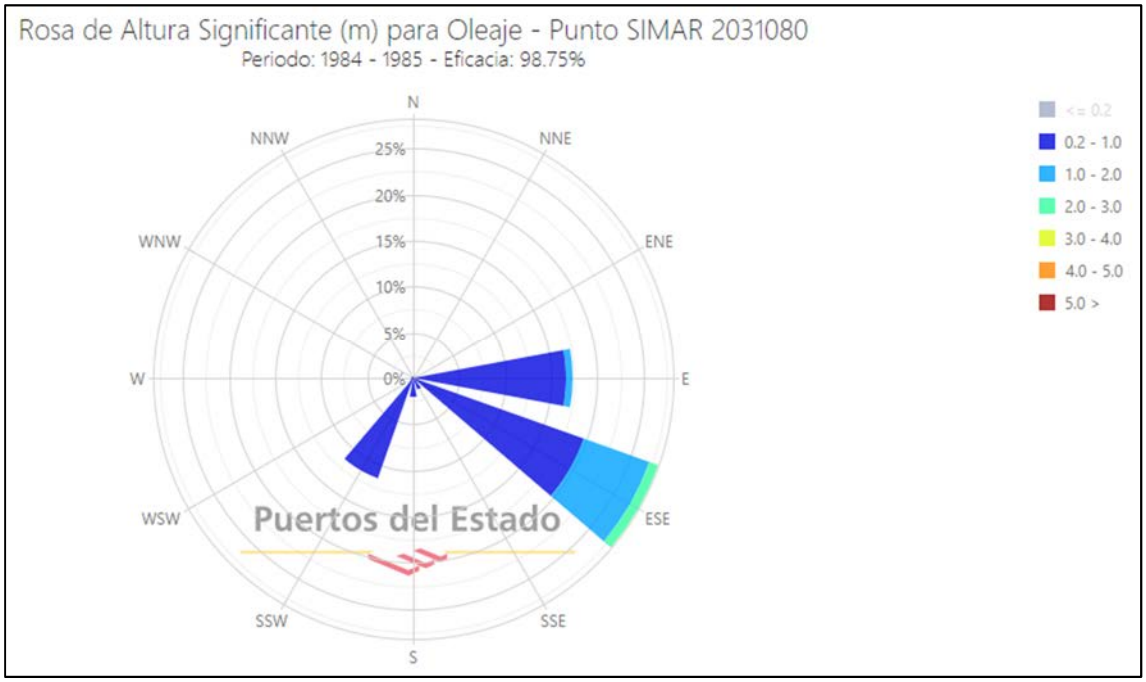
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 1985

Mientras la playa de San Julián y del campo de golf sufren una lenta regresión, aunque conservando principalmente una forma rectilínea, la playa de Guadalmar continúa generalizándose una regresión que comienza a amenazar el paseo marítimo, a pesar de las actuaciones de protección ejecutadas en años anteriores.

En el periodo anterior (hasta 1984) hemos descrito cómo la playa de Guadalmar se ha colmatado de sedimentos del río Guadalhorce hasta el extremo de los espigones, por lo que, a partir de este momento, no cabe más progresión en este tramo debido a la acción antrópica.

Ante este escenario se observa que, al igual que hasta ahora, el predominio del oleaje y temporales es de levante. La frecuencia de oleaje registrado característico de temporales supone un 1.2% del total registrado en entre 1984 y 1985. Se mantiene el porcentaje con respecto al periodo 1982-1984, por lo que cabe esperar un impacto sobre la línea de costa. Entre 1984 y 1985 no se registran temporales de poniente.



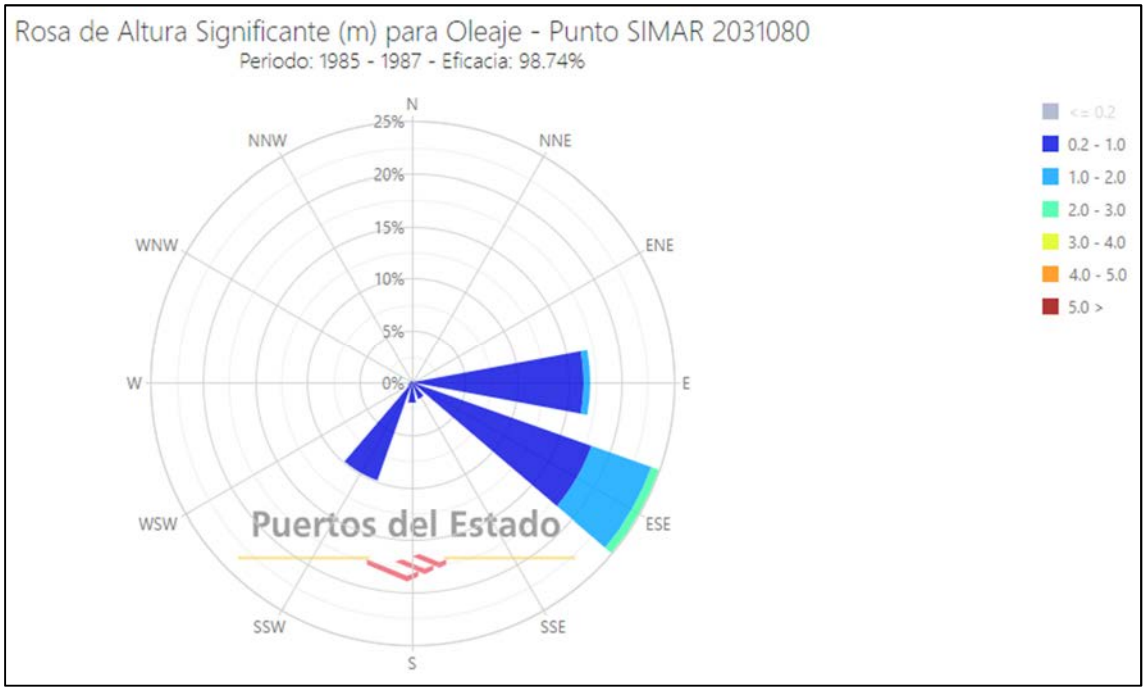
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

Como hemos mencionado en el punto 3.1.8., la amplia zona de rompiente (nearshore) frente al tramo de Guadalmar, cuyo crecimiento ha sido favorecido en los años anteriores por los espigones, ahora es una gran llanura donde el oleaje de levante es capaz de transportar y erosionar grandes cantidades de sedimento, al contrario de lo que ocurre entre la playa del campo de Golf y Torremolinos que, protegidos por una barra de sedimentos seguido de una fuerte pendiente dificultan los procesos erosivos, haciendo que el efecto de la regresión en este tramo sea, en comparación, mucho menor.

- Línea de costa de 1987

Diferentes procesos de recreción y erosión se distribuyen irregularmente por la línea de costa de la playa de San Julián y frente al campo de Golf, sin embargo, se conserva la forma rectilínea de este tramo de costa. Por otra parte, las irregularidades aumentan en la playa de Guadalmar, donde se observan cambios regresivos y progresivos, que hacen destacar el perfil de los espigones. Se observa cómo la mayor parte de la urbanización de Guadalmar ya se encuentra edificada, excepto el área próxima al río Guadalhorce.

Continúa el predominio del oleaje y temporales de levante. Estos últimos han reducido su frecuencia con respecto a periodos anteriores, registrándose un 0.73% de los mismos respecto del total del oleaje registrado en este periodo. Entre 1985 y 1987 no se registran temporales de poniente.



alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

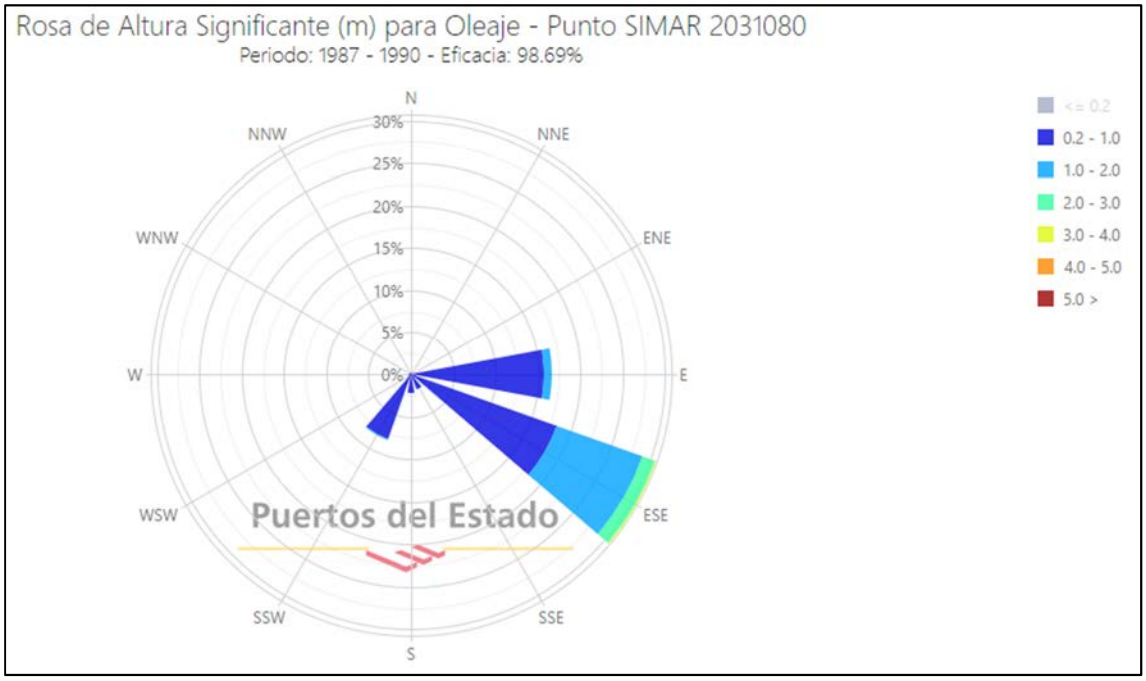
La principal consecuencia de la disminución de los temporales en estos dos años ha sido una evolución favorable del tramo de Guadalmar, al igual que la estabilización del resto del tramo de costa hasta Torremolinos.

- Línea de costa de 1990

Por una parte, el tramo de costa de la playa de San Julián sigue conservando la morfología de años anteriores. Por otra, se observa en la ortofoto del tramo de Guadalhorce que se están haciendo trabajos de restauración de la playa de Guadalmar mediante rellenos. Se puede observar que, en el extremo oriental, ha habido una regresión notable y en la mitad occidental, los rellenos están tratando de recuperar la línea de costa hasta el extremo del espigón.

Todo ello determina que entre 1987 y 1990 se ha registrado movimientos regresivos graves que han obligado a actuar para recuperar la costa y proteger las viviendas de Guadalmar.

Se detecta en este periodo un rápido incremento de la frecuencia de los temporales, siendo dicho oleaje un 1.8% del total del oleaje registrado entre 1987 y 1990. Esta frecuencia es más del doble de lo registrado entre 1963 y 1977, y su efecto en la costa es notable. Son, en su totalidad, temporales de levante. No obstante, se registra en este periodo un ligero aumento del oleaje de poniente, sin llegar a existir, hasta el momento, temporales de dicha dirección.

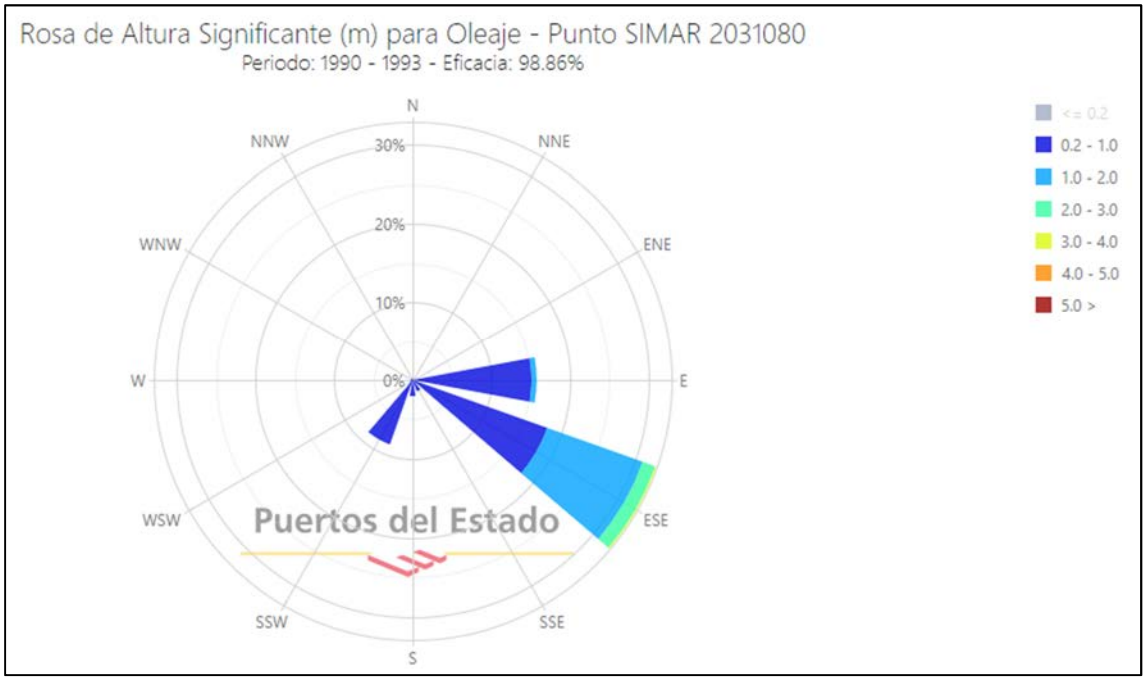


alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 1993

En la playa de San Julián, frente a Arraijanal, se ha instalado una estación de bombeo de aguas residuales (EBAR) y una línea "integral" de hormigón de diámetro 1.100 mm (HM1100) que discurre paralelo a la línea de costa y ocupa la playa. Esta actuación, a poniente de la EBAR, ha resultado en una regresión sobre un tramo de costa de unos 250 m. Por otra parte, la actuación de regeneración de playas llevada a cabo en Guadalmar y que se observa en la imagen del vuelo de 1990, no ha frenado la regresión que venía sufriendo y se observa aquí cómo la mitad oriental de la playa de Guadalmar casi ha desaparecido, mientras la mitad occidental sigue conservando sólo una parte de la misma. Se ha reducido la extensión del espigón en el extremo occidental. Ahora los sedimentos de playa llegan hasta dicho extremo. Al reducirse el mismo, se ha favorecido la progresión de la costa en la playa de San Julián.

El fuerte aumento de la frecuencia de los temporales detectado en el periodo anterior se mantiene entre 1990 y 1993, siendo este tipo de oleaje un 1.89% del oleaje total registrado, lo que significa un ligero aumento del mismo. Son, en su totalidad, temporales de levante. No obstante, se registra en este periodo un ligero aumento del oleaje de poniente, sin llegar a existir, hasta el momento, temporales de dicha dirección.

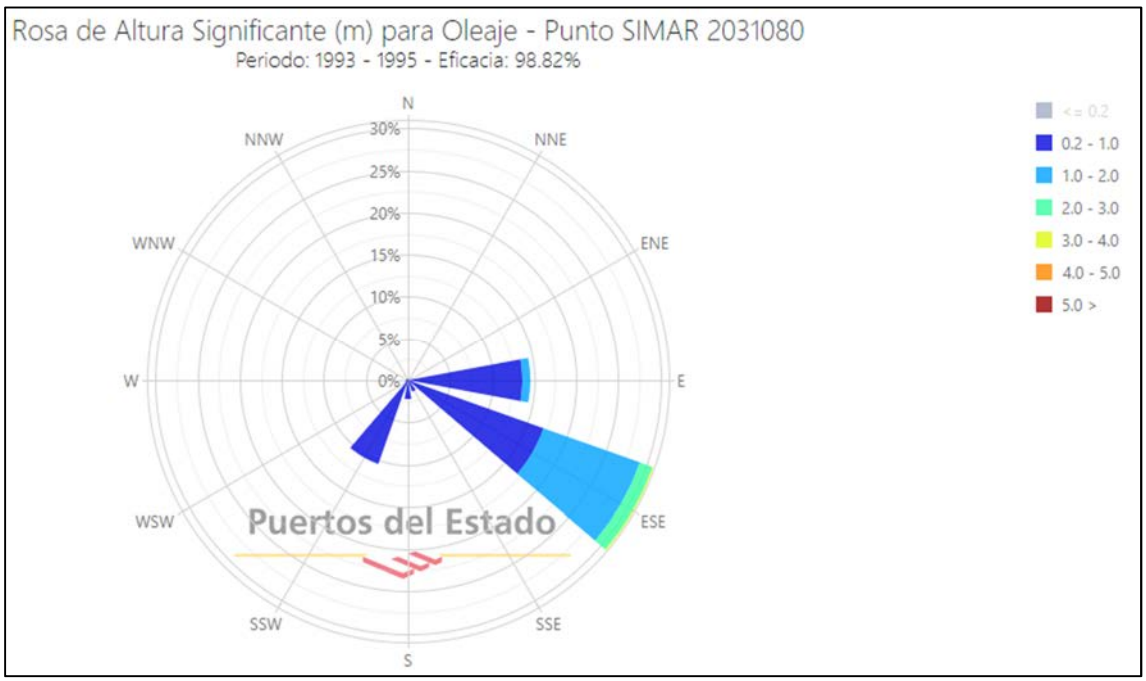


alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 1995

Entre 1993 y 1995 no existen grandes diferencias en la morfología de la línea de costa. Se conservan movimientos en vaivén en el tramo de San Julián y la playa de Guadalmar no se ha conseguido recuperar a pesar de que se han reducido las dimensiones de los espigones entre los que se encuentra.

Las características del oleaje son similares a las del periodo anterior. El oleaje característico de temporales aparece con una frecuencia del 1.7% con respecto al total registrado. Es levemente inferior, pero sigue siendo más del doble de lo registrado en las décadas precedentes. No obstante, dicha disminución ha favorecido la estabilidad que se observa en la evolución de la línea de costa entre 1993 y 1995.



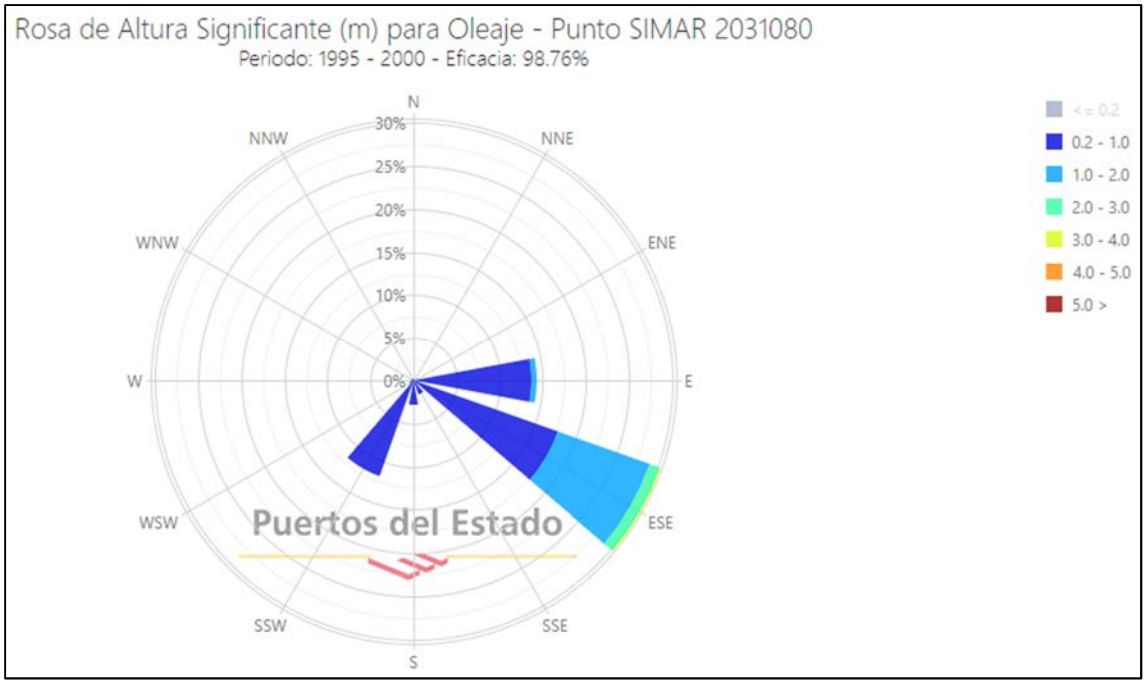
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 2000

La línea de 2000, trazada sobre el Vuelo Quinquenal 1998-2003, observa una progresión en el tramo de Guadalmar, hasta llegar al extremo de lo que queda de los espigones. La costa en la playa de San Julián continúa siendo rectilínea, aunque en el tramo más próximo a Guadalmar se sigue observando cierto retroceso.

En este periodo ha habido un gran cambio en el entorno, principalmente en la desembocadura del río Guadalhorce. Se ha ejecutado un canal, en el extremo NE de la desembocadura, que bifurca el cauce del río. Esta obra se ejecutó como medida para la prevención de avenidas. Por otra parte, en el extremo SW (junto a la urbanización de Guadalmar) se construye un pequeño encauzamiento paralelo al trazado del cauce natural del río. Dicha actuación vino acompañada de la acumulación de sedimentos de forma mecánica en el extremo occidental de la playa de Guadalmar, lo que provocó una progresión de la línea de costa, recuperando lo que se perdió en periodos anteriores.

Las características del oleaje son similares a las del periodo anterior. El oleaje característico de temporales aparece con una frecuencia del 1.5% con respecto al total registrado. Es levemente inferior, pero sigue siendo más del doble de lo registrado en las décadas precedentes. No obstante, dicha disminución ha favorecido la estabilidad que se observa en la evolución de la línea de costa entre 1995 y 2000.



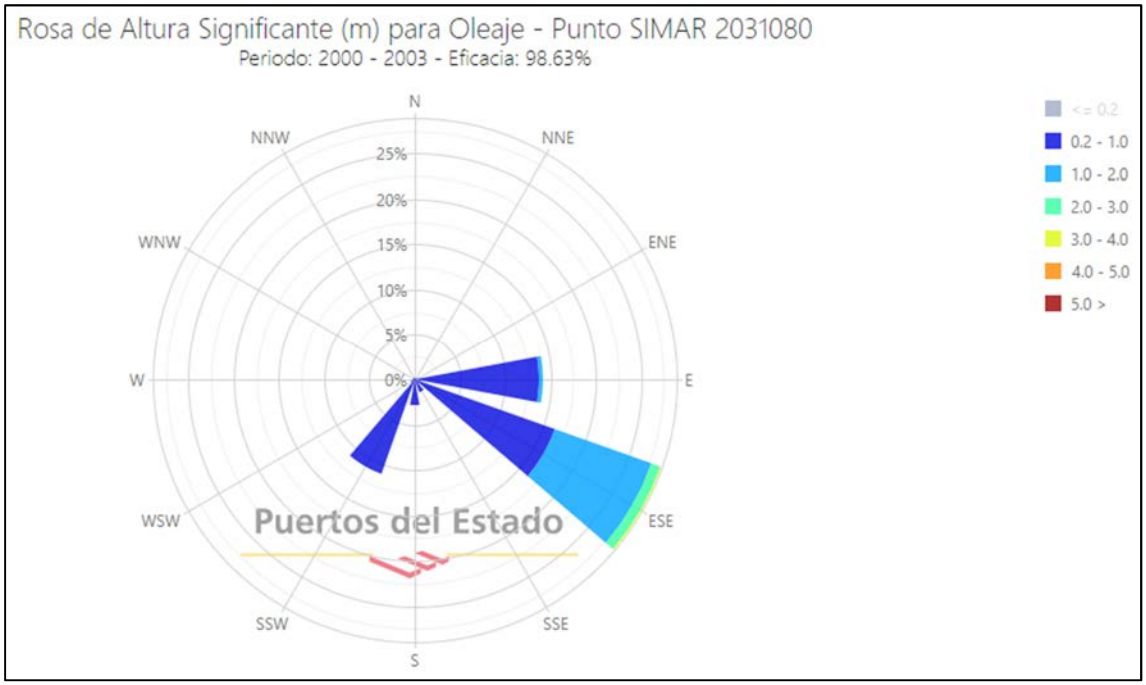
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 2003

La morfología de la playa de san Julián se conserva, aunque se observa regresión entorno al tramo de la EBAR, donde se ha construido una escollera de defensa en el frente del edificio más cercano a la línea de costa. Por otra parte, la regresión en la playa de Guadalmar aparece de nuevo, a pesar de la progresión del periodo anterior motivada por nuevas actuaciones de regeneración de playas.

Aunque la frecuencia de oleaje característico de temporales es levemente inferior a periodos anteriores, sigue siendo elevado. El oleaje característico de temporales aparece con una frecuencia del 1.23% con respecto al total registrado. Estos temporales son de levante, no observándose temporales de poniente.

Se observa en este periodo cómo las actuaciones de regeneración de playas en el tramo de Guadalmar son incompatibles con la frecuencia de temporales y oleajes que se han ido observando en las últimas décadas. De ahí, que cada relleno de playa sea rápidamente retirado por fenómenos costeros.



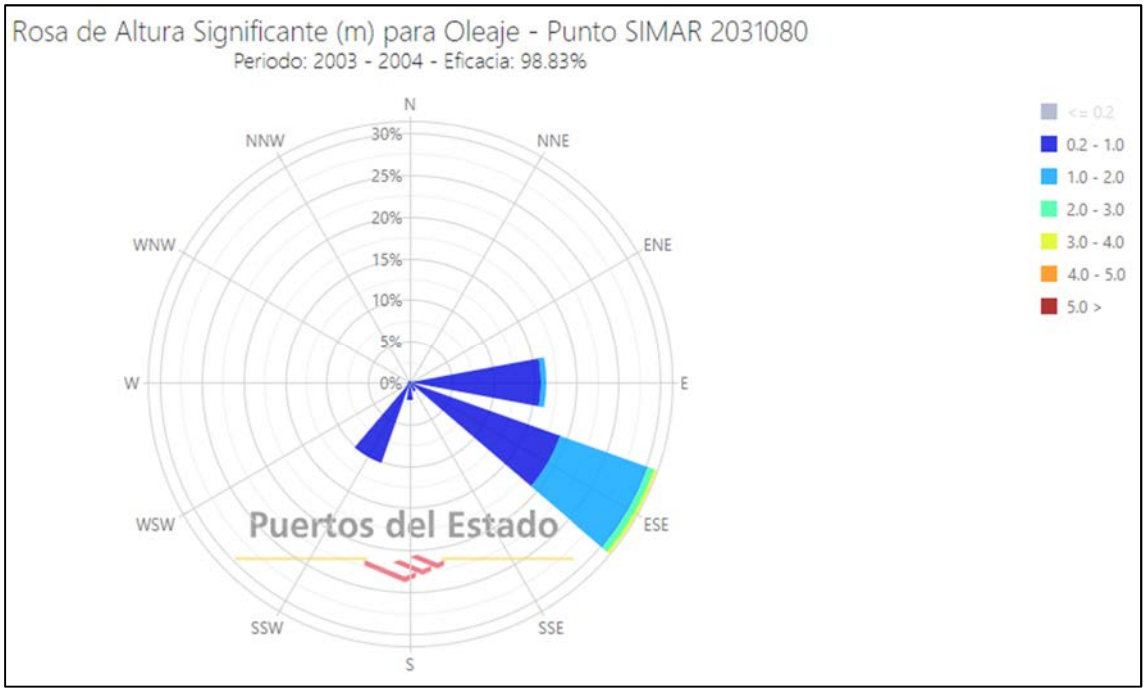
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 2004

La línea de 2004, trazada sobre la ortofoto histórica del PNOA 2004, continúa modificándose con respecto a la etapa anterior, al frente de la urbanización de Guadalmar. Aunque se conserva la misma extensión de espigones, los tramos de costa entre los mismos y la desembocadura del río Guadalhorce sufren un retroceso, aunque menor que en 2003, dando como resultado una línea menos rectilínea y próxima al paseo marítimo.

Igualmente, al oeste de este tramo, la costa continúa penetrando al interior, curvándose ligeramente con respecto a las líneas de periodos anteriores.

En general, entre 2003 y 2004 los movimientos regresivos son menos intensos, entre otros motivos, por un nuevo descenso en la frecuencia de los oleajes. El oleaje característico de temporales aparece con una frecuencia del 1.13% con respecto al total registrado. Es levemente inferior, pero sigue siendo más del doble de lo registrado en las décadas precedentes. No obstante, dicha disminución ha favorecido la estabilidad que se observa en la evolución de la línea de costa entre 1995 y 2000 en el tramo de Guadalmar, no obstante, la de San Julián observa una mayor regresión.



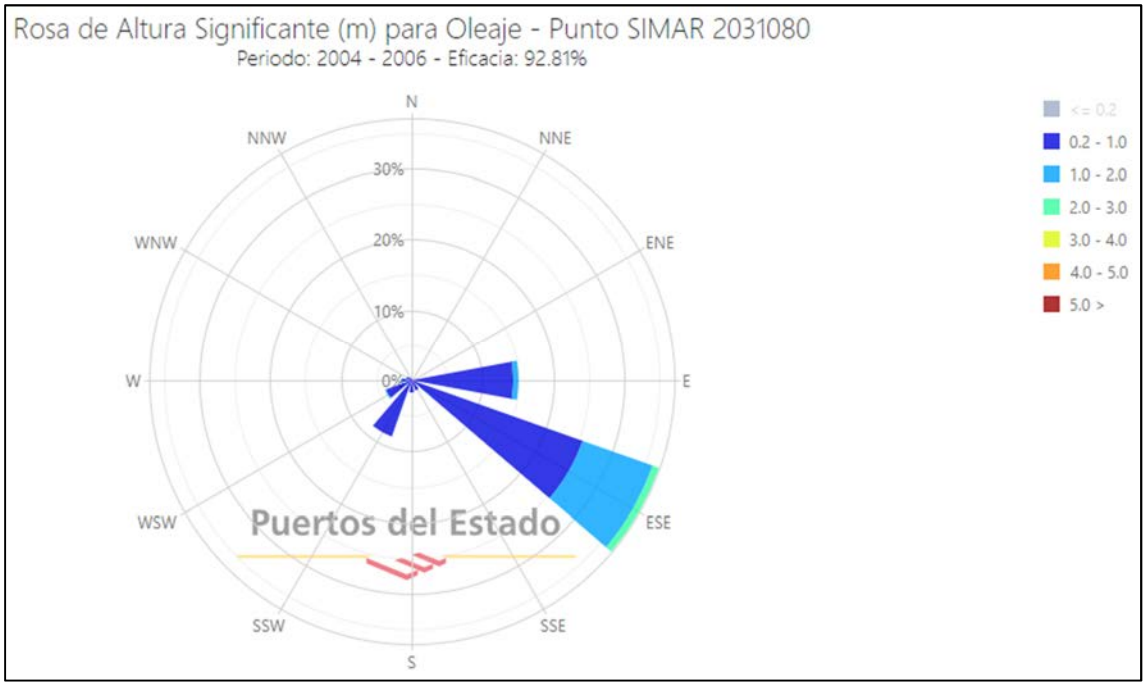
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 2006

La línea de 2006, trazada sobre la ortofoto histórica del PNOA 2006, conserva las irregularidades en la playa de Guadalmar, a pesar de observarse un leve recrecimiento de la playa que casi alcanza los extremos de los espigones. Por el contrario, se acentúa el trazado curvo en el extremo oeste de Guadalmar y la penetración de la línea de costa al interior con respecto a 2004. Este movimiento regresivo se observa desde 1993 y no ha variado hasta el momento, siendo cada periodo más acentuado. El impacto de la proyección de los espigones, como las modificaciones en la desembocadura del río Guadalhorce no han favorecido la protección de este tramo de costa.

Esta variación se atenúa progresivamente a medida que nos desplazamos por la playa del campo de golf hacia el T.M. de Torremolinos, donde no se aprecian variaciones en la forma de la línea de playa (sigue siendo rectilínea) a pesar de que existen desplazamientos de la misma en distintas partes, tanto regresivos como progresivos.

Es llamativo la aparición de estos movimientos regresivos cuando la frecuencia del oleaje de temporales supone en este periodo un 0.99% del total registrado. No obstante, se observa un aumento en la altura significativa del oleaje de poniente que, aunque escaso, parece tener mayor impacto entre Arraijanal y el campo de golf.



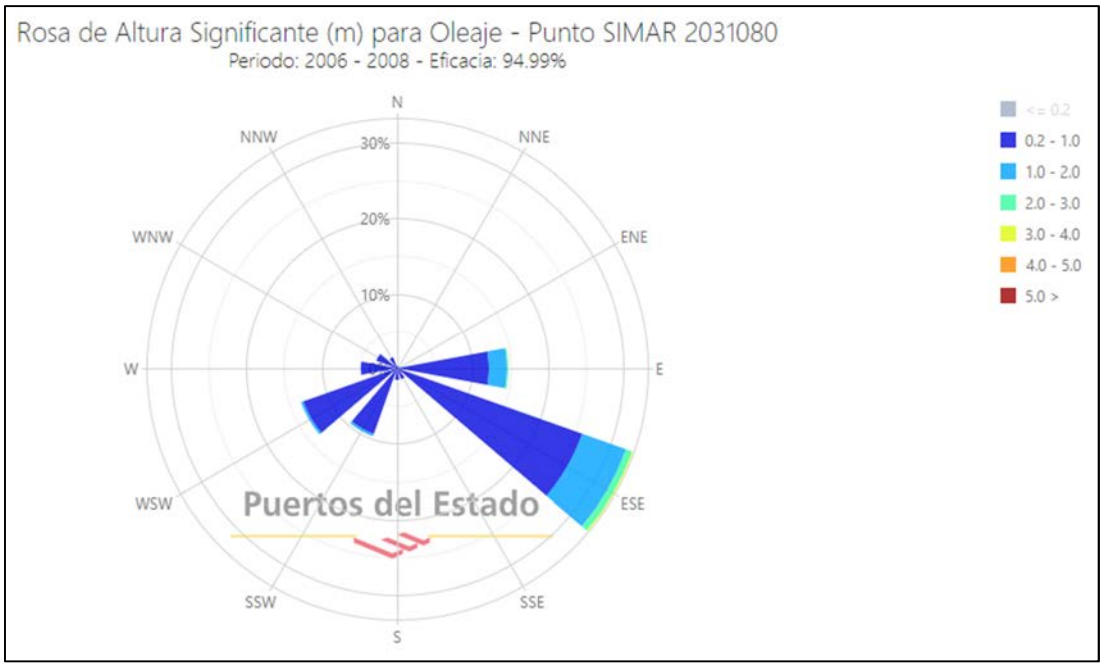
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 2008

La línea de 2008, trazada sobre la ortofoto histórica del PNOA 2008, muestra una estabilización de la costa con respecto a 2006. Conserva las mismas irregularidades y una leve progresión, tanto en la playa de Guadalmar como en la playa de San Julián.

Entre Arraijanal hasta Torremolinos, la costa observa diferentes comportamientos de regresión y progresión, leves en ambos casos, siendo destacable la regresión en la mitad meridional de la playa del campo de golf.

Se observa en este periodo un importante cambio en el comportamiento del oleaje. Por primera vez se observan temporales de poniente, a partir de 2007. La frecuencia de los temporales ha aumentado con respecto al periodo anterior, hasta llegar a una frecuencia que supone el 1.33% del total registrado.



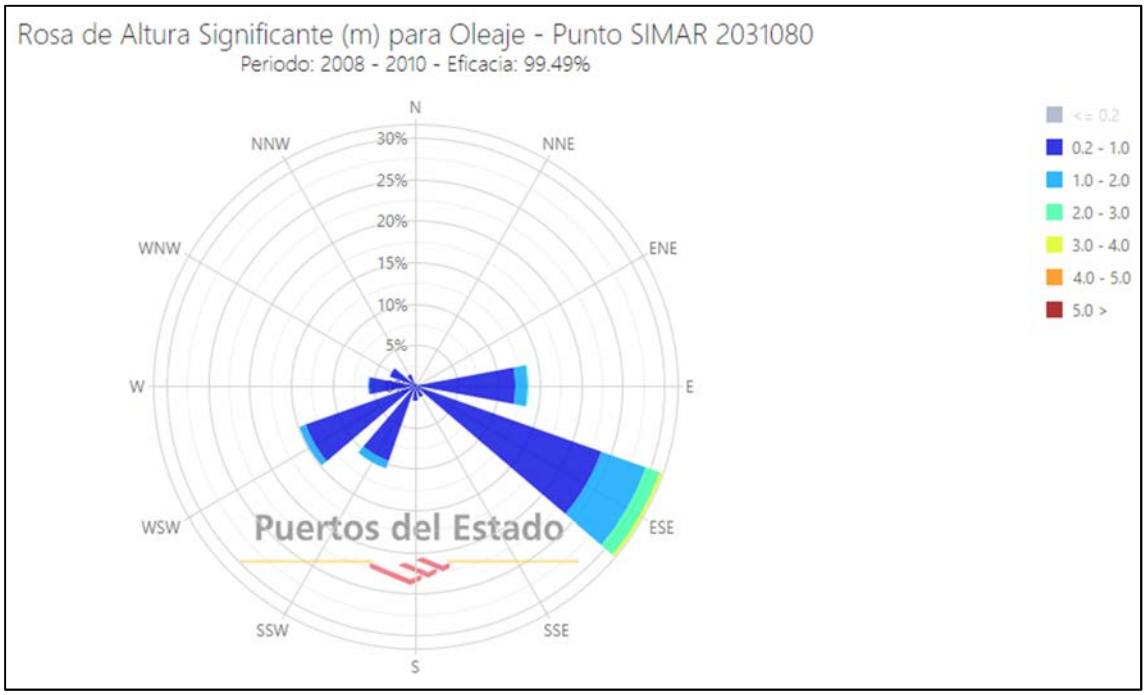
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 2010

La línea de 2010, trazada sobre la ortofoto histórica del PNOA 2010, , sigue conservando la forma de los periodos anteriores, desde 2006. Aunque en comparación con 2008, el tramo de la playa de Guadalmar ha sufrido una leve regresión que la acerca al paseo marítimo. Mientras que la playa de San Julián muestra un avance en la misma proporción que el retroceso de Guadalmar.

Cabe precisar que en este periodo se observa una fuerte regresión en el tramo de costa de la desembocadura del rio Guadalhorce hasta llegar a destacar en la línea de costa la mota de defensa que se construyó en la margen derecha del cauce del Guadalhorce. De esta manera se genera un espigón en este lado del que podría pensarse que actúa como defensa del a playa de Guadalmar.

Sin embargo, por primera vez se observan fenómenos costeros que hasta el momento no habían ocurrido. Por una parte, la frecuencia del oleaje de temporales llega a suponer el 2.24% del total del oleaje registrado, aproximadamente tres veces más que en décadas anteriores. Se observan alturas significantes de Hs=5.25 m, una altura que hasta el momento no se habían registrado. Por último, los temporales de poniente ya adquieren una frecuencia estable y con oleajes de mayor altura.



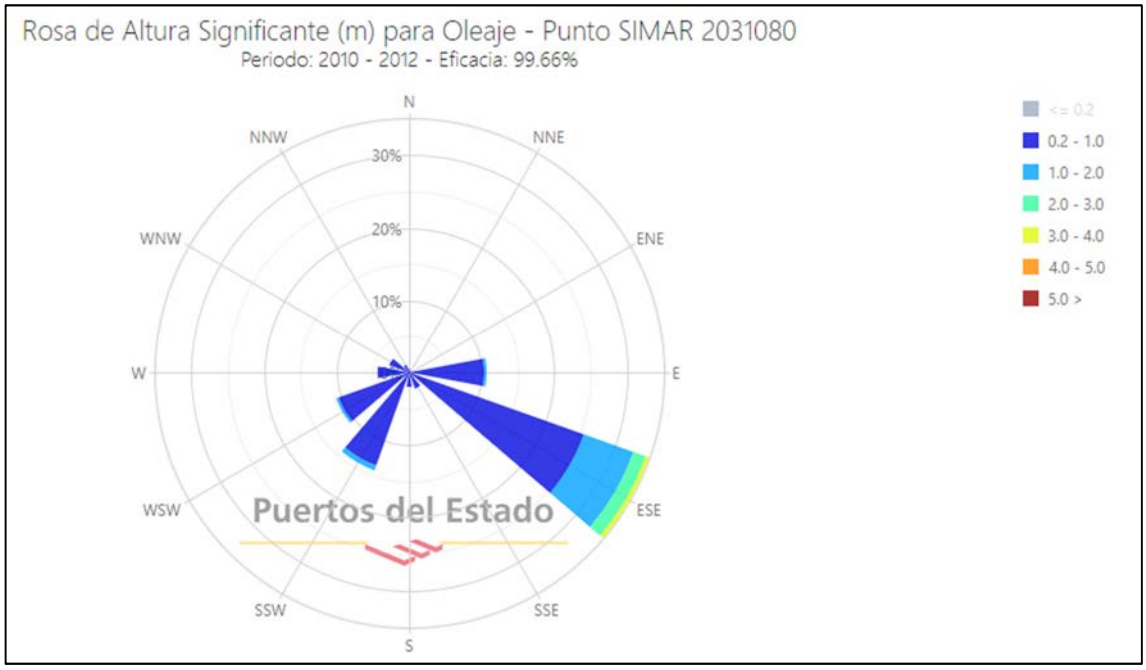
alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 2012

La línea de 2012, trazada sobre la ortofoto de IDEMAP 2012 de la Diputación de Málaga, conserva las irregularidades en la playa de Guadalmar, al igual que en periodos anteriores, aunque aumenta la regresión de la línea de costa, hasta que desaparece la playa en un tramo de unos 100 m entre los espigones y la desembocadura del Guadalhorce, habiéndose protegido dicho tramo con escolleras.

En el tramo de playa de San Julián más próximo a Guadalmar, se hace más pronunciada la curvatura de la línea de costa tras su avance al interior con respecto a 2010.

Es notable el efecto del cambio en el comportamiento del mar descrito en el periodo anterior y que se acentúa en éste. La frecuencia del oleaje de temporal llega al 2.39% y se sostiene el incremento de los temporales de poniente. Las máximas alturas de olas superan con más frecuencia los 4 m.



alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

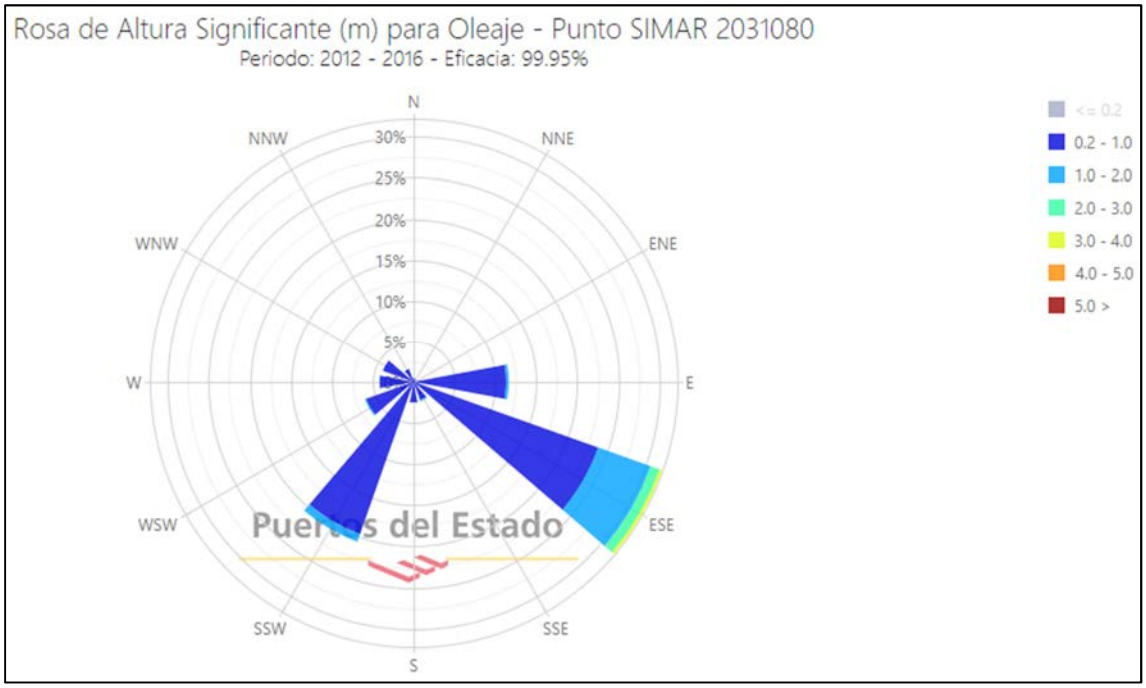
- Línea de costa de 2016

La línea de 20016, trazada sobre la ortofoto histórica del PNOA 2016, aumenta las irregularidades en el tramo de Guadalmar a medida que ésta retrocede con respecto a la etapa anterior, destacándose de nuevo los espigones y aumentando la longitud de escollera (tramo en el que ya ha desaparecido la playa) entre estos espigones y la desembocadura del río Guadalhorce. En este sentido hay que destacar el hecho de que la desaparición de la playa por completo supone el estancamiento de dicho perfil de costa hasta las escolleras de defensa construidas para proteger la urbanización. Por tanto, la regresión en la mitad occidental de Guadalmar ha llegado a su máximo posible sin que las actuaciones de defensa ejecutadas desde los años 70 hayan surtido efecto.

En el tramo de la playa de San Julián, más próximo a Guadalmar, se suaviza la curvatura de la línea de costa a medida que se observa un avance de la misma hacia el mar. Dicho avance contrasta con la regresión del tramo de Arraijanal, donde la EBAR se encuentra gravemente afectada. Estos cambios vienen sostenidos por la acentuación de los cambios en el oleaje y los temporales que comenzaron en periodos anteriores y que en éste siguen produciéndose con mayor intensidad.

Los temporales de poniente están adquiriendo mayor fuerza, lo que pone en riesgo el perfil del tramo entre Arraijanal y Torremolinos, dicha remoción de sedimentos puede estar detrás de la relativa recuperación del extremo oriental de la playa de San Julián. Por otra parte, se está observando un cambio importante en el régimen de oleaje donde, en el año 2014, se observa un equilibrio en el porcentaje de oleaje registrado de poniente con respecto al de levante (dicho fenómeno no se había registrado hasta el momento).

La frecuencia de temporales ha descendido con respecto al periodo anterior, siendo éste un 1.59% del total. Finalmente, aumenta en este periodo la frecuencia en la aparición de alturas significantes de ola superior a 4 m.

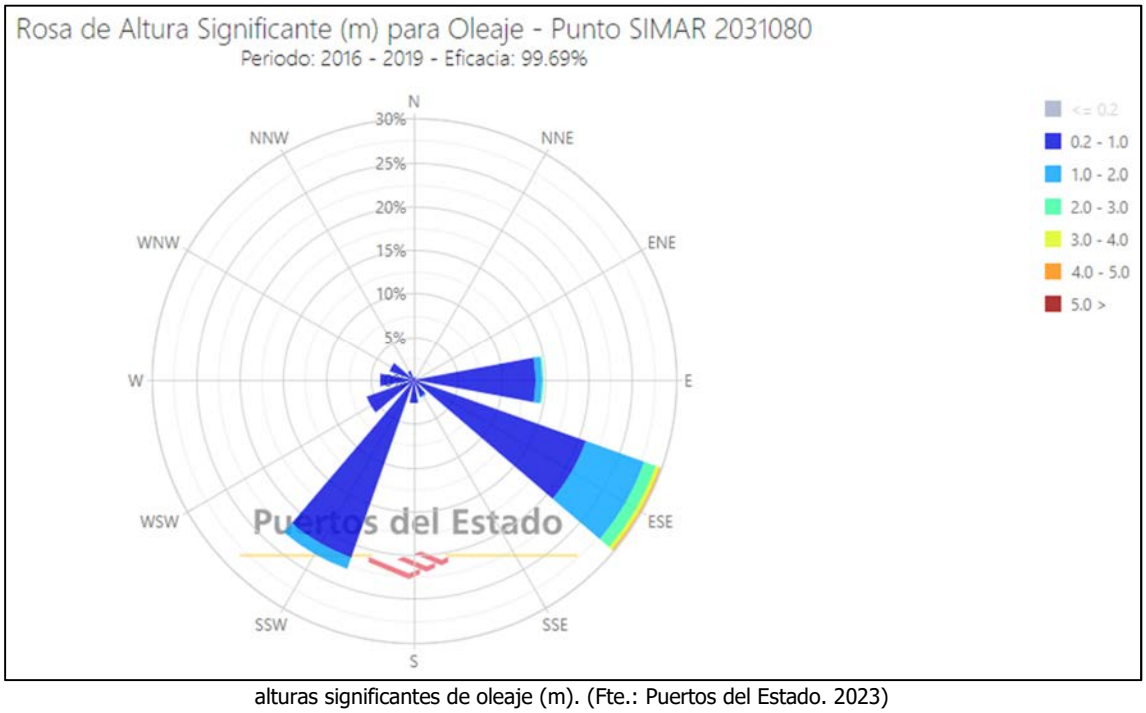


alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

- Línea de costa de 2019

La línea de 20019, trazada sobre la ortofoto histórica del PNOA 2019, muestra una continuidad con la tendencia de 2016. Se conservan las irregularidades en la playa de Guadalmar, donde la regresión llega a su punto máximo posible en la mitad oriental, dejando una mayor longitud de escollera expuesta al mar. También se observa regresión en este último periodo en el tramo de la playa entre San Julián y Torremolinos, con mayor incidencia entre Arraijanal y el campo de golf.

Tanto el oleaje como los temporales de poniente han seguido produciéndose en estos últimos años. Igualmente, la frecuencia del oleaje característico de temporal también ha aumentado, siendo en este periodo un 2.16% del total registrado. La mayor altura significante se produce en marzo de 2019 (Hs=5.1 m).



alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

Los cambios que se llevan observando en los últimos años en relación a la dinámica de los oleajes están generando grandes cambios en la línea de costa. La orientación y batimetría entre San Julián y Torremolinos, cuya configuración se adaptaba al oleaje de levante, se encuentra completamente expuesta a los efectos del oleaje de poniente y su mayor capacidad de transporte y erosión en la zona de rompiente. Esto está generando, de manera continuada, un proceso acelerado de regresión en dicho tramo.

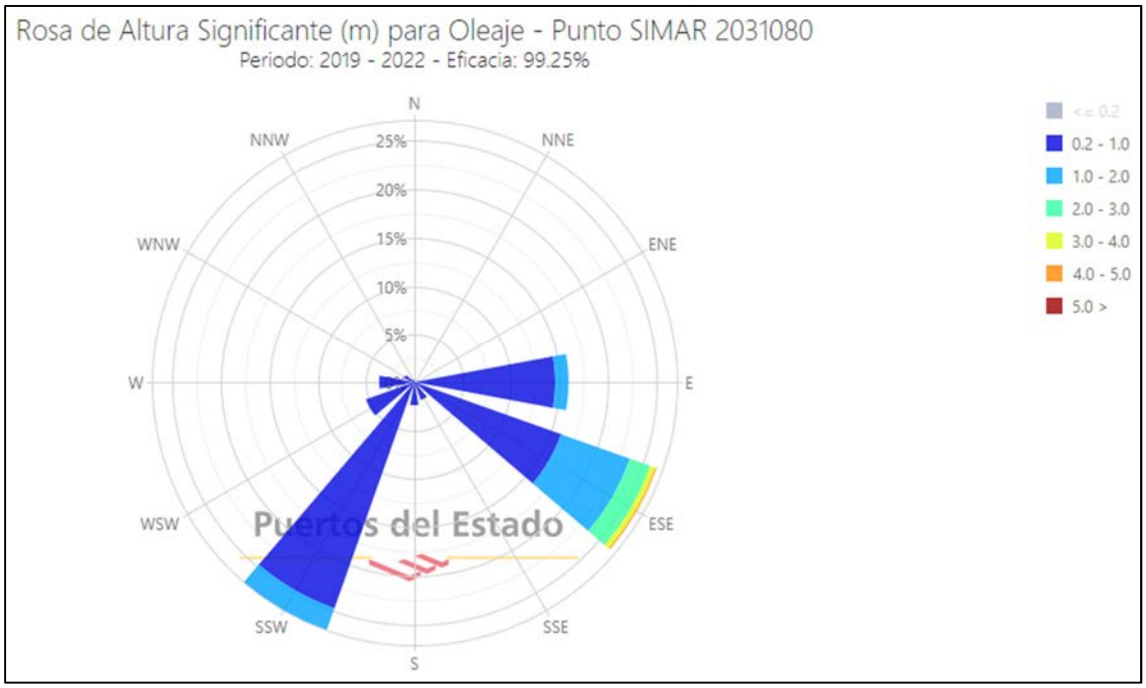
- Línea de costa de 2022

La línea de 20022, trazada sobre la ortofoto provisional del PNOA 2022, muestra una continuidad con la tendencia de 2019. Se observa un mayor retroceso de la línea de costa, de forma homogénea, entre San Julián y Torremolinos, sumado a un incremento de la regresión en lo que queda de playa en Guadalmar. Infraestructuras de saneamiento, como la EBAR de EMASA, se ve afectada, casi por completo, por el oleaje de forma continua.

Todo este fenómeno continúa, como en periodos anteriores, a medida que se siguen produciendo los mismos fenómenos relacionados con el oleaje, cuyo cambio de comportamiento se viene describiendo desde 2006.

La frecuencia del oleaje de temporal aumenta en este periodo hasta ser un 3.1% del total del oleaje registrado. Este dato ya es, aproximadamente, entre tres y cuatro veces superior a lo que se registraba en los años 50, 60, 70 y 80. La mayor altura significante registrada es de Hs=5.35 m y las olas con altura significante superior a 4 m ya es un 0.22% del total registrado. Lo que muestra el incremento de la intensidad de los fenómenos extremos marinos que se están produciendo en los últimos periodos analizados.

Los temporales de poniente siguen provocando grandes efectos en la configuración de una costa adaptada a los temporales de levante y, por primera vez, podemos observar cómo el oleaje de poniente ha superado en frecuencia al de levante.



alturas significantes de oleaje (m). (Fte.: Puertos del Estado. 2023)

5.1.2 Evolución de la línea de costa

Para el análisis cuantitativo del comportamiento de la línea de costa en el periodo de estudio, establecido en el punto anterior, se ha procedido al trazado de transectos perpendiculares a la costa

según la ortofoto de 2019 con una distancia entre ellos de 100 m, dando como resultado el trazado de 27 transectos. En las imágenes nº32 y nº33 se puede observar su distribución.

Distribución de transectos en la playa de San Julián y Guadalmar.

Distribución de transectos en la playa de San Julián y Guadalmar.

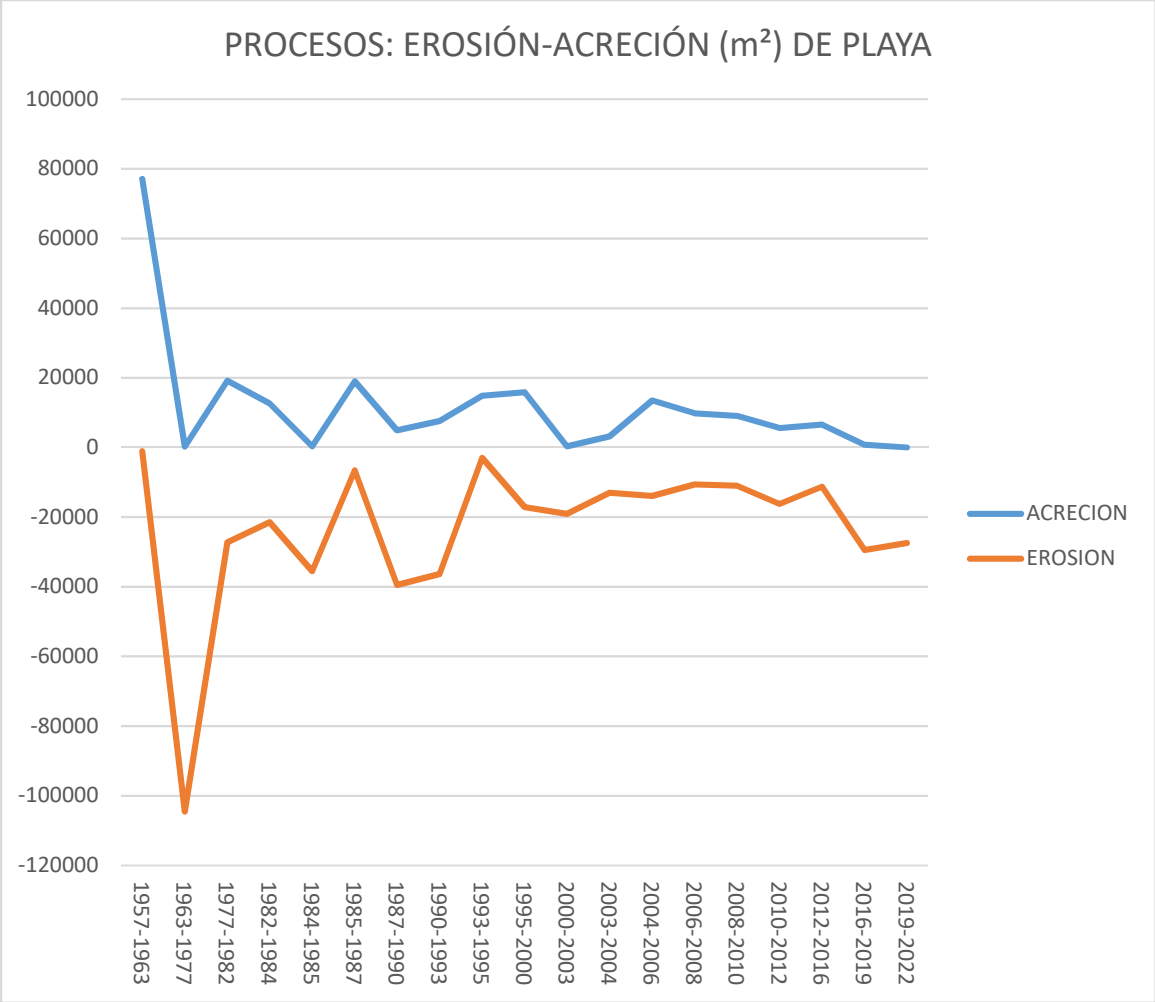
Entre los años 1957 y 2022, se han observado cambios en las distintas partes de la costa con un movimiento en vaivén predominando la regresión. Para cuantificar dichos cambios, hemos tomado la superficie de playa de los distintos años obtenidas entre la línea interior de la playa y las líneas de costa de cada año. Comparando dichas superficies, entre un año y otro, hemos obtenido valores representativos del comportamiento evolutivo de la costa. Los datos abarcan toda la superficie de playa,

entre el T. M. de Torremolinos y Guadalmar. Un análisis más detallado, con cálculos sobre los transectos representados anteriormente, nos mostrará más adelante cómo ha sido esa evolución en las distintas partes de la línea de costa.

En la gráfica y tabla siguientes se observan los valores de la evolución de la superficie de playa.

PERIODO	ACRECION (m²)	EROSION (m²)	BALANCE (m²)
1957-1963	77132	-1068	76064
1963-1977	269	-104571	-104302
1977-1982	19167	-27225	-8058
1982-1984	12637	-21424	-8787
1984-1985	296	-35506	-35209
1985-1987	19017	-6591	12426
1987-1990	4934	-39460	-34526
1990-1993	7632	-36330	-28698
1993-1995	14863	-2985	11878
1995-2000	15892	-17173	-1280
2000-2003	350	-19020	-18669
2003-2004	3178	-12998	-9819
2004-2006	13454	-13911	-457
2006-2008	9809	-10628	-820
2008-2010	9057	-10947	-1891
2010-2012	5579	-16239	-10660
2012-2016	6563	-11213	-4650
2016-2019	809	-29437	-28627
2019-2022	0	-27410	-27410
TOTAL	220640	-444134	-223495

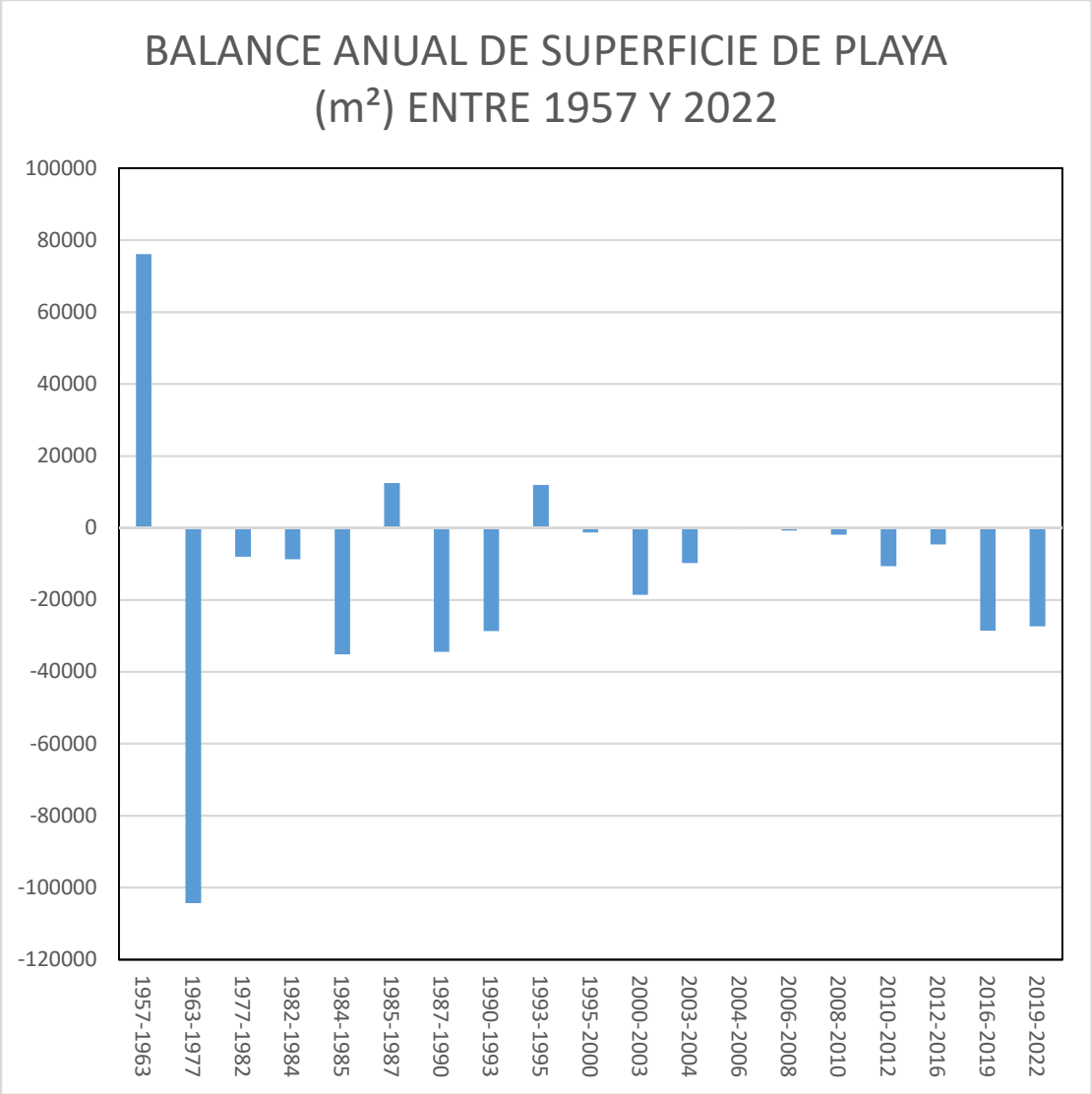
Evolución de la superficie de playa entre 1957 y 2022 en m².



Evolución de los procesos de erosión y acreción de playa entre 1957 y 2022 en m².

Los cambios más importantes en la línea de costa se dan entre 1957 y 1977, donde se observan grandes movimientos en los sedimentos, creando importantes áreas, tanto de regresión como de progresión. Entre 1982 y 2000 se observa una gran pérdida de playa (erosión) en comparación con aquellos terrenos ganados al mar. En años posteriores, tanto la erosión como acreción en la línea de costa se ven igualados con un ligero descenso de la acreción, hasta llegar a 2016, cuando la práctica totalidad de la dinámica litoral destaca por ser exclusivamente regresiva.

El balance global de todo el periodo estudiado es negativo, con una reducción de la superficie de playa de más de 22ha. Los únicos periodos de progresión detectado son los que se producen entre 1957-1963, 1985-1987, y 1993-1995. Desde ese momento en adelante, el balance global siempre es negativo. Se destaca que, tras un largo periodo, entre 2004 y 2016, en el que la regresión detectada parece reducirse, comienza, a partir de 2016, un nuevo periodo que llega hasta 2022, en el que se observa aumento considerable del proceso de regresión, como se observa en el gráfico siguiente.



Balance de la superficie de playa en todo el tramo de estudio, entre 1956 y 2022 en m².

5.1.2.1 Análisis cuantitativo y resultados

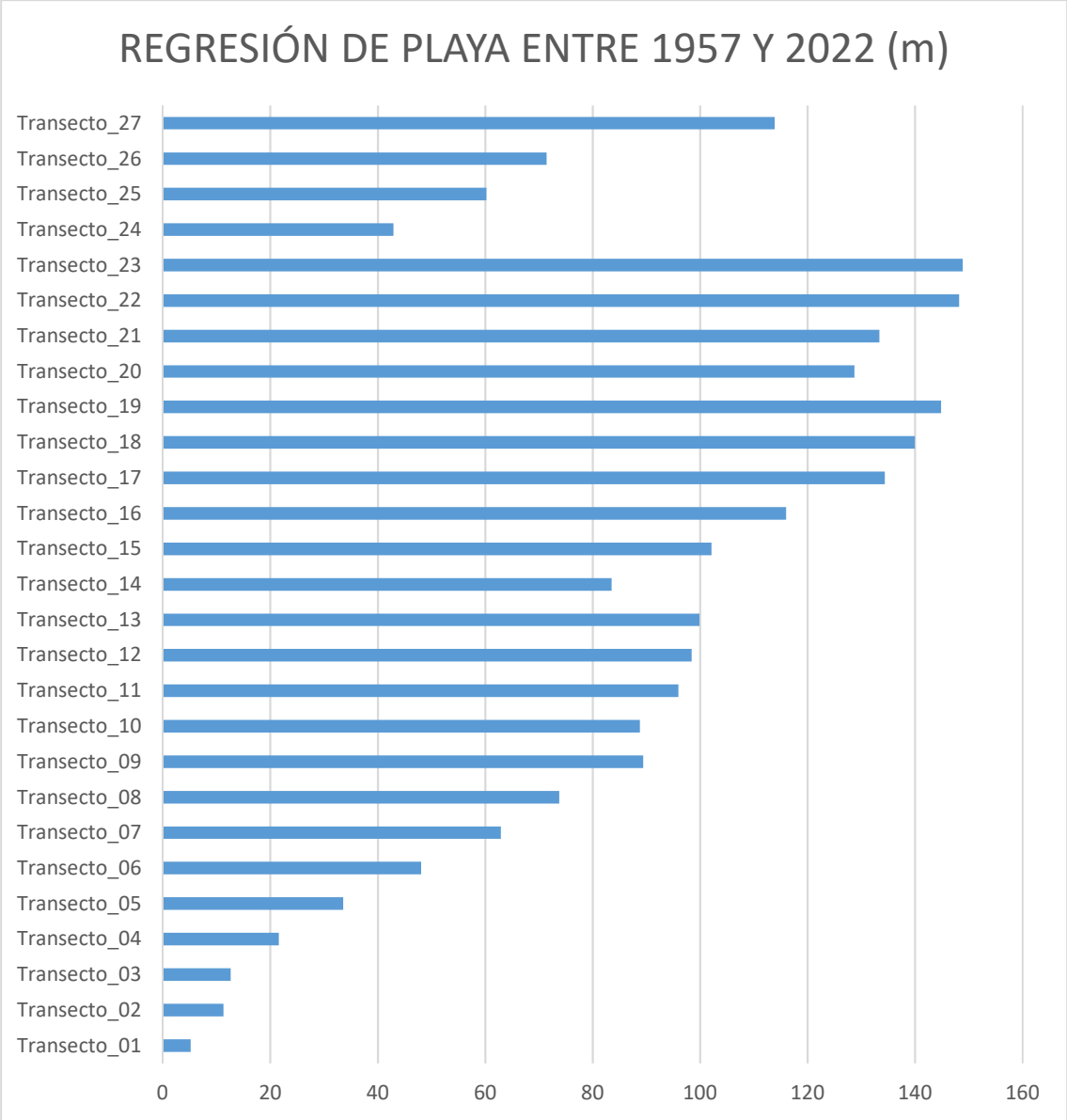
De lo expuesto anteriormente se puede destacar lo siguiente:

- El tramo de playa de San Julian, entre el campo de golf y el T.M. de Torremolinos, entre 1957 y 2022, muestra un comportamiento alternante en el que, en concordancia con los datos mostrados en la tabla, el balance neto es negativo
- El tramo de la playa de San Julián, más próximo a Guadalmar tiene dos comportamientos bien diferenciados repartidos en dos periodos:
  - Un primer periodo, entre 1957 y 2006, en el que tiene un comportamiento alternativo, con periodos de regresión y algunos, aunque escasos, periodos de progresión, como al principio del periodo estudiado (1957-1963), y dos más, a mediados de la década de 1980 y entre 1993 y 1995 coincidentes con periodos de precipitaciones intensas entre octubre de 1986 y final de 1987, y otro periodo de precipitación intensa en febrero de 1994 y en diciembre de 1995. Estas precipitaciones, dada su alta intensidad generaron arrastres de sedimento en la cuenca del Guadalhorce que llegaron al mar siendo probable que por esta causa se produjeran dichos incrementos en la anchura de la playa, aunque el computo global 1957-2022 arroja resultado de regresión en dicha zona.

- Un segundo periodo, entre 2006 y 2022, en el que tiene un comportamiento de regresión continua en la que no hay ningún periodo de progresión, llegando a su máxima situación regresiva (especialmente en la mitad oriental) terminando el último periodo, entre 2016 y 2022, con una importante regresión.

- El tramo de la playa de Guadalmar, siendo el más modificado de toda el área de estudio, tiene una progresión importante entre 1957 y 1982, favorecido por la transformación urbanística que fue acompañada de la construcción de espigones. Posteriormente, este tramo de playa fue sufriendo procesos regresivos intermitentes que culminan en 2022 con la casi desaparición de la playa formada en periodos anteriores y la protección del paseo marítimo con escolleras.
- Tanto la construcción de dichos espigones como la transformación de la desembocadura del río Guadalhorce tienen un impacto directo en la evolución de la playa de San Julián, que se propaga hasta Arraijanal y el campo de golf.

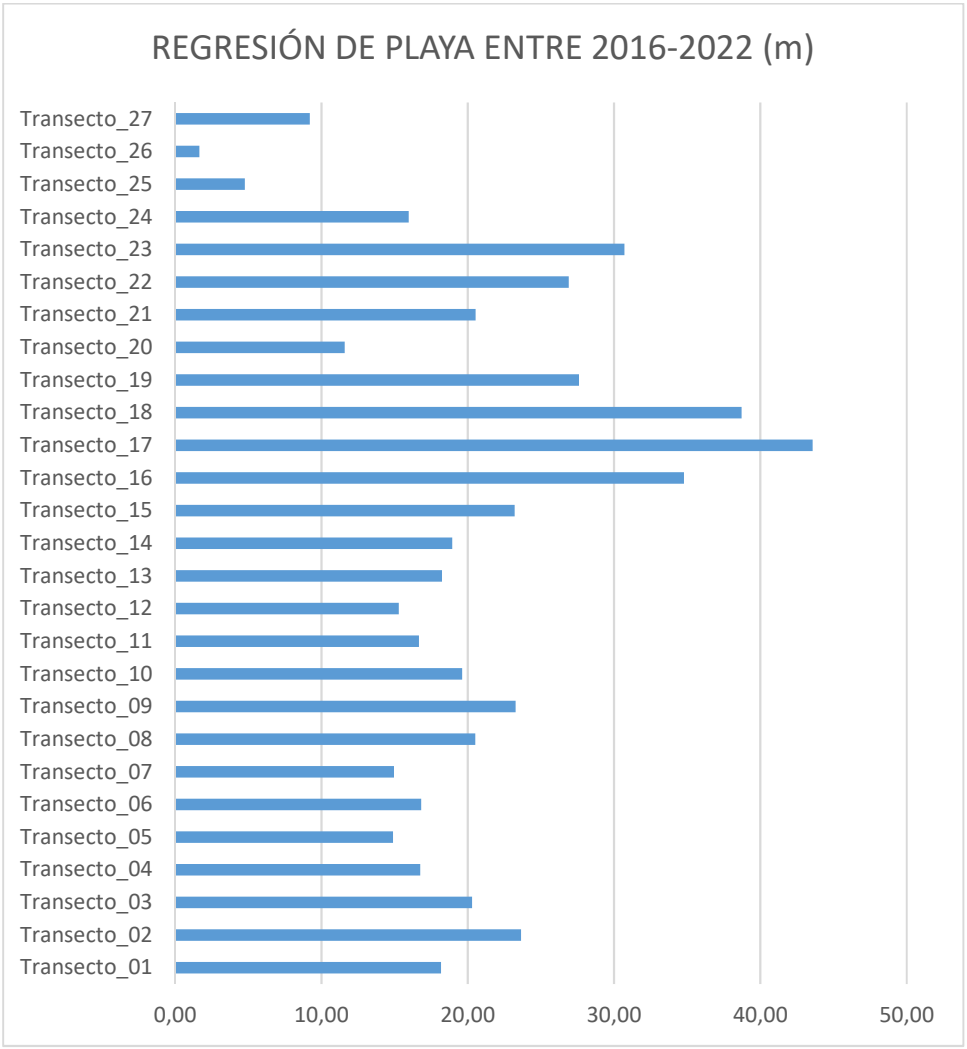
Si analizamos estos procesos mediante el siguiente gráfico sobre los 27 transectos que se han trazado, observamos cómo en todos ellos, entre 1957 y 2022, ha habido un proceso de regresión generalizado, destacando el tramo de costa entre los transectos 19 y 23, que se localizan en el tramo de la playa de San Julián más próximo a Guadalmar, con un máximo de regresión en el transecto 23 de 161 m.



Evolución del acho de playa, en metros (m), sobre los transectos entre 1957 y 2022.

Tras analizar el comportamiento global de la playa desde 1957, nos centramos en los últimos años, entre 2016 y 2022, para acercarnos a los procesos más recientes de las playas de San Julián y Guadalmar.

A continuación se observa regresión en todos los transectos, siendo más destacable en el tramo entre el 16 y el 18, que se localizan en el extremo oriental del campo de golf, mientras que los transectos que han sufrido una mayor variación en periodos anteriores, siguen sufriendo regresión, pero en menor medida.



Evolución del acho de playa, en metros (m), sobre los transectos entre 2016 y 2022.

Estos datos nos muestran una regresión interanual media en estos últimos años, sobre los transectos, que se muestran en la siguiente tabla.

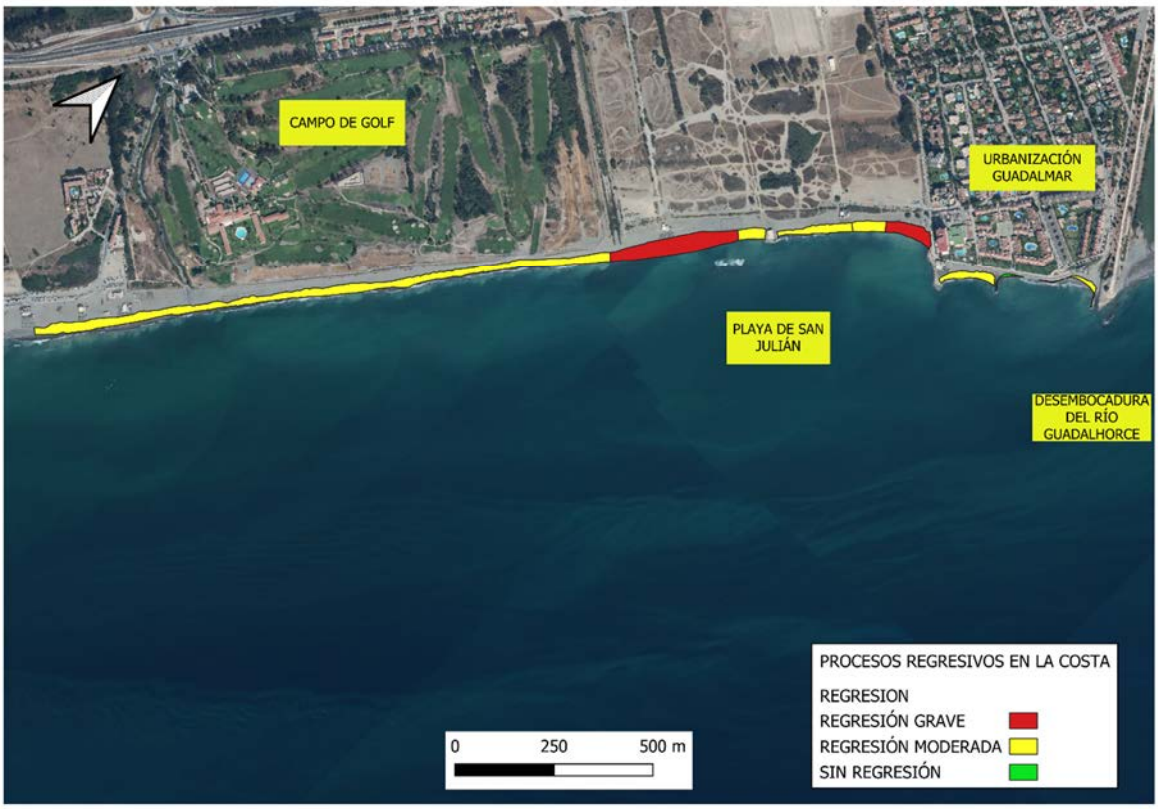
Nº TRANSECTO	PROMEDIO (m)
Transecto_01	3,03
Transecto_02	3,94
Transecto_03	3,38
Transecto_04	2,79

Nº TRANSECTO	PROMEDIO (m)
Transecto_05	2,48
Transecto_06	2,80
Transecto_07	2,49
Transecto_08	3,42
Transecto_09	3,88
Transecto_10	3,27
Transecto_11	2,78
Transecto_12	2,55
Transecto_13	3,04
Transecto_14	3,16
Transecto_15	3,87
Transecto_16	5,80
Transecto_17	7,26
Transecto_18	6,46
Transecto_19	4,60
Transecto_20	1,93
Transecto_21	3,42
Transecto_22	4,49
Transecto_23	5,12
Transecto_24	2,66
Transecto_25	0,79
Transecto_26	0,28
Transecto_27	1,53

Promedio de la regresión anual entre 2016 y 2022.

Se destacan aquí, en rojo, aquellos valores promedios mayores a 5m/año; en amarillo, aquellos transectos que presentan regresión, pero a menor velocidad de 5m/año; en verde, los transectos que se mantienen o tienen alguna progresión. Específicamente: transectos 16 a 18 y el transecto 23 en regresión "grave"; transectos 1 a 15, 19* al 22*, el 24 y el 27, en regresión (*ver a continuación las posibles causas de esta regresión en esta unidad fisiográfica); transectos 25 y 26 con estabilidad.

En la imagen siguiente se muestra el área afectada por estos valores de regresión entre 2016 y 2022.



Regresión entre la playa de Guadalmar y el T. M. de Torremolinos, en el periodo 2016-2022

En este periodo entre 2016 y 2022, en la unidad de la playa de San Julián / Arraijanal, donde los efectos de la regresión son más importantes con reducciones en más de 5 metros al año, se han intentado corregir mediante aportaciones de áridos en la zona de la estación de bombeo ubicada entre los transectos 19 y 22, donde los valores numéricos dan una regresión menor de 5 metros al año, pero resultando valores desvituados debido a dichas aportaciones. En el año 2019 se aportaron alrededor de 6.000 m^3 de arena a la zona y en el año 2020 fueron hasta 16.000 m^3, no siendo suficientes para evitar la regresión de la playa, pero reduciendo su velocidad de regresión en los transectos centrales. Tras el importante temporal de abril de 2022, se realizó una importante inversión para restaurar las playas de la provincia de Málaga, muy afectadas por perdidas de arena tras dicho temporal. En aquellas obras de regeneración de muchas playas de la provincia, entre las que se encontraban las playas de Guadalmar y San Julián, se alcanzó un aporte de 300.000 m^3 para todas ellas según Europa Press Andalucía, noticia del 4 de mayo de 2022 (Comienzan las obras de aporte de arena a las playas de Málaga afectadas por el temporal de principios de abril (europapress.es)) y de hasta 530.000 m^3 de arena según la Cadena Ser, noticia del 11 de julio de 2022 (Recuperadas las playas arrastradas por el temporal de levante, gracias al aporte de medio millón de m3 de arena | Actualidad | Cadena SER).

De la no existencia de estas aportaciones, toda la unidad de la playa de San Julián frente a Arraijanal se encontraría con regresiones superiores a los 5 metros al año de promedio como así ocurre en los extremos de esta unidad y que solo su parte central es reducida, circunstancialmente, por las aportaciones de arena que se realizan sistemáticamente para defender del oleaje la cimentación de la estación de bombeo cuya ubicación debería retranquearse, asi como todas las canalizaciones que existiesen en la playa para evitar roturas y, por ende, vertidos, a la playa y al mar en situaciones de temporal marino con fuerte oleaje, erosión y pérdida importante de arena.

Teniendo en cuenta las características de la costa descritas en el punto 3.1.8., y a la descripción de los fenómenos hidrológicos y marinos descritos en cada periodo de estudio, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- La actividad antrópica y las transformaciones urbanísticas, acompañadas de la construcción de espigones, en primer lugar, y la transformación de la desembocadura del río Guadalhorce en los años noventa, en segundo lugar, han determinado la dinámica litoral de la zona de estudio,

marcando claramente las distintas fases de su evolución desde finales de los años cincuenta hasta nuestros días.

- Esta actividad ha favorecido unos movimientos regresivos entre San Julián y Torremolinos que llegaron a reducirse en los años noventa.
- Sin embargo, el progresivo cambio en la dinámica marina que comenzaba a vislumbrarse en los 80 y 90 pasó a tener un carácter explosivo a partir de 2006. Desde entonces, la costa está sufriendo un nuevo cambio adaptativo que supone un impulso a la regresión que ya venía dándose previamente y que ha tratado de reducir sus efectos los aportes periódicos de arena pero con resultados infructuosos, siendo la zona de Arraijanal (playa de San Julian) la zona en la que mayor regresión está experimentando a pesar de los importantes aportes de arena que se realizan.

En relación al clima marino.

- Hasta los años 90 hay un claro aumento en la frecuencia de los temporales, llegando a haber periodos cuya frecuencia era el doble de lo registrado entre los años 50 y 60.
- A partir del año 2006 hay un incremento en la velocidad de aumento de la frecuencia de temporales, llegando a ser hasta cuatro veces superior de lo que acontece en las décadas de los 60, 70 y 80.
- La orientación del oleaje en los temporales sufre un importante cambio. Mientras que hasta el año 2004 éstos eran principalmente de levante, ahora surgen los temporales de poniente que progresivamente van adquiriendo mayor frecuencia y potencia.

5.1.2.2 Previsión y tendencia del estado futuro de la línea de costa

Tomando los datos sobre las líneas de costa mostrados en puntos anteriores, se analiza la evolución a 10 y 20 años de la costa mediante el modelo Digital Shoreline Analysis System-DSAS (Thier et al., 2010). Estos resultados serán comparados con una proyección del comportamiento de la línea de costa en base al desplazamiento medio anual entre 1957 y 2022, conforme a los datos expuestos en el punto anterior. Ambos métodos generan resultados diversos que deben responder a un comportamiento común: los procesos de regresión y progresión por cada transecto deben ser similares.

El objetivo es crear la línea de costa prevista para 50 años. Dicha línea es una proyección de los datos actuales de forma que su posición debe entenderse como consecuencia de las variables actuales e históricas, es decir, suponiendo que las condiciones actuales no se vean modificadas.

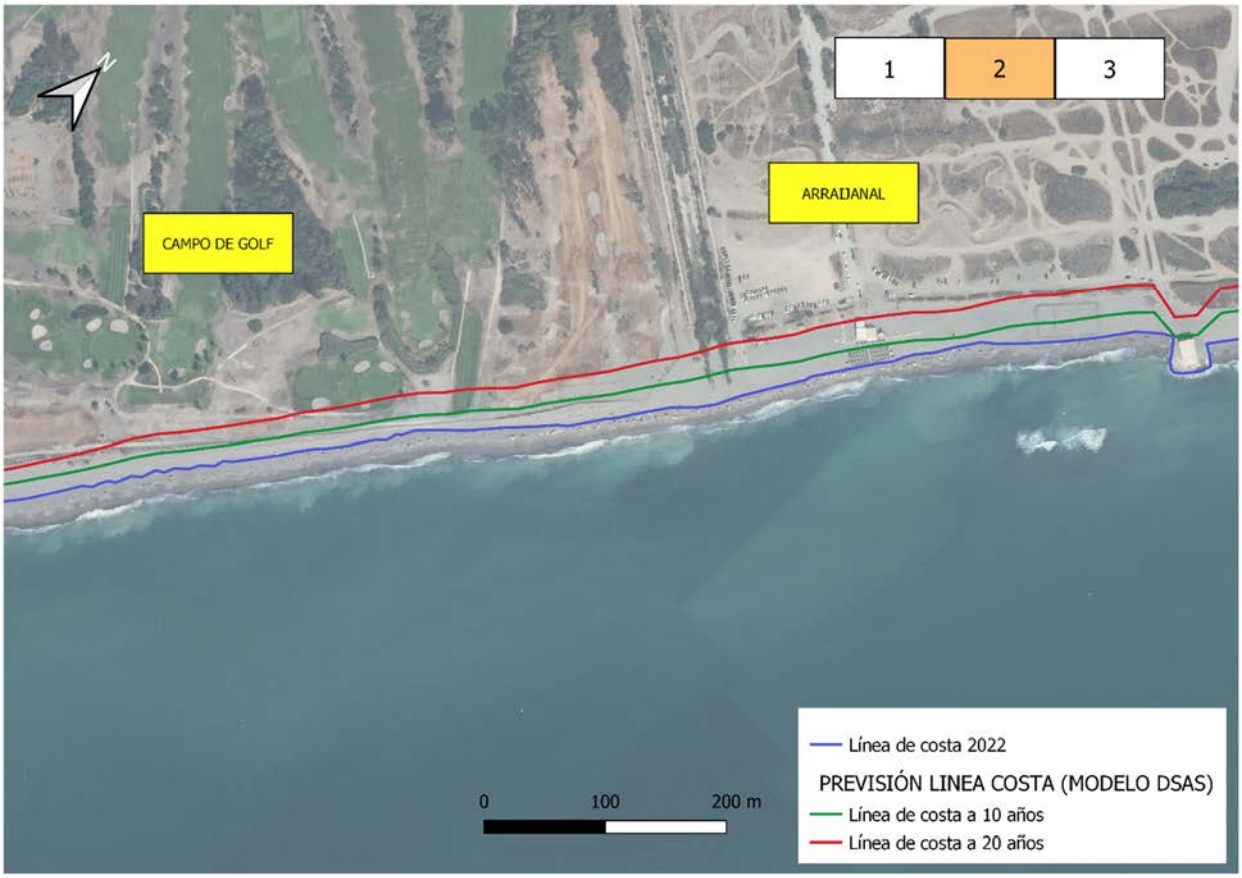
El modelo DSAS aporta predicciones a 10 y 20 años, pero no a cincuenta, por lo que debemos comprobar primero si haciendo una proyección lineal mediante los datos de evolución media anual, obtenida con los datos de los puntos anteriores, obtenemos un resultado similar al conseguido con DSAS, para después, poder proceder a la proyección a 50 años.

Para ello, los resultados de anchos de playa a 10 y 20 años calculados por ambos métodos se evaluarán. En este caso, consideraremos que el modelo DSAS debe ser la variable de la que dependa el modelo de los datos medios anuales, y que nos confirme que, estadísticamente, ambos modelos predictivos ofrecen comportamientos similares para 10 y 20 años y, por tanto, la línea de costa prevista a 50 años se podrá definir.

5.1.2.2.1 Línea de costa a 10, 20 y 50 años

DSAS genera un modelo predictivo de evolución de la costa a 10 y 20 años. El resultado, que se muestra a continuación, revela una situación de la línea de costa con una fiabilidad del 90%, pero debe

entenderse que este es un resultado que se obtiene al mantener como premisa que ninguna de las circunstancias de las que depende la dinámica litoral sean modificadas en el periodo modelizado.



Modelo predictivo de evolución de la línea de costa a 10 y 20 años según DSAS entre la playa de Guadalmar y el T. M. de Torremolinos.

Se estima que, si las condiciones no varían, en las predicciones a 10 y 20 años, el tramo de costa entre la playa de San Julián y el campo de golf se producirán los mayores movimientos regresivos.

En el resto del área de estudio (playa de Guadalmar), la regresión estará condicionada por la construcción de las escolleras y espigones existentes, así como la mota de la margen derecha del cauce del río Guadalhorce que, debido a la regresión sufrida en la desembocadura, ha progradado hasta tener el mismo efecto que un espigón. De no existir dichas construcciones, y tal y como se observa en el modelo predictivo de DSAS, la línea de costa podría alcanzar las viviendas de la primera línea del frente de la playa de Guadalmar.

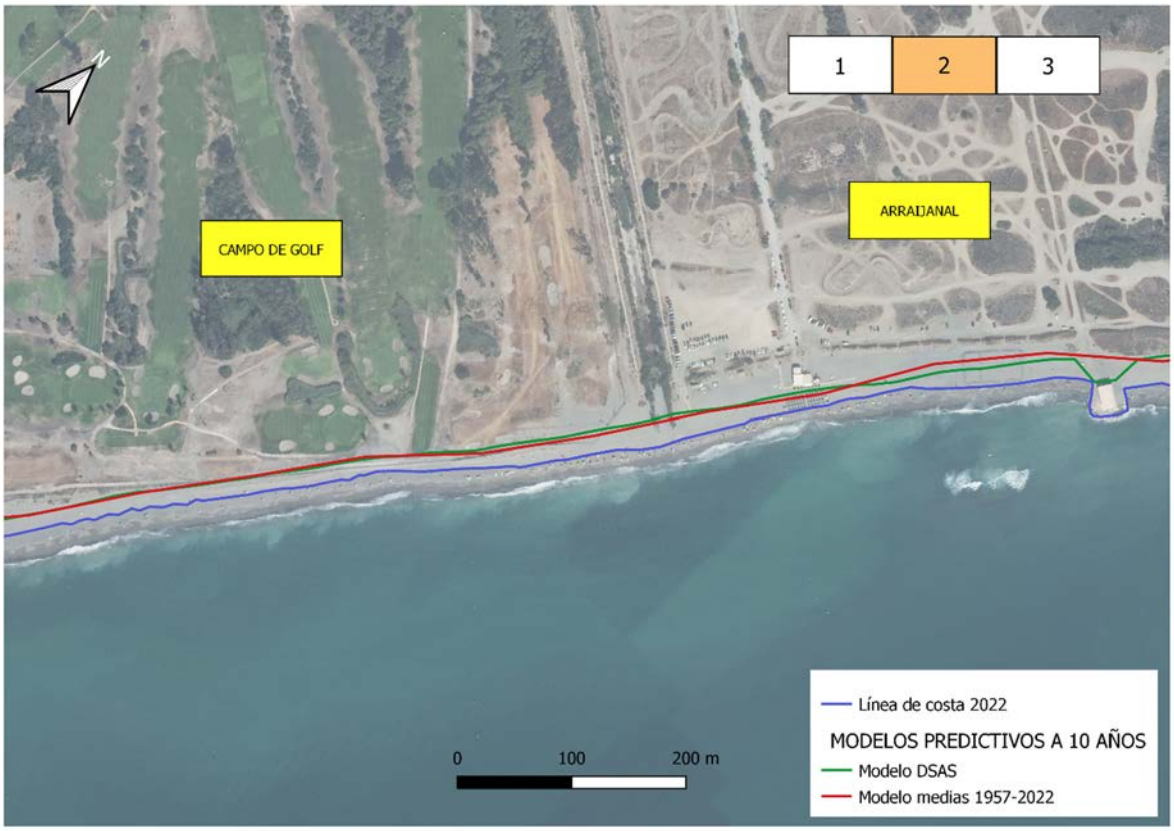
- *Proyección a 10 años*

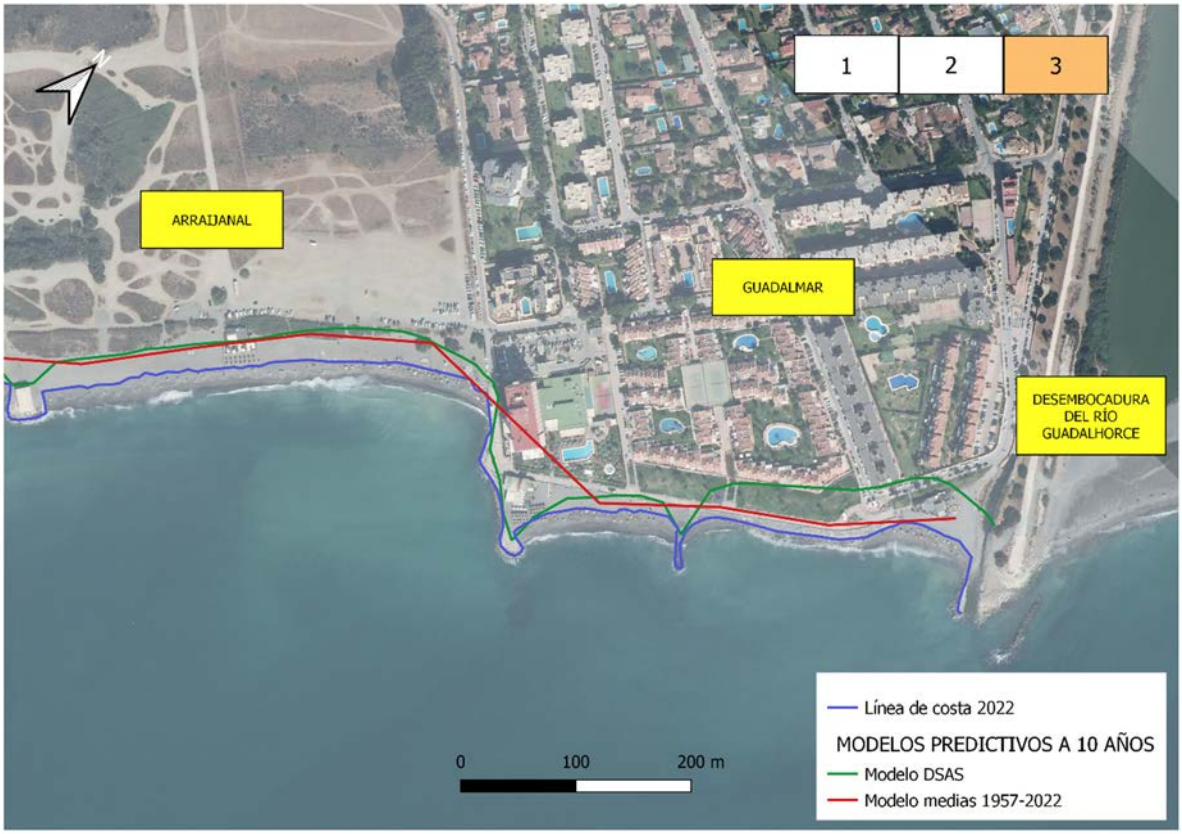
En la siguiente tabla se exponen los valores de anchos de playa a 10 años que se obtienen con el método DSAS y los valores obtenidos aplicando una proyección con la variación media interanual por cada transecto de los anchos de playa obtenidos mediante la delimitación de la costa mediante ortofoto entre 1957 y 2022.

NÚM. DE TRANSECTO	ANCHOS DE PLAYA - PREVISIÓN A 10 AÑOS (m)	
	Media (1957-2022)	Método DSAS
Transecto 1	58.33	71.16
Transecto 2	52.69	61.5
Transecto 3	57.12	61.42
Transecto 4	46.35	51.22
Transecto 5	37.29	40.04
Transecto 6	27.72	31.69
Transecto 7	21.28	23.57
Transecto 8	16.76	18.12
Transecto 9	11.90	15.19
Transecto 10	15.84	15.75
Transecto 11	5.55	4.93
Transecto 12	-1.06	0.42
Transecto 13	-11.03	-8.85
Transecto 14	-4.92	-7.67
Transecto 15	-7.14	-12.1
Transecto 16	18.05	16.28
Transecto 17	23.98	29.34
Transecto 18	13.41	20.81
Transecto 19	9.35	15.05
Transecto 20	5.43	1
Transecto 21	6.68	3.44
Transecto 22	-5.57	-8.47
Transecto 23	3.49	2.8
Transecto 24	9.31	4.22
Transecto 25	-4.18	-20.34
Transecto 26	-4.36	-35.65
Transecto 27	47.43	11.7

Valores de anchos de playa en la proyección a 10 años. Los valores negativos se producen cuando el modelo predictivo establece que la línea de costa se encuentra detrás (tierra adentro) de la línea de referencia interior.

1
2
3
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
Línea de costa 2022
MODELOS PREDICTIVOS A 10 AÑOS
Modelo DSAS
Modelo medias 1957-2022


1
2
3
ARRAIJANAL
CAMPO DE GOLF
0
100
200 m
Línea de costa 2022
MODELOS PREDICTIVOS A 10 AÑOS
Modelo DSAS
Modelo medias 1957-2022



Comparación entre la línea DSAS y de medias entre 1957-2022 en la proyección a 10 años.

A primera vista ambos conjuntos de datos muestran líneas de costa similares a excepción del tramo de Guadalmar, cuyas discrepancias parten del hecho de que es un tramo altamente modificado a lo largo de todo el periodo de estudio con continuas intervenciones de distinto tipo y con un elevado impacto en la configuración de la costa (escolleras, diques, rellenos, etc.). Por ese motivo, estas distorsiones deberán ser tenidas en cuenta para obtener un resultado más ajustado a la realidad y, además, deben ser interpretadas correctamente.

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida estadística que indica la relación entre dos variables, en nuestro caso, el ancho de playa a 10 años según el modelo predictivo DSAS y el ancho de playa según el modelo predictivo de la media interanual entre 1957 y 2022.

Considerando la serie de datos de la tabla anterior, el coeficiente se define por la fórmula:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\operatorname{Cov}(X,Y)}{\sqrt{\operatorname{Var}(X)\operatorname{Var}(Y)}}$$

Donde:

σ_{xy} es la covarianza de (X, Y)

σ_x es la desviación estándar de la variable X

σ_y es la desviación estándar de la variable Y.

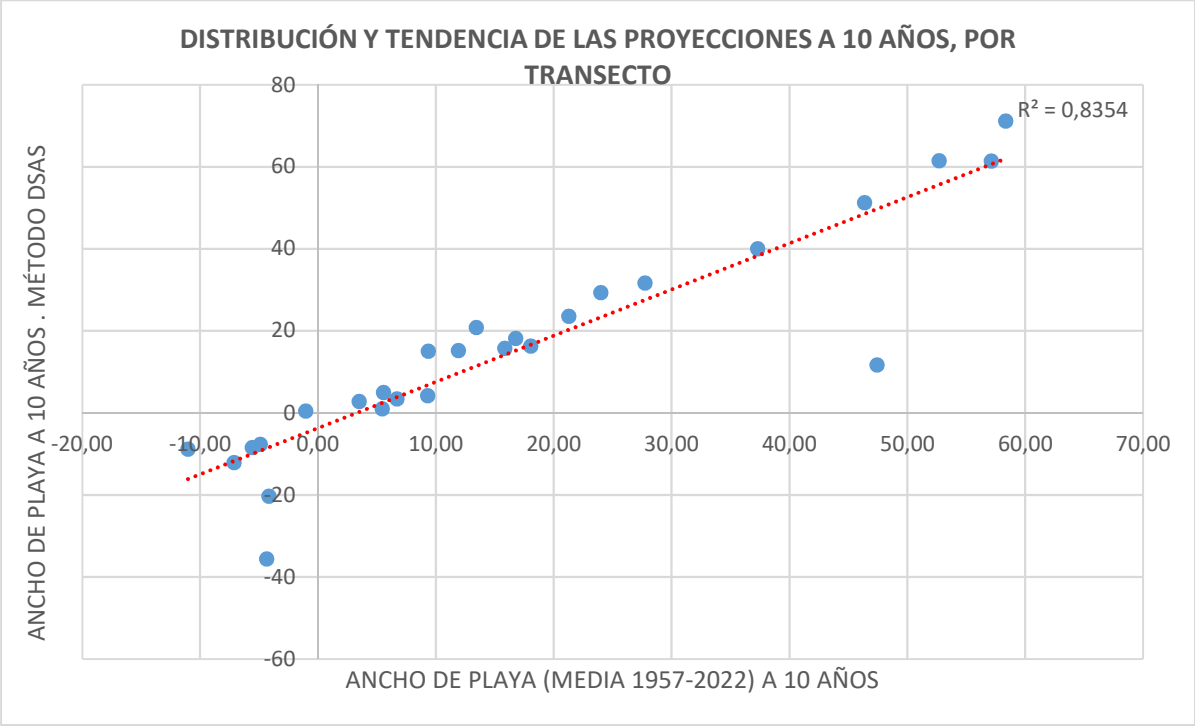
Cuanto más se acerca este valor a 1, más fuerte es la relación entre las variables.

El valor del coeficiente de correlación de Pearson para nuestras series es:

$$\rho_{xy}=0,91$$

Por tanto, ambas series tienen un comportamiento similar para cada una de sus proyecciones a 10 años.

Dicha relación también puede reflejarse en el gráfico de dispersión que se observa a continuación donde comparamos ambas variables. La línea de tendencia resultante es positiva y el valor de la R^2=0.84, lo que viene a corroborar que, aplicando distintos métodos predictivos, el comportamiento a 10 años de la línea de costa es el mismo, donde en la mayor parte del tramo es de carácter regresivo.



Distribución de los anchos de playa a 10 años (m) según modelo DSAS y proyección de la media entre 1957-2022

Una vez conocido el comportamiento similar de ambos conjuntos de datos, debemos saber si los anchos de playa por transecto son diferentes, a fin de poder tomar como válidos o no los anchos de playa de 50 años obtenidos mediante las medias anuales entre 1957-2022.

Para ello realizamos la prueba de de *t-Student* para muestras independientes cuyas varianzas son desconocidas y diferentes.

Planteamos las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula: H_0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alternativa: H_1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Siendo la hipótesis alternativa que ambos conjuntos ofrecen los mismos resultados dentro de un valor crítico de la prueba de α=0.1.

No se conocen las varianzas de las poblaciones, pero se puede suponer que son iguales porque son datos obtenidos del mismo fenómeno y las mismas variables (desplazamiento de la línea de costa en los mismos transectos). Por lo tanto, la fórmula del estadístico de la prueba de hipótesis para la diferencia de medias que debemos usar es la siguiente:

$$t = \frac{(\overline{x_1} - \overline{x_2}) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Calculamos la desviación estándar combinada de las dos muestras:

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Dando como resultado S_p=5,34

Por tanto, la prueba de la hipótesis para la diferencia de medias:

$$t=-0,08$$

$$\alpha=0.1 \quad \alpha/2=0,05$$

$$t\ \alpha/2\ n_1+n_2-2 = 2,005$$

Dado que el valor absoluto del estadístico de la prueba es menor que el valor crítico de la prueba, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

$$|0,08| = 0,08<2,005$$

Por lo que se concluye que ambos conjuntos ofrecen datos similares dentro de un rango de incertidumbre α=0.1 y, por tanto, se pueden tomar los datos de las medias anuales entre 1957-2022 para hacer la proyección a 10 años.

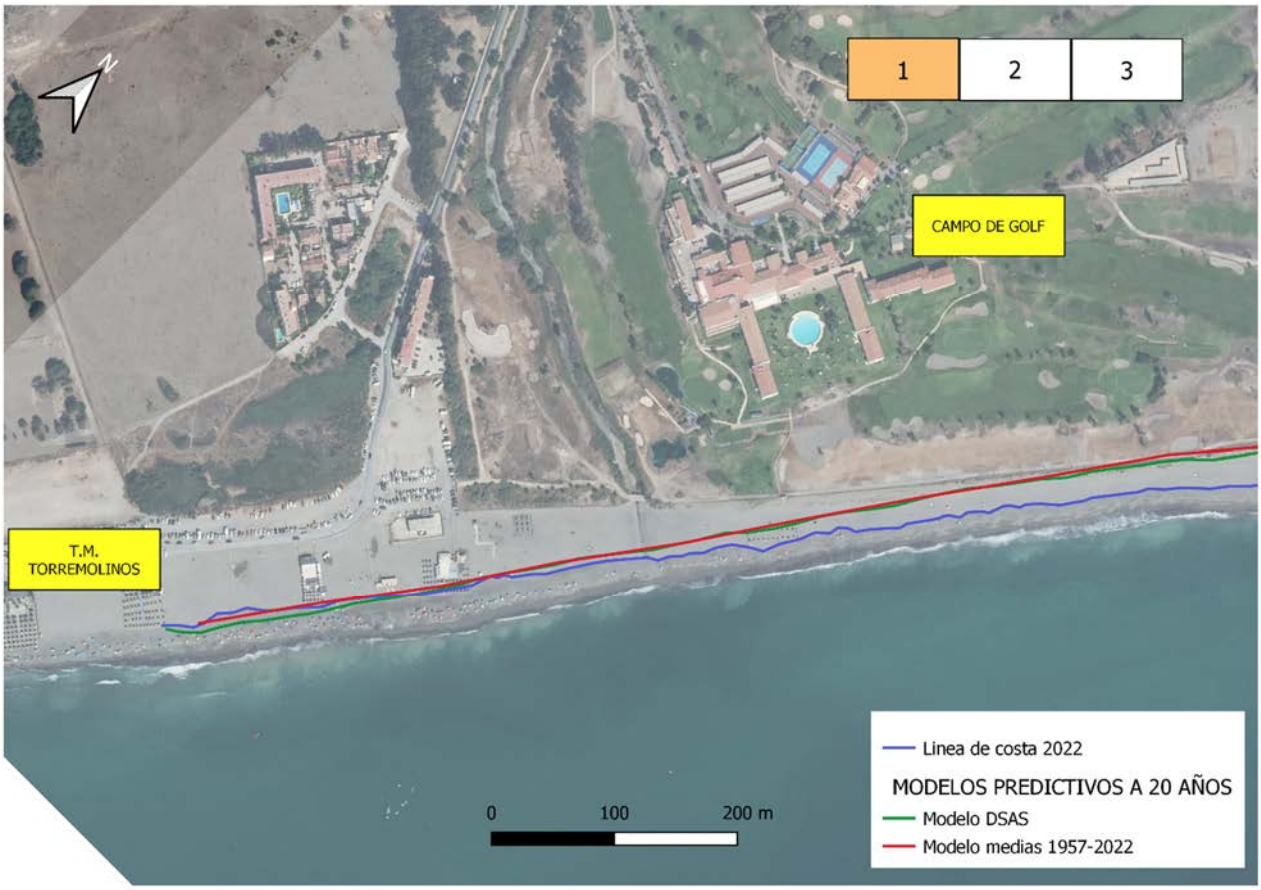
- *Proyección a 20 años*

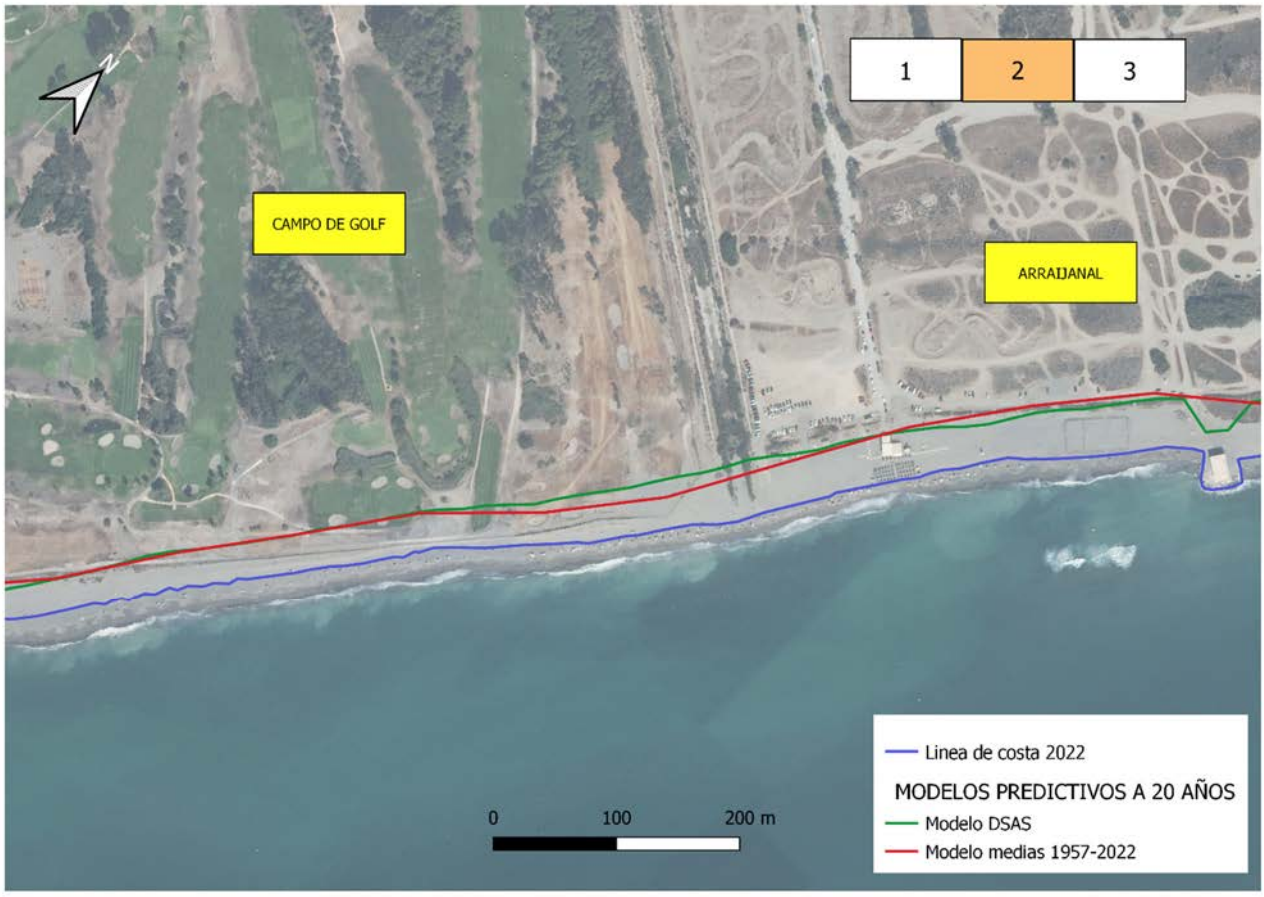
En la siguiente tabla se exponen los valores de anchos de playa a 20 años que se obtienen con el método DSAS y los valores obtenidos aplicando una proyección con la variación media interanual por cada transecto de los anchos de playa obtenidos mediante la delimitación de la costa mediante ortofoto entre 1957 y 2022.

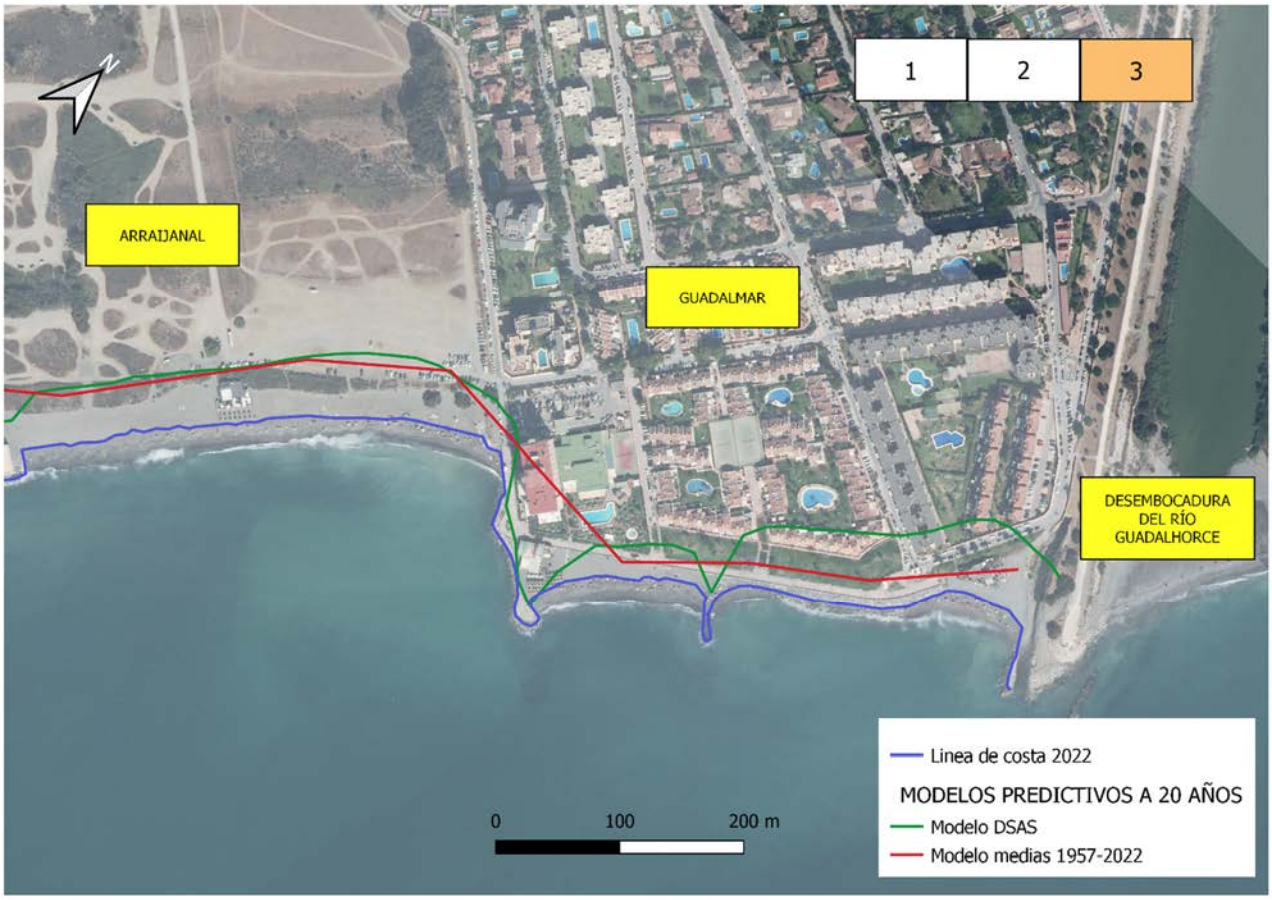
NUM. DE TRANSECTO	ANCHOS DE PLAYA - PREVISIÓN A 20 AÑOS (m)	
	Media (1957-2022)	Método DSAS
Transecto 1	57.54	70.51
Transecto 2	50.88	61.11
Transecto 3	55.2	57.42
Transecto 4	43.16	44.8
Transecto 5	32.28	32.84
Transecto 6	20.52	22.14
Transecto 7	11.42	12.48
Transecto 8	5.49	7.1
Transecto 9	-1.81	3.28
Transecto 10	2.19	2.69
Transecto 11	-9.04	-10.43
Transecto 12	-16.23	-16.2
Transecto 13	-26.35	-27.26
Transecto 14	-17.71	-26.05
Transecto 16	0.2	-5.53
Transecto 17	3.32	6.27
Transecto 18	-8.05	-1.73
Transecto 19	-12.86	-8.24
Transecto 20	-14.32	-20.1

NUM. DE TRANSECTO	ANCHOS DE PLAYA - PREVISIÓN A 20 AÑOS (m)	
	Media (1957-2022)	Método DSAS
Transecto 21	-13.77	-18.2
Transecto 22	-28.44	-30.85
Transecto 23	-19.43	-17.67
Transecto 24	2.69	-9.79
Transecto 25	-13.26	-34.2
Transecto 26	-15.34	-52.99
Transecto 27	29.84	8.45

Promedio de la regresión anual entre 1957 y 2022. Los valores negativos se producen cuando el modelo predictivo establece que la línea de costa se encuentra detrás (tierra adentro) de la línea de referencia interior.







Comparación entre la línea DSAS y de medias entre 1957-2022 en la proyección a 20 años.

Al igual que sucede con el modelo a 10 años, ambos conjuntos de datos muestran líneas de costa similares a excepción del tramo de Guadalmar.

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida estadística que indica la relación entre dos variables, en nuestro caso, el ancho de playa a 10 años según el modelo predictivo DSAS y el ancho de playa según el modelo predictivo de la media interanual entre 1957 y 2022.

Considerando la serie de datos de la tabla anterior, el coeficiente se define por la fórmula:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\operatorname{Cov}(X,Y)}{\sqrt{\operatorname{Var}(X)\operatorname{Var}(Y)}}$$

Donde:

σ_{xy} es la covarianza de (X, Y)

σ_x es la desviación estándar de la variable X

σ_y es la desviación estándar de la variable Y.

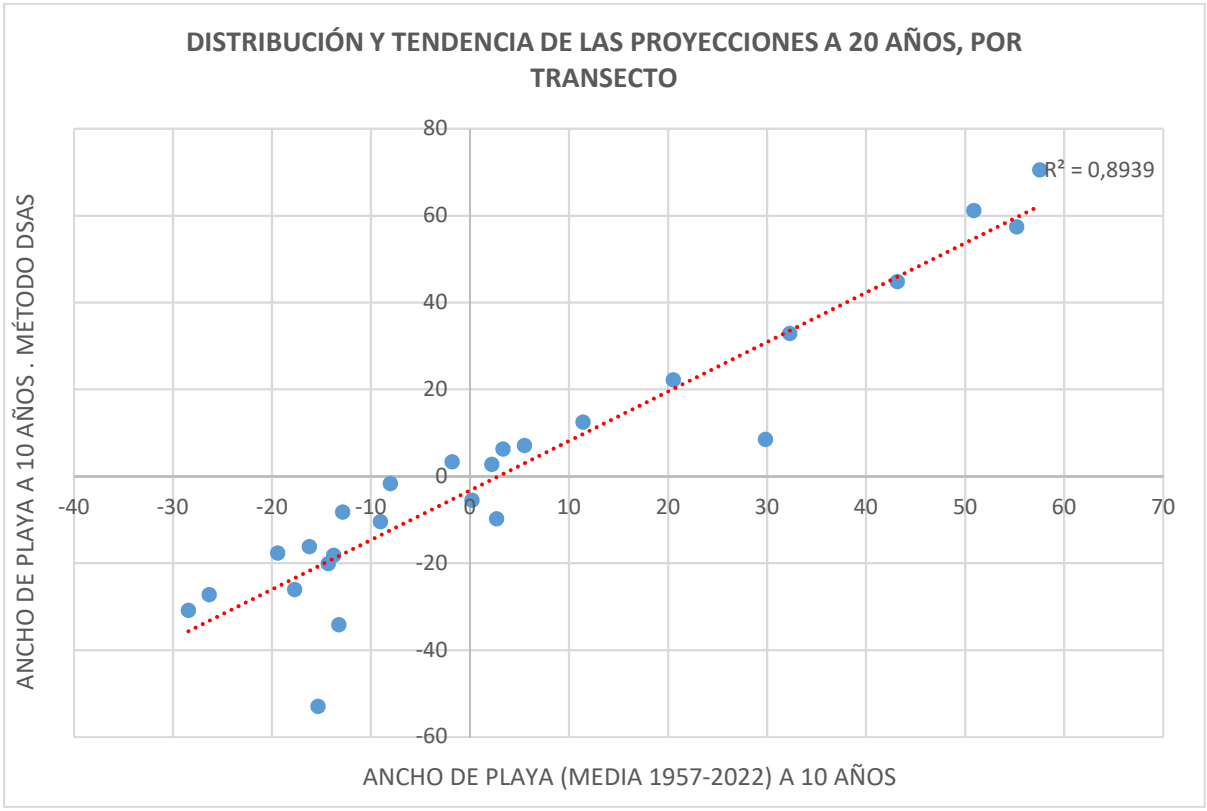
Cuanto más se acerca este valor a 1, más fuerte es la relación entre las variables.

El valor del coeficiente de correlación de Pearson para nuestras series es:

$$\rho_{xy}=0,95$$

Por tanto, ambas series tienen un comportamiento similar para cada una de sus proyecciones a 20 años.

Dicha relación también puede reflejarse en el gráfico de dispersión que se observa a continuación donde comparamos ambas variables. La línea de tendencia resultante es positiva y el valor de la R^2=0.89, lo que viene a corroborar que, aplicando distintos métodos predictivos, el comportamiento a 10 años de la línea de costa es el mismo, donde en la mayor parte del tramo es de carácter regresivo.



Distribución de los anchos de playa a 20 años (m) según modelo DSAS y proyección de la media entre 1957-2022

Una vez conocido el comportamiento similar de ambos conjuntos de datos, debemos saber si los anchos de playa por transecto son diferentes, a fin de poder tomar como válidos o no los anchos de playa de 50 años obtenidos mediante las medias anuales entre 1957-2022.

Para ello realizamos la prueba de de *t-Student* para muestras independientes cuyas varianzas son desconocidas y diferentes.

Planteamos las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula: H_0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alternativa: H_1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Siendo la hipótesis alternativa que ambos conjuntos ofrecen los mismos resultados dentro de un valor crítico de la prueba de $\alpha=0.1$.

No se conocen las varianzas de las poblaciones, pero se puede suponer que son iguales porque son datos obtenidos del mismo fenómeno y las mismas variables (desplazamiento de la línea de costa en los mismos transectos). Por lo tanto, la fórmula del estadístico de la prueba de hipótesis para la diferencia de medias que debemos usar es la siguiente:

$$t = \frac{(\overline{x_1} - \overline{x_2}) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Calculamos la desviación estándar combinada de las dos muestras:

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Dando como resultado S_p=5,34

Por tanto, la prueba de la hipótesis para la diferencia de medias:

$$t=-1,08$$

$$\alpha=0.1 \quad \alpha/2=0,05$$

$$t\ \alpha/2\ n_1+n_2-2 = 2,005$$

Dado que el valor absoluto del estadístico de la prueba es menor que el valor crítico de la prueba, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

$$|1,08| = 1,08<2,005$$

Por lo que se concluye que ambos conjuntos ofrecen datos similares dentro de un rango de incertidumbre $\alpha=0.1$ y, por tanto, se pueden tomar los datos de las medias anuales entre 1957-2022 para hacer la proyección a 50 años.

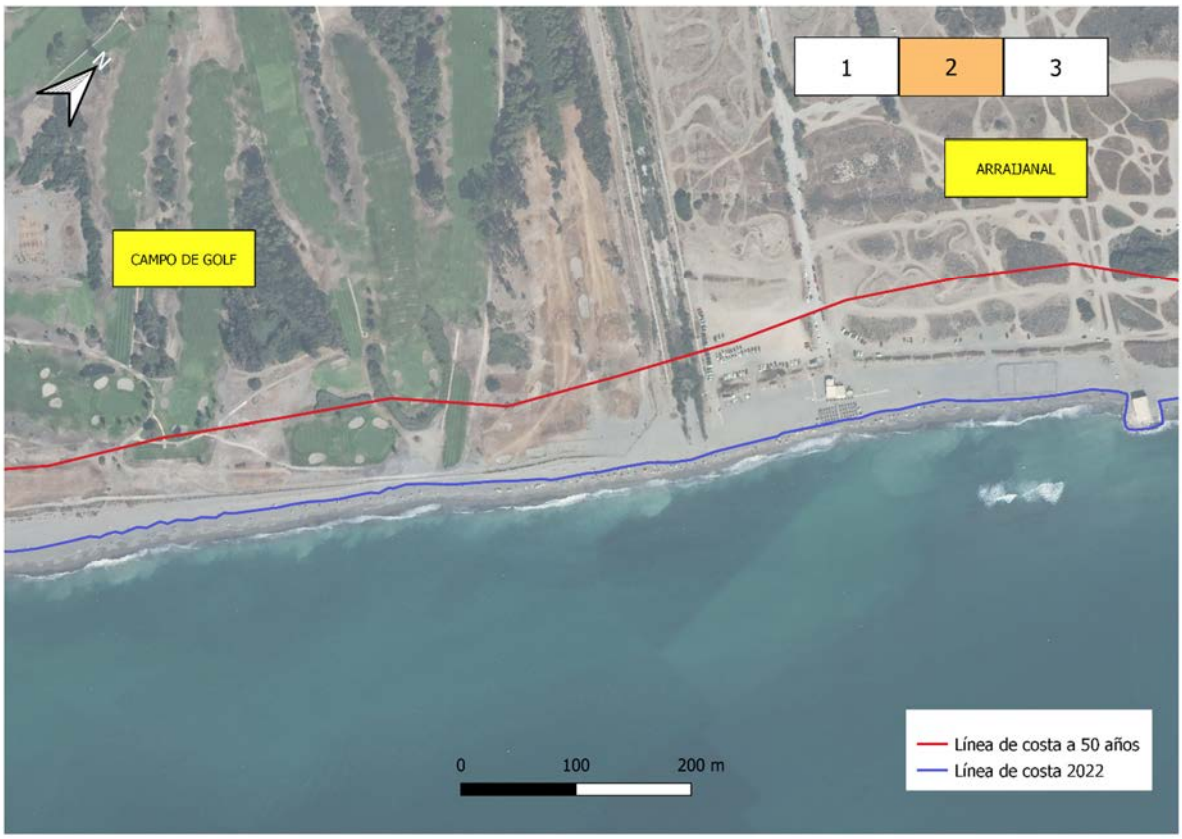
- *Proyección a 50 años*

Una vez comprobada estadísticamente la validez de la proyección de la línea de costa mediante las medias anuales entre 1957-2022, se procede a obtener los anchos de playa con respecto a la línea de referencia interior, para un periodo de 50 años. Los datos son los siguientes:

NUM. DE TRANSECTO	ANCHO PLAYA MEDIO 50 AÑOS
Transecto 1	55.15
Transecto 2	45.75
Transecto 3	49.34
Transecto 4	33.06
Transecto 5	16.64
Transecto 6	-1.87
Transecto 7	-17.46
Transecto 8	-28.66
Transecto 9	-43.13
Transecto 10	-38.81
Transecto 11	-53.50
Transecto 12	-61.65
Transecto 13	-72.52
Transecto 14	-56.32
Transecto 15	-69.98
Transecto 16	-53.36
Transecto 17	-58.73
Transecto 18	-72.73
Transecto 19	-79.78
Transecto 20	-73.79
Transecto 21	-75.38
Transecto 22	-96.80
Transecto 23	-88.15
Transecto 24	-17.12
Transecto 25	-41.27

Previsión de anchos de playa según promedio de la regresión anual entre 1957 y 2022. Los valores negativos se producen cuando el modelo predictivo establece que la línea de costa se encuentra detrás (tierra adentro) de la línea de referencia interior.

1
2
3
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
Línea de costa a 50 años
Línea de costa 2022


1
2
3
ARRAIJANAL
CAMPO DE GOLF
0
100
200 m
Línea de costa a 50 años
Línea de costa 2022

Línea de costa a 50 años según modelo predictivo de las medias anuales entre 1957-2022.

5.1.2.2.2 Análisis de la tendencia

Estas modificaciones en el comportamiento del clima marino y la regresión costera se han ido afianzando con el tiempo, sin que se observe un comportamiento cíclico en este tipo de cambios que, conforme a la serie temporal analizada, jamás se han observado. De esta forma, al no existir datos que confirmen dicho comportamiento cíclico, no se puede asegurar que sus consecuencias en la morfología costera (una progresiva regresión) puedan ser revertidas por estos mismos mecanismos naturales.

Para detectar la existencia de tendencias significativas en series temporales se aplica en este estudio el test no paramétrico de Mann-Kendall, que se calcula mediante la fórmula:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn\left(x_j - x_i\right)$$

Donde:

n=número de datos (en nuestro caso, tomaremos tantos datos como perfiles de costa hemos tomado mediante las ortofotos y vuelos de costa) referidos a los anchos de playa medidos sobre transectos.

x_i y x_j =son los valores en la serie de datos correspondiente a un momento dado i y j (j>i), respectivamente

$$sgn= (x_j - x_i)$$

De esta forma, el signo de la función (tendencia) será:

$$\operatorname{sgn}\left(x_j - x_i\right) = \begin{cases} +1, & \text{if } x_j - x_i > 0 \\ 0, & \text{if } x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{if } x_j - x_i < 0 \end{cases}.$$

La varianza se calcula:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

Para el cálculo del valor estadístico del test standard normalizado de Mann-Kendall (Z_s), se usan muestras de datos superiores a 10 (n>10), aplicando la ecuación:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases}.$$

Los valores positivos de Z_s indican una tendencia creciente mientras que los negativos indican lo contrario. El test se realiza con un valor específico de significancia (α), definiendo la probabilidad con la que existe una tendencia. Cuando $Z_s > Z_1\text{-}\alpha/2$ una tendencia significativa existe en la serie temporal.

En este estudio se aplica un nivel de significancia de α=0.005. A un nivel de significancia de 5% la hipótesis de que no hay tendencia se rechaza si Z_s>1.96

A continuación, se muestran los valores del test Mann-Kendall, aplicados a las series de datos temporales de anchos de playa, medidos sobre los transectos, de forma que analizaremos si los cambios en la línea de costa, en cada uno de dichos transectos, responden al comportamiento de una tendencia o no.

TRANSECTOS	Mann-Kendall (S)	Normalized Test Statistic (Z)	Probabilidad	Tendencia (95% nivel de significancia)
Transecto 1	-11	-0,37877701	0,295146539	SIN TENDENCIA
Transecto 2	-25	-0,909064823	0,63668409	SIN TENDENCIA
Transecto 3	-27	-0,984820225	0,675287616	SIN TENDENCIA
Transecto 4	-65	-2,424172861	0,9846567	DECRECIENTE
Transecto 5	-81	-3,030216076	0,997556212	DECRECIENTE
Transecto 6	-89	-3,333237684	0,999141584	DECRECIENTE
Transecto 7	-107	-4,015036301	1	DECRECIENTE
Transecto 8	-103	-3,863525497	0,999888238	DECRECIENTE
Transecto 9	-107	-4,015036301	1	DECRECIENTE
Transecto 10	-105	-3,939280899	0,981146623	DECRECIENTE
Transecto 11	-111	-4,166547105	1	DECRECIENTE
Transecto 12	-123	-4,621079516	1	DECRECIENTE
Transecto 13	-137	-5,15136733	1	DECRECIENTE
Transecto 14	-141	-5,302878134	1	DECRECIENTE
Transecto 15	-141	-5,302878134	1	DECRECIENTE
Transecto 16	-135	-5,075611928	1	DECRECIENTE
Transecto 17	-131	-4,924101124	1	DECRECIENTE
Transecto 18	-123	-4,621079516	1	DECRECIENTE
Transecto 19	-139	-5,227122732	1	DECRECIENTE
Transecto 20	-137	-5,15136733	1	DECRECIENTE
Transecto 21	-141	-5,302878134	1	DECRECIENTE
Transecto 22	-131	-4,924101124	1	DECRECIENTE
Transecto 23	-127	-4,77259032	1	DECRECIENTE
Transecto 24	-103	-3,863525497	0,999888238	DECRECIENTE
Transecto 25	-103	-3,863525497	0,999888238	DECRECIENTE
Transecto 26	-55	-2,045395852	0,959184152	DECRECIENTE
Transecto 27	-77	-2,878705272	0,996006887	DECRECIENTE

Valores del test de Mann-Kendall aplicado a la evolución de anchos de playa.

Las series temporales de la evolución de los anchos de playa en nuestro tramo de estudio muestran los siguientes comportamientos según el test Mann-Kendall.

Los tres primeros transectos, ubicados entre el límite del Término Municipal de Torremolinos y el borde occidental del campo de golf, no parecen tener una tendencia, de lo que se deduce que los cambios sufridos en el litoral en el área de Guadalmar pierden su efecto en esta área. A pesar de los valores negativos de S, lo que sugiere cierto decrecimiento, como tendencia, el test no ofrece garantías con una probabilidad del 95%.

En el resto de transectos, los datos ofrecen siempre una tendencia negativa. Es de destacar que los mayores valores en cuanto a esta tendencia se encuentran entre los transectos 13 y 16, los mismos que sufren una mayor regresión (regresión grave) en los últimos años como se ha descrito anteriormente.

Finalmente, los transectos ubicados en la playa de Guadalmar también ofrecen una tendencia negativa, no obstante, se observa cómo, tanto los valores de probabilidad como de dicha tendencia, son los menores de todo el tramo. Dichos resultados son motivados por el efecto limitante de las escolleras en la evolución regresiva de la playa de Guadalmar, lo que ha evitado mayores datos de regresión.

Se puede observar que en todos los transectos, en la mayor parte de la serie temporal analizada, el test de Mann-Kendall resuelve que los datos de regresión de costa, a lo largo de dicho periodo de tiempo, responden a un comportamiento no cíclico, por lo que se confirma la tendencia, en este caso negativa (regresiva) de los anchos de playa en cada transecto y, por tanto, no se puede afirmar que exista un comportamiento claro acerca de la posibilidad de regeneración de la playa por medios naturales.

Por todo ello, cabe deducir que los fenómenos regresivos pueden seguir produciéndose en caso de que esta tendencia, descrita previamente, continúe en el tiempo, aumentando la probabilidad de que la costa llegue hasta las zonas previstas en el punto anterior.

5.2 Modelos digitales del terreno (MDT)

Se ha elaborado un mapa topográfico a partir de las nubes de puntos 3D obtenidos con LIDAR.

Se ha utilizado la nube de puntos publicada en el Instituto Geográfico nacional correspondiente a la "2ª Cobertura (2015-Actualidad)". Particularmente, en el caso de nuestra zona de estudio, los datos fueron obtenidos en 2020. Estos son los datos más recientes publicados.

Los ficheros .LAZ (archivos comprimidos), que cubren la zona de estudio entre la desembocadura del río Guadalhorce y el T. M. de Torremolinos:

- PNOA-2020-AND-366-4056-ORT-CLA-RGB.LAZ
- PNOA-2020-AND-366-4058-ORT-CLA-RGB.LAZ
- PNOA-2020-AND-366-4060-ORT-CLA-RGB.LAZ
- PNOA-2020-AND-368-4058-ORT-CLA-RGB.LAZ
- PNOA-2020-AND-368-4060-ORT-CLA-RGB.LAZ
- PNOA-2020-AND-368-4062-ORT-CLA-RGB.LAZ
- PNOA-2020-AND-370-4060-ORT-CLA-RGB.LAZ

Nube de puntos LIDAR (2020) de la desembocadura del río Guadalhorce y Guadalmar en RGB

Para el análisis de la topografía, se han filtrado los puntos para utilizar sólo los de valor:

(2) Ground

Es decir, sólo aquellos puntos identificados como de suelo desnudo.

Tampoco ha sido necesario realizar un flitrado por números de retornos dado que más del 90% de los puntos son primer y último retorno (es decir, son el mismo retorno).

A partir de los valores de elevación de esta nube de puntos se realiza el DEM a partir del que se calcula, mediante GIS las curvas de nivel con equidistancias de 0.5 m.

La topografía del terreno obtenida con este método se utiliza en los cálculos de alcance del oleaje y de cota de inundación que se exponen más adelante.

6 ESTUDIO DEL CÁLCULO DE MÁXIMA ELEVACIÓN DEL MAR EN CONDICIONES DEL AÑO 2024

Previo a la determinación del alcance de la inundación por oleaje en la zona, se ha realizado un estudio genérico para definir la dirección principal de la dinámica litoral del entorno de costa del tramo mediante la dirección del flujo medio de energía del oleaje. En general, se puede decir que, en el tramo de costa en estudio, el flujo medio de energía se produce en modo prácticamente perpendicular respecto al plano de la costa con clara tendencia de levante (dirección ESE).

En general, la oblicuidad del flujo medio de energía ocasiona la estrechez de playas no protegidas por salientes. En esta zona y, sobre todo, en la colindante de Torremolinos las playas son anchas ya que el flujo medio de energía del oleaje es prácticamente perpendicular a la costa, pero dada su exposición a los temporales al no tener protecciones naturales ni rocosos ni por población de fanerógamas en los fondos costeros, tienen ocasionales reducciones importantes de material, debido a que los temporales individuales pueden ser oblicuos o muy oblicuos erosionando fuertemente los arenales.

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

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

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

- La zona de estudio queda encuadrada en el Área V, subzona a, 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 2031080 ya que es el punto más próximo a la zona objeto del estudio de cota máxima del nivel del mar.
- A efectos del cálculo del alcance máximo del oleaje en los mayores temporales conocidos, se han considerado las variaciones del nivel del mar y del oleaje registrados, para lo que se han tenido en cuenta los valores significantes de altura de ola desde que existen registros. Se han utilizado los datos registrados por Puertos del Estados, que datan del año 1958 hasta la actualidad, siendo, además públicos y disponibles para cualquier interesado.
- Se usaron todos los registros para determinar los mayores temporales conocidos desde que hay registros (desde 1958) y de ellos se estudiaron en detalle aquellos cuya altura de ola significante fue mayor junto con sus periodos pico y dirección predominante. Con ellos se hicieron los cálculos necesarios para establecer el mayor temporal acaecido en la zona.
- Se puede establecer que la cota de inundación a la que alcanza el mayor temporal ocurrido en la zona de estudio en zona abierta y sin estructuras de limitación (cuya estructura y cotas no aparezcan representadas en la cartografía) puede situarse entre los +2,16 metros y los +3,11 metros sobre el nivel medio del mar en Alicante según el sector del tramo. Esto se explicará en detallen en el cuerpo de este estudio.

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

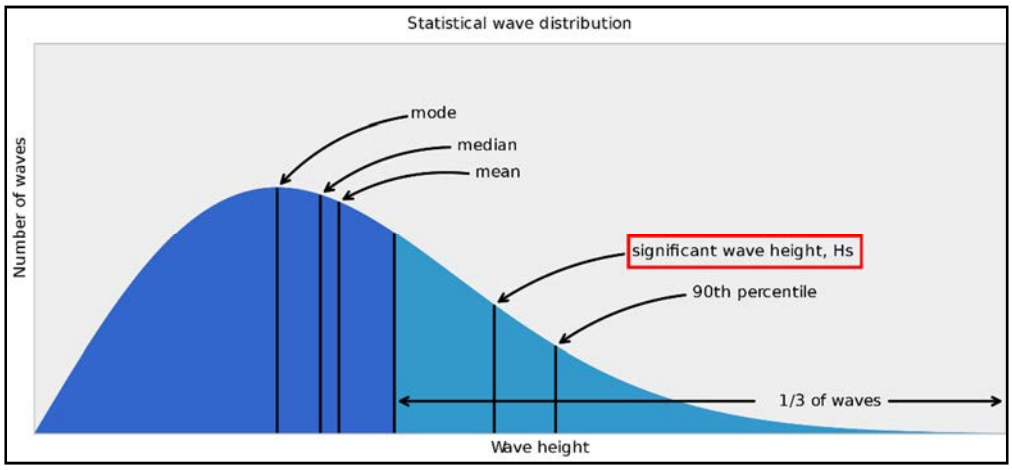
- Los modelos generados por los puntos SIMAR *"tienden a subestimar los picos en las velocidades de viento y en las alturas de ola en situaciones de temporal muy extremo",* es decir, los datos de altura de ola y viento que ofrece durante los mayores temporales suelen ser inferiores a la altura real de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

6.1 Descripción general del clima marítimo

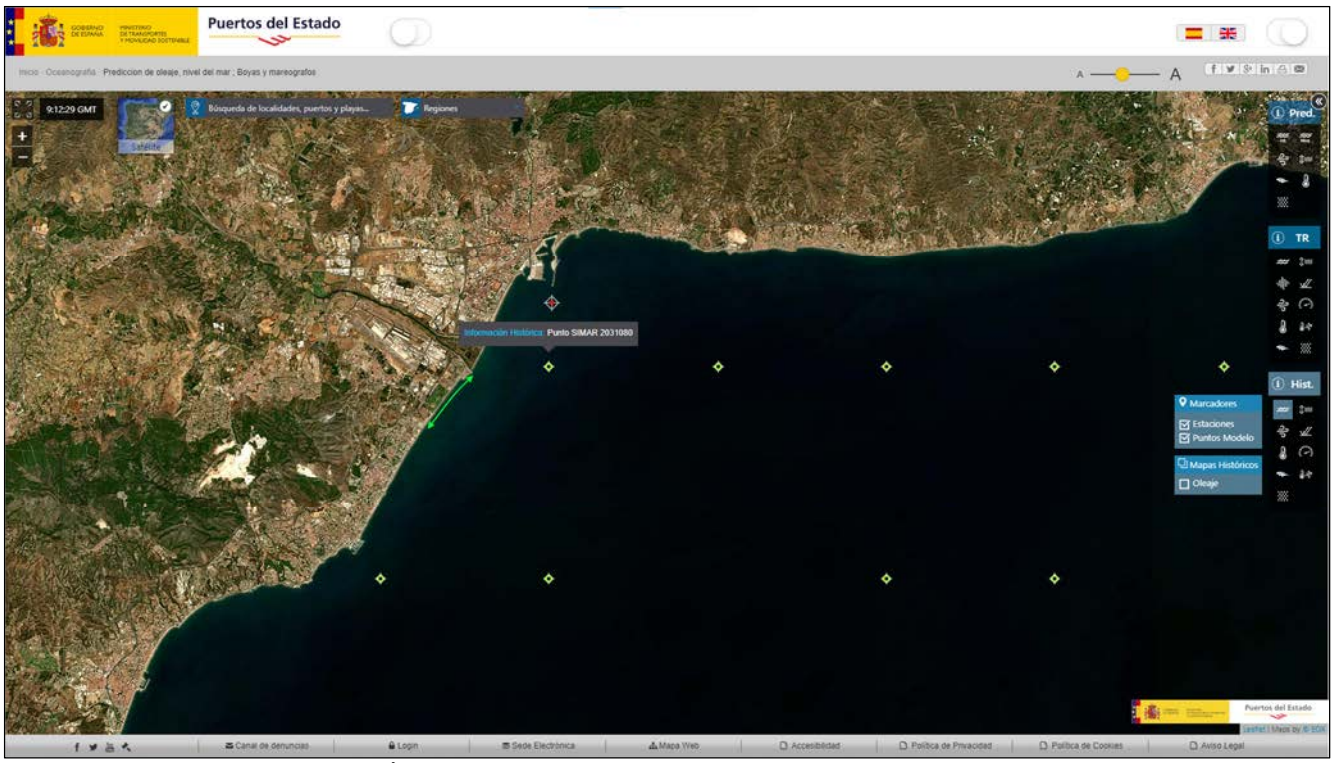
La costa del Término Municipal de Málaga se emplaza en la zona central de la provincia homónima. Existe un punto que caracteriza el oleaje incidente en este tramo de costa perteneciente a la red SIMAR; este punto está codificado con la numeración 2031080. El conjunto de datos SIMAR está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico son, por tanto, datos generados por procesos de simulación y no proceden de medidas directas de la naturaleza. Las series SIMAR surgen de la concatenación de los dos grandes conjuntos de datos de simulación de oleaje con los que tradicionalmente ha contado Puertos del Estado: SIMAR y WANA. El objetivo es el de poder ofrecer series temporales más extensas en el tiempo y actualizadas diariamente. De este modo, el conjunto SIMAR ofrece información desde el año 1958 hasta la actualidad.

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

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

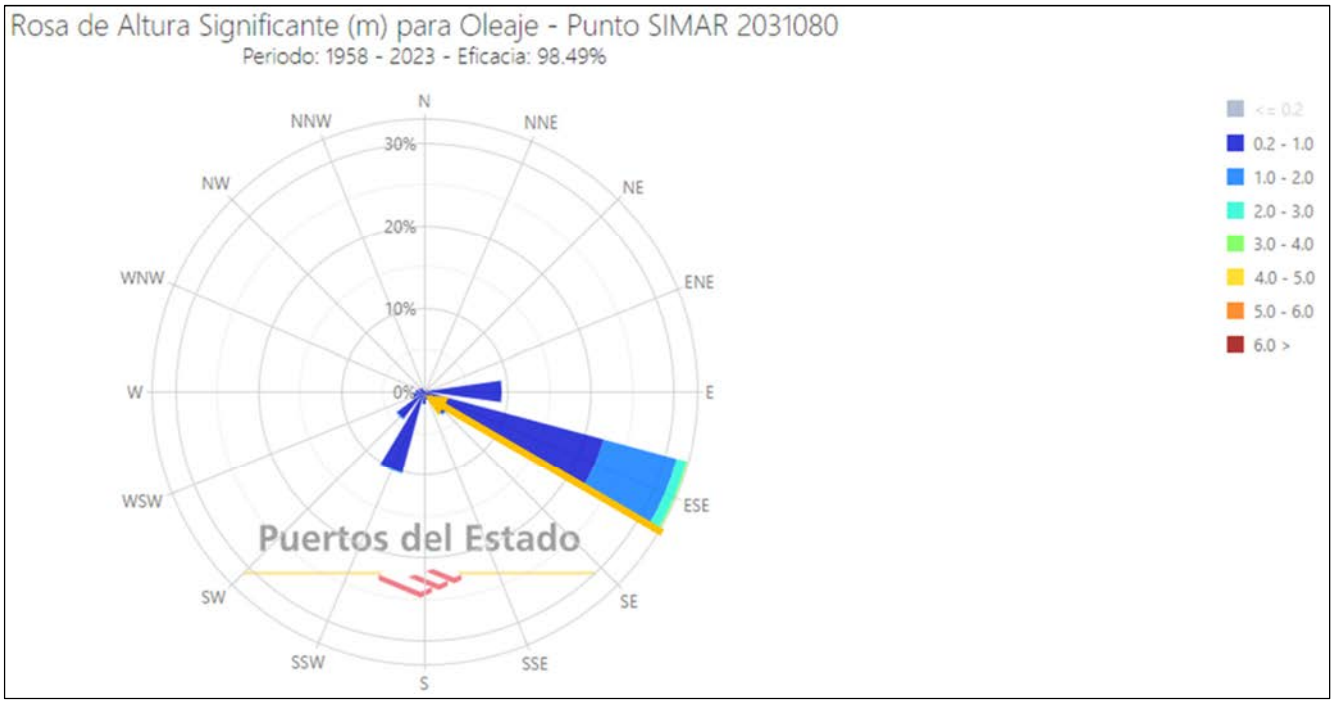


Los datos de oleaje en general y posicionamiento está disponible para consulta pública en la web www.puertos.es perteneciente a Puertos del Estado del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. En la zona de estudio, el punto de la red SIMAR más significativo es el numerado como 2031080:



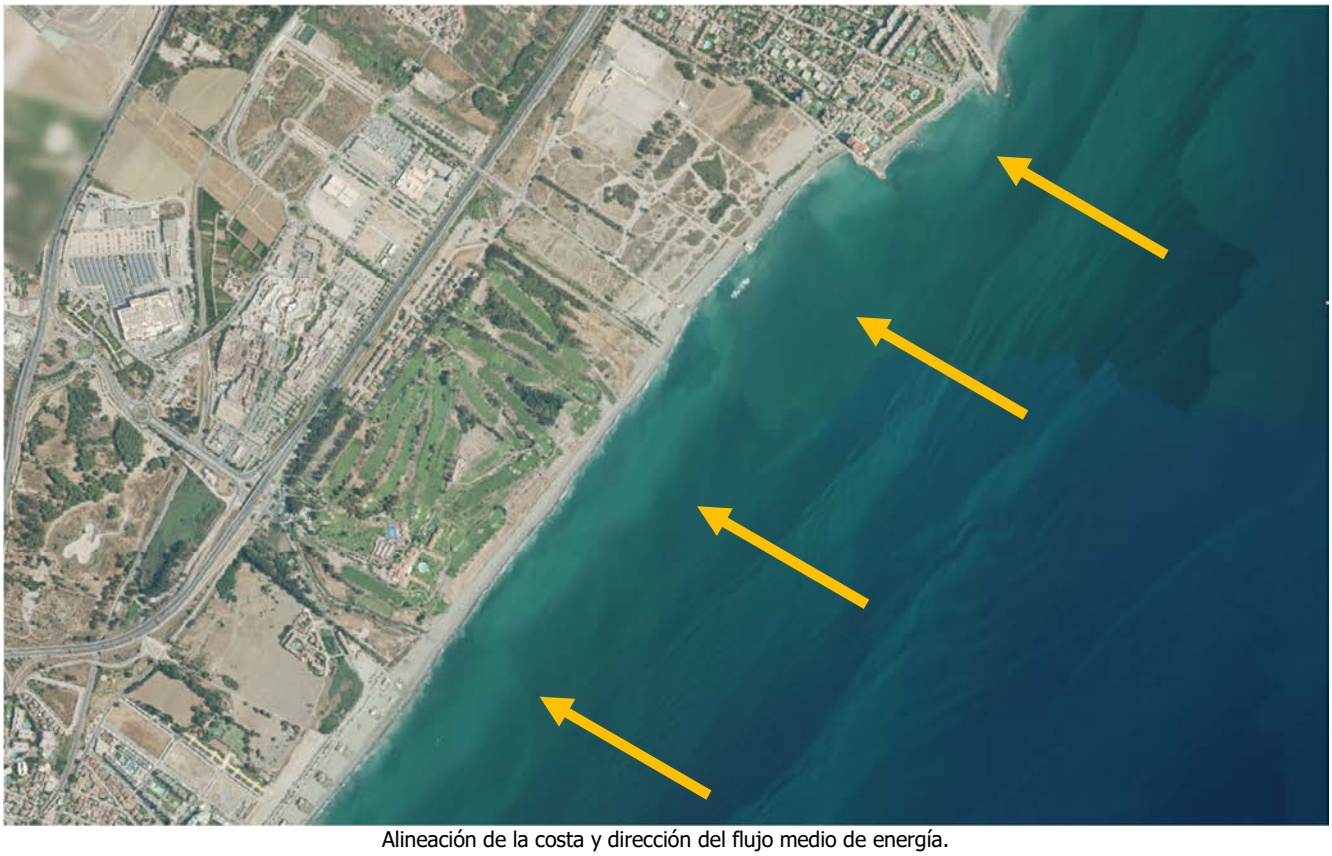
Posición de los puntos de la Red SIMAR y la zona de costa en estudio.

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



Rosa de Oleaje del punto SIMAR 2031080, y dirección del Flujo Medio de Energía.

La línea que sigue la costa es entorno a WSW-ENE en la mayor parte del tramo excepto la línea litoral de la urbanización Guadalmar que es SW-NE. El flujo medio de energía del oleaje tiende a provenir entre la dirección ESE.



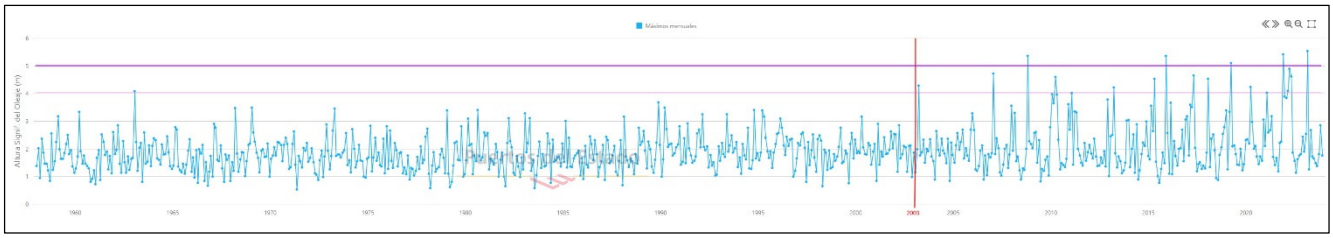
Alineación de la costa y dirección del flujo medio de energía.

Genéricamente, la estabilidad de los arenales no protegidos por barreras naturales como afloramientos rocosos, cabos, etc. se produce cuando el arenal se conforma en posición perpendicular al flujo medio de energía de los temporales y no es compensado por el flujo de las corrientes. En este tramo de costa el litoral está formado por una larga playa excepto en la parte colindante con la desembocadura del río Guadalhorce donde se construyó una urbanización y un paseo marítimo elevado que se protegió de los temporales marítimos mediante una escollera y varios espigones. El flujo medio de energía del oleaje

incide de forma ligeramente oblicua a la línea media de costa, por ello, tanto por los espigones que modifican la dinámica de las corrientes marinas, así como la ligera oblicuidad del flujo medio de energía del oleaje ocasiona que esta playa tenga tendencia a la regresión, principalmente en las zonas próximas a los espigones por el desequilibrio que estos producen.

Los mayores episodios de erosión de los arenales tienen lugar en los eventos de temporal con los oleajes más intensos, principalmente los procedentes de levante llegando a producir extensas inundaciones en la zona dunar de Arraijanal debido a su topografía plana por la gran afección que se ha producido en la zona a lo largo de las décadas por la extracción de áridos entre otros daños. En la urbanización de Guadalmar, a pesar de la presencia de los espigones y escolleras, durante los mayores temporales, el oleaje los supera inundando la parte más próxima al mar de la urbanización. En la zona del Parador de Golf, junto a Arraijanal, los temporales suelen reducir la anchura de la playa, erosionando el cordón dunar incipiente que se forma junto al vallado del recinto del campo de golf y entrando el agua del mar en él, inundando la parte exterior de las instalaciones.

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



En ella se representan la altura de ola significante máxima mensual entre el 1 de enero de 1958 y el 27 de noviembre de 2023. Como se puede observar, en un intervalo de 45 años comprendido entre 1958 y 2003 se produce un solo evento de más de 4 metros de altura de ola (Hs), y ninguno de más de 5 metros, mientras que en el intervalo de 20 años siguiente (menos de la mitad del intervalo anterior), desde 2003 hasta 2023, se producen 18 eventos de más de 4 metros de altura de ola significante (Hs) y 5 eventos de más de 5 metros de altura de ola significante máxima mensual.

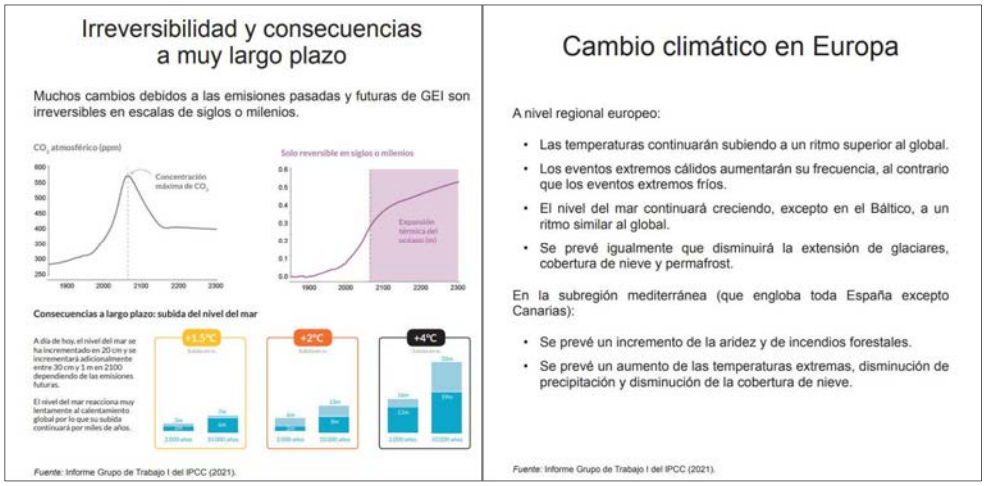
Esto podría indicar, aun siendo un análisis simplificado de la gráfica del histórico de temporales anterior que, en los últimos años debido al aumento en la frecuencia de temporales intensos, se produce una reducción de la arena en las playas de la zona y de mayor erosión de los terrenos emergidos en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

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

En este sentido, las condiciones climáticas de diversas variables marinas, tales como la temperatura, el viento o nivel del mar, se están viendo alteradas por el efecto del cambio climático, convirtiéndose en

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

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



Informe Grupo de Trabajo I del IPCC (2021)

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

Esto ha de tenerse en cuenta porque la franja de defensa que supone el DPMT para los hábitats costeros y las infraestructuras artificiales deberá ser revisada cada vez con más frecuencia, conforme la línea de costa se vaya viendo modificada por dichos eventos y la intensidad del oleaje así lo indique, contemplando tanto las consecuencias medioambientales como las económicas y sociales que se irán produciendo. Se considera necesaria la realización de una estrategia para la conservación integral de la costa y, por tanto, del DPMT, antes de que el mar produzca más daños en los hábitats litorales aun no edificados y que tienen posibilidad de recuperación, y 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 actuales y produzca daños económicos y sociales (y sus consecuentes afecciones al erario público en razón de posibles indemnizaciones, gastos extraordinarios por actuaciones de emergencia, presión para la construcción de escolleras y espigones, diques semisumergidos, regeneración de la arena de las playas, etc.), teniendo en cuenta que este tramo de costa ya existen varias infraestructuras dedicadas al turismo que, en su momento, ocuparon terrenos típicamente litorales como son los campos de dunas, (y zonas de inundación fluvial) y que para su mantenimiento necesitan de la presencia de espigones y escolleras para evitar su destrucción por la acción del oleaje (o el desbordamiento de ríos):

1963

1977

2022

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.*

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

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

Dado que este estudio trata sobre la regresión de la costa de un tramo del litoral y que esta regresión depende, en parte, por la intensidad de los temporales, se considerara para el cálculo de la cota máxima de inundación, la de las mayores olas durante los temporales que es el concepto que se recoge en toda la legislación sobre costas en España desde hace más de un siglo cuando en la Ley de Puertos de 1880 ya se decía en su artículo 1.1:

> **Artículo 1.1.** La zona marítimo terrestre, que es el espacio de las costas o fronteras marítimas del territorio español que baña el mar en su flujo y reflujo, en donde son sensibles las mareas, **y las mayores olas en los temporales** en donde no lo sean.
>
> Esta zona marítimo-terrestre se extiende también por las márgenes de los sitios en que sean navegables o se hagan sensibles las mareas.

Manteniéndose este concepto en el resto de las leyes sobre costas publicadas posteriormente, como la Ley de Puertos de 1928, la Ley de Costas de 1969 y la vigente Ley de Costas de 1988.

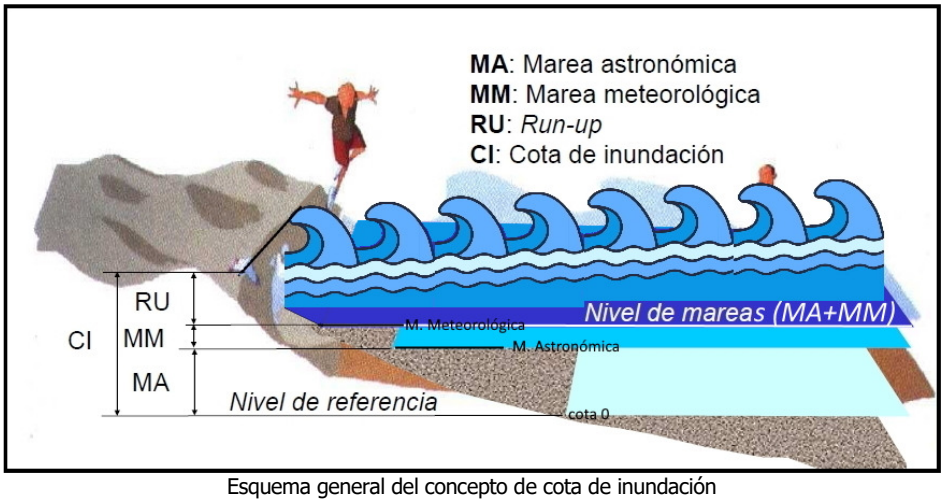
Para ello ha de calcularse en primer lugar la cota de inundación del mayor temporal, es decir, de las mayores olas, de los que se tienen registros, considerándose estos desde 1958 que son los datos sobre oleaje que dispone el organismo público "Puertos del Estado" que pertenece actualmente al denominado Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.

Los datos de la red de boyas y puntos SIMAR de Puertos del Estado datan del año 1958 hasta la actualidad, por lo que es con estos datos con los que se realizaran los cálculos de máximo alcance de la inundación del oleaje durante el mayor temporal conocido.

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

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

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



Esquema general del concepto de cota de inundación

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

La marea 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 significante, periodo asociado o su longitud de onda.

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

1) Estudiar y evaluar los sucesos de temporal más extremos en el periodo desde que existen registros hasta la actualidad. Es importante señalar que no necesariamente tiene que producirse el alcance máximo de olas el mayor temporal en altura de ola significante puesto que existen la variable del periodo pico que puede hacer variar la energía del oleaje, es decir, un periodo pico elevado puede hacer que un temporal sea más severo, aunque su altura de ola significante no sea la mayor. Por otro lado, las componentes adicionales de marea astronómica y marea meteorológica también intervienen en el resultado final. En cualquier caso, al considerar el alcance fijado en los mayores temporales conocidos, se estima oportuno estudiar la serie de los mayores los temporales producidos en el periodo desde que existen registros y evaluar la cota de inundación una cantidad suficiente de ellos para poder determinar cuál de ellos es el mayor de todos teniendo en cuenta todas las variables.
2) Aplicar un modelo o metodología de cálculo para una vez conocidos esos sucesos, evaluar la cota de inundación asociada.

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

Oleaje:

Como se ha indicado anteriormente, se utilizan para realizar los cálculos de máxima elevación del nivel del mar los registros de boyas existentes o calculadas a través de datos oceanográficos, siendo la Red SIMAR a través del punto 2031080 el más significativo para la zona de estudio. Los registros históricos de oleaje de este punto se pueden consultar en la página web de Puertos del Estado (www.puertos.es) en el apartado de oceanografía/Previsión, tiempo real y clima/oleaje, (Prediccion de oleaje, nivel del mar ; Boyas y mareografos | puertos.es), siendo éstos de consulta pública, por lo que cualquier persona interesada puede acceder a ellos.

Dado el extenso número de registros de oleaje existentes, a continuación, se aportarán las mayores alturas de ola significantes encontradas en el periodo (entre el 1 de enero de 1958 y el 27 de noviembre de 2023) en este punto de la red SIMAR, así como la gráfica de máximas alturas de ola significante mensuales correspondiente a todo el periodo; también obtenida de la web de Puertos del Estado.

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110
13:00	19	11	2021	5,41	10,01	110
2:00	27	3	2019	5,10	11,01	111
22:00	10	2	2023	5,54	10,01	109
22:00	20	4	2017	4,65	10,71	111
15:00	6	3	2010	4,60	9,34	111
12:00	8	4	2015	4,53	10,46	112

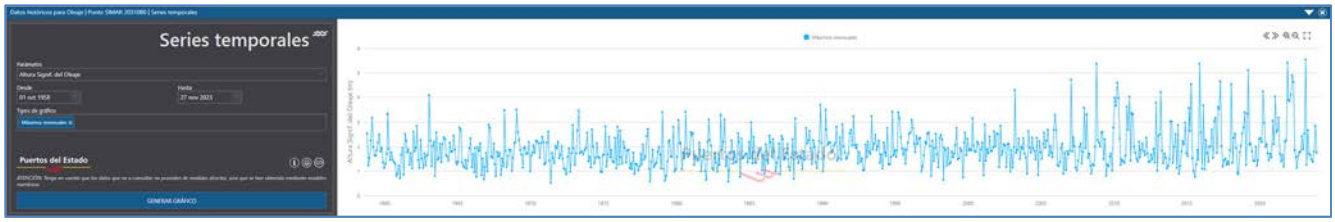
Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2031080. (www.puertos.es)

Donde:

Hs es la altura de ola significante 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 significante (máx. mensuales) del punto SIMAR 2031080.

Nivel del Mar asociado al evento de temporal

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

1) Estimar el valor de cada marea por separado, consultando en las tablas de mareas históricas la correspondiente al momento de cada evento de temporal para obtener el valor de la marea astronómica en ese momento, y obteniendo el valor de la marea meteorológica mediante formulaciones empíricas con los datos de viento (obtenibles de la red SIMAR) y

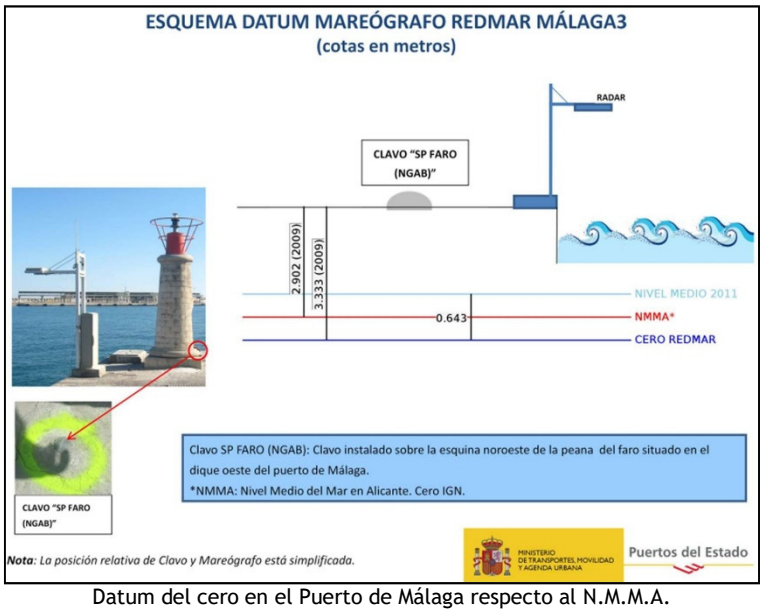
presión barométrica (estimables según datos de meteorología). Los datos de presión barométrica eran obtenibles de la boya del Mar de Alborán para cada evento de temporal, y los datos de viento de los mismos puntos SIMAR de donde se han tomado los datos de oleaje.

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 ya que la boya comentada anteriormente del Mar de Alborán se encuentra inactiva en la actualidad, lo que hace que se tendría que consultar otra más alejada de la zona de estudio (el mareógrafo de Motril) en comparación con la cercanía del mareógrafo 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 las series histórica de la boya mareógrafo de la red REDMAR en Málaga:

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



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

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

Para cada evento de temporal, se utilizará el valor máximo recogido durante todo el día del evento del temporal, procedente también de la web de Puertos del Estado. De esta manera, se tienen los siguientes valores en relación a los temporales estimados de estudio:

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	97,5	0,975	0,544
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589
13:00	19	11	2021	5,41	10,01	110	103,0	1,030	0,599
2:00	27	3	2019	5,10	11,01	111	84,7	0,847	0,416
22:00	10	2	2023	5,54	10,01	109	92,1	0,921	0,490
22:00	20	4	2017	4,65	10,71	111	92,7	0,927	0,496
15:00	6	3	2010	4,60	9,34	111	112,1	1,121	0,690
12:00	8	4	2015	4,53	10,46	112	87,3	0,873	0,442

Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2031080.

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).

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

En el anterior apartado se ha seleccionado, de los eventos de temporal marítimo, el que puede ocasionar cotas de inundación máximas, 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 significante 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 significantes ya tomadas y su periodo de pico asociado para cada uno de los eventos de temporal.

Formulación de Nielsen-Hanslow (1991):

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

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

Y para la banda de confianza del 2%:

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

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

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

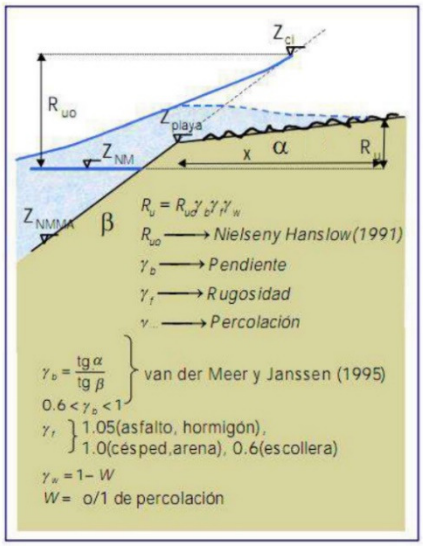
Donde:

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

H_s = Altura de ola significante 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_f, tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

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

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos

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

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

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

Aplicando la formulación de Nielsen-Hanslow, podemos obtener el valor del run-up para cada evento de temporal (antes de aplicar los coeficientes de Van Der Meer y Janssen), que a su vez debe ser sumando a la componente del nivel del mar (S_{NM}) ya calculado para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación de cada uno de los eventos de temporal para cada zona con pendiente

homogénea; calculado mediante la obtención de los resultados necesarios de clima marítimo en primer lugar y la aplicación de un modelo o formulación de cálculo adecuado posteriormente.

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

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10
13:00	19	11	2021	5,41	10,01	110	103,0	1,030	0,599	156,31
2:00	27	3	2019	5,10	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10
22:00	10	2	2023	5,54	10,01	109	92,1	0,921	0,490	156,31
22:00	20	4	2017	4,65	10,71	111	92,7	0,927	0,496	178,94
15:00	6	3	2010	4,60	9,34	111	112,1	1,121	0,690	136,09
12:00	8	4	2015	4,53	10,46	112	87,3	0,873	0,442	170,68

Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2031080.

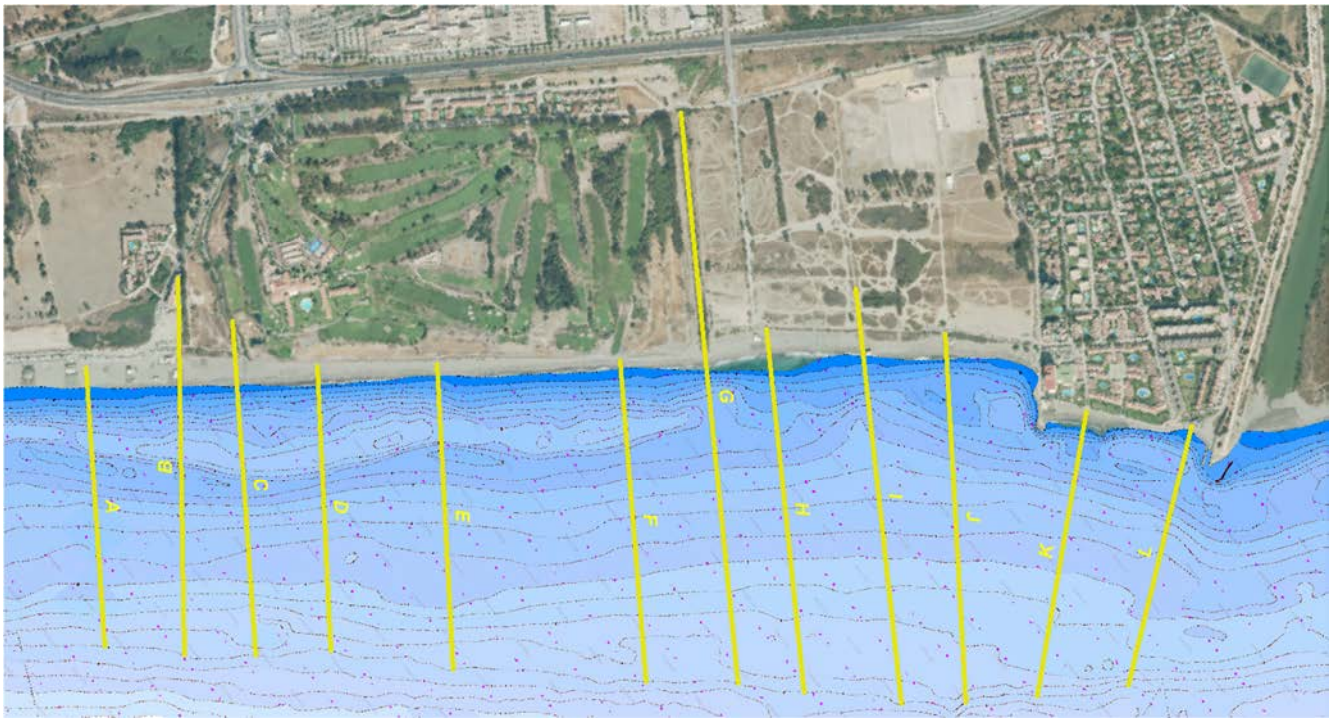
Cálculo del run-up corregido mediante los factores de Van der Meer.

Para la realización de los cálculos de alcance de inundación, se ha dividido 12 zonas en función de la homogeneidad de la costa sumergida, la emergida, del tipo geomorfológico, la morfología de las zonas antropizadas y, además, crear una densidad de medidas para que estas sean suficientes para caracterizar el alcance del oleaje y la cota de inundación con alta precisión en todo el tramo en estudio. 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 de los terrenos sumergido y emergido. Las pendientes se han calculado mediante batimetría extraídos del visor de la empresa italiana Navionics (perteneciente a Garmin Ltd.), concretamente de la capa SonarChart™, cuyas curvas batimétricas tienen un intervalo de 50 cm creadas mediante "sistema propietario" de Navionics que procesa los datos de registros de sónar procedentes de aportaciones realizadas por navegantes adheridos a Navionics que actualizada periódicamente sus cartas náuticas. Por ello se puede considerar que la batimetría representadas es la más reciente de la zona. (*Los datos e imágenes de batimetría han sido cedidos por Navionics exclusivamente para este estudio no siendo posible su uso para cualquier otro fin incluida la navegación*).

La topografía se ha realizado a partir de un modelo digital del terreno elaborado a partir de las nubes de puntos 3D obtenidos con sistema LiDAR; para ello se ha utilizado la nube de puntos publicada por el Instituto Geográfico Nacional correspondiente a la "2ª Cobertura (2015-Actualidad)", en nuestro caso los datos se obtuvieron en el año 2020, siendo éstos los datos más recientes publicados en la fecha de redacción de este estudio. Con estos datos se realiza un modelo digital de elevaciones con el que se calcula mediante software las curvas de nivel.

La ubicación de las zonas para el cálculo de las pendientes sumergida y emergida se representa en la siguiente imagen que incluye la batimetría:



Los datos de partida (ver tabla de las páginas 88 y 89) 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 y que se desarrolla a continuación.

Zona A.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	615
pendiente %	1,220

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	48
pendiente %	5,208

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 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}**
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22

15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1\text{-}W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona B.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	634
pendiente %	1,183

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	258
pendiente %	0,969

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 0{,}82$$

al dar como resultado un valor inferior a 1 pero superior a 0,6, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 0{,}82$$

- 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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1\text{-}W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,98	1,94
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,93	1,84
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,99	1,95
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,96	1,90

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,98	1,94	2,68
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,93	1,84	2,53
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,99	1,95	2,50
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,96	1,90	2,49

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 2,68 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona C.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	663
pendiente %	1,131

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	131
pendiente %	1,908

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=1,7$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona D.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	644
pendiente %	1,165

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)	3,00
distancia (m)	32
pendiente %	9,375

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 8{,}1$$

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_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)	$\geqslant 1$
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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona E.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	696
pendiente %	1,078

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)	3,00
distancia (m)	28
pendiente %	10,714

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

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

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_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)	$\geqslant 1$
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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona F.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	741
pendiente %	1,012

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	22
pendiente %	11,364

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 11{,}2$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1\text{-}W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93

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	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona G.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	760
pendiente %	0,987

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	601
pendiente %	0,416

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=0,4$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,72	1,42
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,68	1,35
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,72	1,43
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,70	1,39

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,72	1,42	2,16
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,68	1,35	2,04
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,72	1,43	1,98
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,70	1,39	1,98

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 2,16 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona H.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	794
pendiente %	0,945

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	68
pendiente %	3,676

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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_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)	$\geqslant 1$
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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1\text{-}W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona I.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	827
pendiente %	0,907

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	160
pendiente %	1,563

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 1{,}7$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1\text{-}W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona J.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	823
pendiente %	0,911

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,00
distancia (m)	51
pendiente %	3,922

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona K.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	662
pendiente %	1,133

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	21
pendiente %	11,905

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 10{,}5$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1\text{-}W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona L.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	618
pendiente %	1,214

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)	3,00
distancia (m)	14
pendiente %	21,429

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=17,7$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo y considerando que la proporción media de arcillas en el terreno se encuentra por debajo del 25% e índice de por lo que su presencia reduce la permeabilidad del suelo selección de Inman menor de 0,35. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 6.5 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

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

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

Según el C.E.M. es necesario obtener la altura de ola significante 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:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

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 de rotura db, que se obtiene mediante la fórmula:

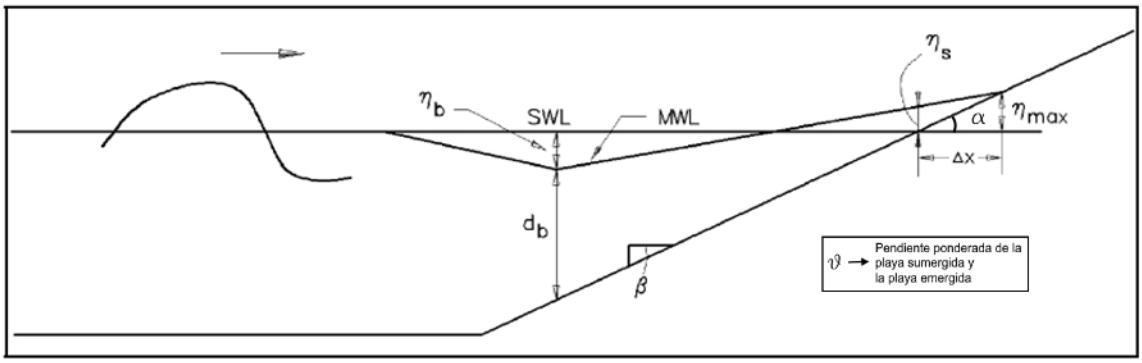
$$db = \frac{H_b}{\gamma_b^2}$$

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

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

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

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 6.4) es el de mayor valor, es decir, aquel temporal cuyo valor de S_{ci} es mayor.



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

A continuación, se desarrollan los cálculos para cada zona.

Zona A:

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3.11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0025
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,30
tanα	0,052
tanβ	0,012
tanϑ	0,015

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 97,35 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 97,35 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona B.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 2,68 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0024
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,31
tanα	0,010
tanβ	0,012
tanϑ	0,011

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 139,03 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 139,03 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona C.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0023
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,33
tanα	0,019
tanβ	0,011
tanϑ	0,013

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 118,70 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 118,70 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona D.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0023
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,32
tanα	0,094
tanβ	0,012
tanϑ	0,016

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 93,00 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 93,00 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona E.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0022
ηs	1,22
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,35
tanα	0,107
tanβ	0,011
tanϑ	0,015

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 99,10 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 99,10 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona F.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota de inundación corregida de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0020
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,37
tanα	0,114
tanβ	0,010
tanϑ	0,013

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 110,12 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 110,12 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona G.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 2,16 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0020
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,38
tanα	0,004
tanβ	0,010
tanϑ	0,007

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 226,57 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 226,57 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona H.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0019
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,39
tanα	0,037
tanβ	0,009
tanϑ	0,012

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 125,30 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 125,30 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona I.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0018
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,40
tanα	0,016
tanβ	0,009
tanϑ	0,010

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 146,03 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 146,03 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona J.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0018
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,40
tanα	0,039
tanβ	0,009
tanϑ	0,011

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 134,32 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 134,32 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona K.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0023
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,33
tanα	0,119
tanβ	0,011
tanϑ	0,015

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 99,10 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 99,10 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

Zona L.

Como ya se ha visto en el apartado 6.4, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0025
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,30
tanα	0,214
tanβ	0,012
tanϑ	0,017

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 86,72 metros tierra adentro desde la línea de agua. Como línea de agua se ha tomado la línea costera de 2022 derivada de satélites proporcionada por EMODnet (European Marine Observation and Data Network), generada a partir de datos geográficos ópticos de alta resolución y modelado de mareas, se considera ésta como la línea de costa más reciente disponible a la fecha de redacción del estudio. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 86,72 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos.

6.6 Estudio de los resultados.

Teniendo en cuenta estos valores de alcance obtenidos para cada zona definida, se puede representar en el mapa el alcance de la inundación teórica durante los máximos temporales (según el método del C.E.M.) así como la cota de inundación (según Nielsen-Hanslow).

Representación gráfica de los alcances calculados mediante el método del 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).

Representación gráfica de los alcances calculados mediante el método del 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 de la inundación (sin tener en cuenta obstáculos cuya altura no esté cartografiada como curva de nivel, ni las superficies cuyos terrenos estén más bajos colindantes a los que si llega el agua y que por gravedad se desplazaría e inundaría también esos terrenos bajos), pues la forma del perfil medio de la playa relaciona las distancias en vertical y en horizontal de la inundación desde los puntos extremos de la medición.

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:

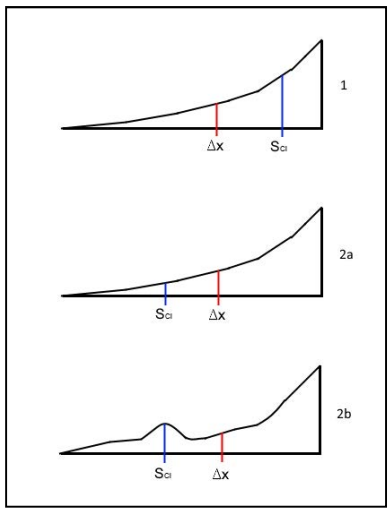
1 – La cota de inundación (S_{CI}), según la topografía del terreno, se ubica más al interior que el alcance de la inundación (Δx).

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.

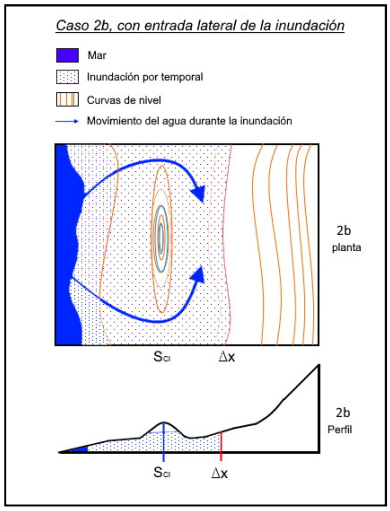
Esquemáticamente:



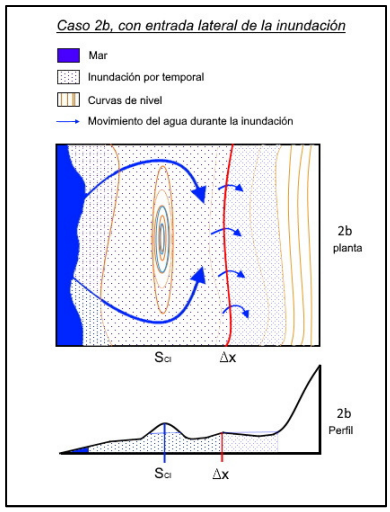
Así, cuando tras los cálculos y su representación sobre la cartografía de las líneas que indican los límites, tanto de la cota de inundación (S_{CI}) sobre el nivel del mar (cota 0 n.m.m.a.) como del alcance (desplazamiento de la ola tierra adentro, Δx), nos encontramos con la situación '1' se considera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



Una variante de este último caso, habitual en los terrenos que abarca este estudio de regresión de la costa, es que los terrenos más al interior del alcance de las olas (Δx) siguen siendo bajos por lo que el agua, por la gravedad y sus características de fluido, se extiende por esos terrenos hasta donde la topografía del suelo vuelve a ascender, por lo que la extensión de la inundación ha de estudiarse en cada caso concreto ya que el agua avanzará incluso más allá de esa línea teórica Δx. 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 (S_{CI}), por distancia (Δx) o por distancia y extensión por terrenos bajos, en cada uno de los casos de los terrenos estudiados.

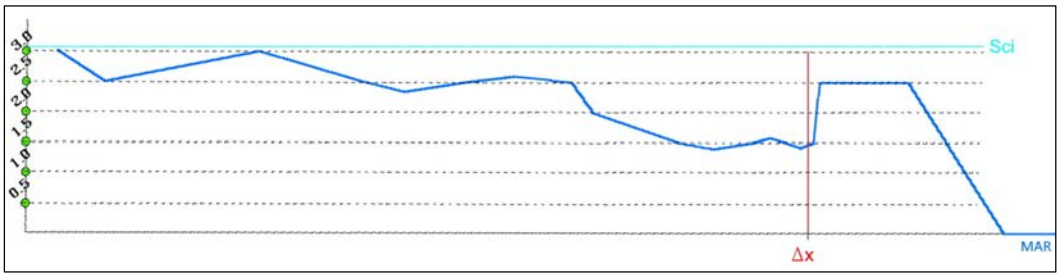
En las representaciones gráficas anteriores se han mostrado las líneas que marcan la cota de inundación calculada mediante la formulación de Nielsen-Hanslow y el alcance de la inundación calculada por el método de C.E.M.

En el inicio del tramo, zona A, la cota de inundación es de 3,11m por lo que siendo terrenos bajos que en su mayor parte están por debajo de los 3 metros de altitud, la cota de inundación se ubica en el fondo de los terrenos denominados "La Cizaña". El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 97 metros de la línea de agua situándose, aproximadamente al exterior de la zona con vegetación de "La Cizaña", por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' antes comentada siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 2,5 metros descendiendo al interior hasta los 1,5 metros por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la cota más alta inundada según Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.

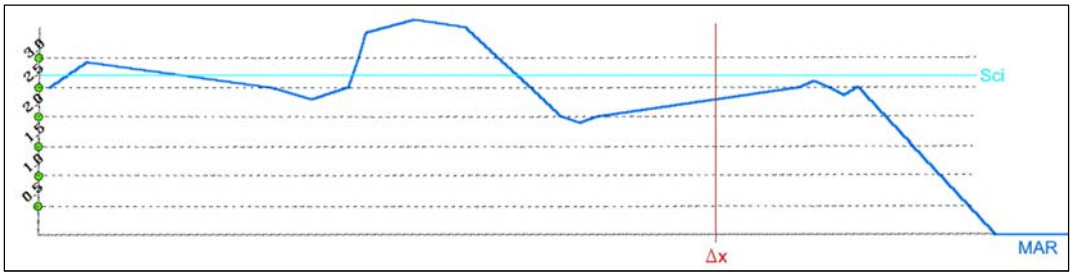


En la zona B, la cota de inundación es de 2,68m por lo que siendo terrenos bajos que en su mayor parte están por debajo de los 3 metros de altitud, la cota de inundación se ubica en el fondo de los terrenos denominados "La Cizaña". El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 139 metros de la línea de agua situándose, aproximadamente en la parte media de una zona de aparcamiento de arena compactada junto al vial que da acceso a la playa de "La Cizaña", por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 2,5 metros descendiendo al interior hasta los 1,5 metros por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la cota más alta inundada según Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.



La zona C los cálculos del alcance del oleaje se han realizado para el cauce existente en la zona oeste del Parador de Golf, la cota de inundación es de 3,11m. el cauce, al ser un terreno bajo la cota de inundación se sitúa según la topografía en la rotonda del vial de acceso al Parador de Golf siendo este punto el parte en la que se descubre el cauce ya que aguas arriba queda soterrado por los viales estando la cota de 3,11m en dicha rotonda. El alcance de las olas (Δx) en el cauce se ubica a los casi 119 metros de la línea de agua, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos del cauce comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos una fotografía satelital del día 21 de abril de 2022, (imagen de la izquierda) dos semanas después del cuarto mayor temporal ocurrido en la zona desde que se tienen registros numéricos de boyas o satélites. En esta imagen se observa que el agua remonta por el cauce hasta prácticamente la rotonda de acceso manteniéndose embalsada en el cauce porque el arenal de la playa cierra la desembocadura de dicho cauce tras el paso del temporal y la disminución de la fuerza del oleaje.

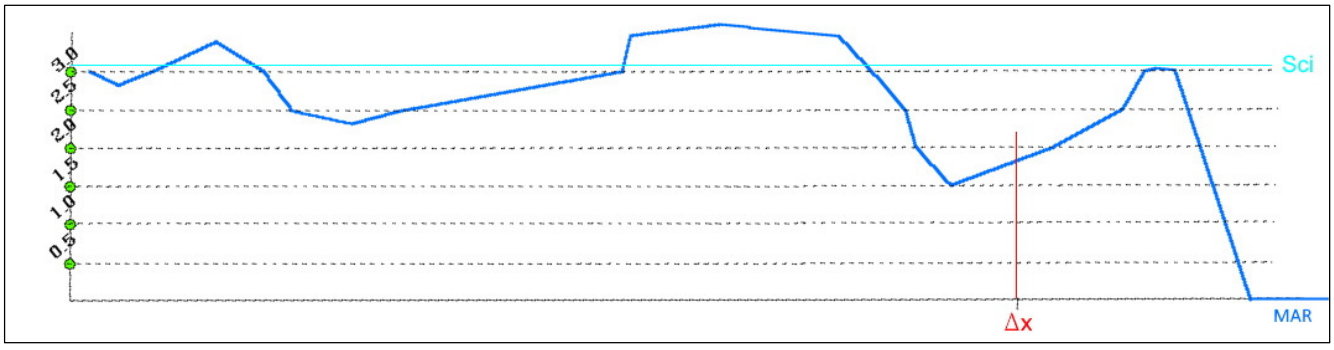
En la zona D, la cota de inundación es de 3,11m. En la playa existe un talud en la arena horadado por el oleaje durante los temporales y un estrecho cordón de arena unos 2,60 a 3,20 metros de altitud en el límite del vallado del recinto del Parador de Golf con formaciones vegetales propias de arenales costeros y dunas litorales como *Pancratium maritimum* conocida especie de los litorales de arena por la vistosidad de sus flores y que está siendo desplazada por las invasoras del género *Carprobrotus sp.* Al interior de este cordón los terrenos que forman una parte el campo de golf del Parador descienden hasta los 2 metros, e incluso hasta los 1,5 metros en algunos puntos. El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 93 metros de la línea de agua situándose entre dicho cordón arenoso y el edificio de hospedaje del Parador Nacional de Golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b' anteriormente expuesta, siendo el parámetro del alcance de las olas la extensión numérica de la inundación. Así mismo se dan dos puntos en los que se valora la hipótesis 1 dado que estos puntos son discontinuidades del cordón arenoso. También es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto

podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar. Es por ello que se considera que el mar durante los temporales supera este cordón de arena y es el alcance de la inundación la que indicará la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 3 metros descendiendo al interior hasta los 1,75 metros en el límite interior de Δx, por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico. En el perfil del terreno siguiente se aprecia este caso.



En la zona E, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a la zona anterior con un talud en la arena que es horadado por el oleaje durante los temporales y un estrecho cordón de arena unos 2,60 a 3,20 metros de altitud en el límite del vallado del recinto del Parador de Golf con formaciones vegetales propias de arenales costeros y dunas litorales como *Pancratium maritimum* que está siendo desplazada por las invasoras del género *Carprobrotus sp.* que se extienden por superficies significativas entre el campo de golf y el mar. Al interior del cordón arenoso los terrenos que forman una parte el campo de golf del Parador descienden hasta los 2 metros, e incluso hasta los 1,5 metros en algunos puntos.

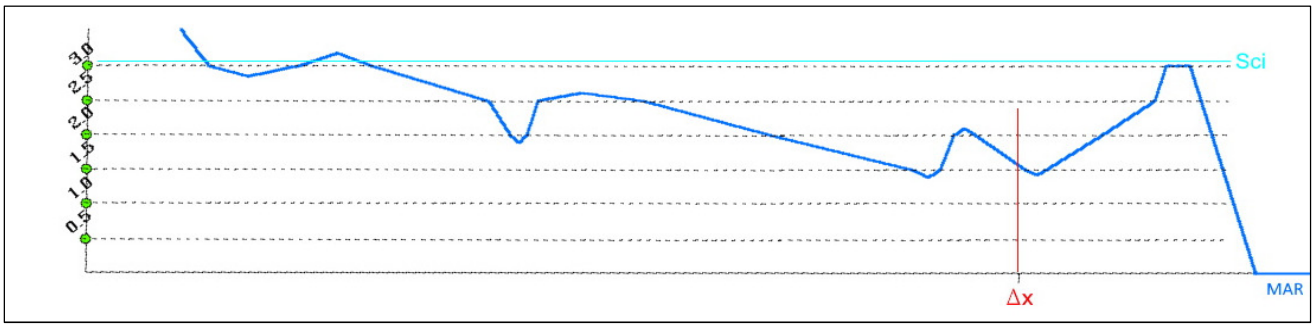
El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 99 metros de la línea de agua situándose entre dicho cordón arenoso y la parte exterior del campo de golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b' anteriormente expuesta, siendo el parámetro del alcance de las olas la extensión numérica de la inundación. Así mismo, es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos

centímetros la cota de inundación, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar. Es por ello que se considera que el mar durante los temporales supera este cordón de arena y es el alcance de la inundación la que indicará la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 3 metros descendiendo al interior hasta los 1,5 metros en el límite interior de Δx, por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico. En el perfil del terreno siguiente se aprecia este caso.



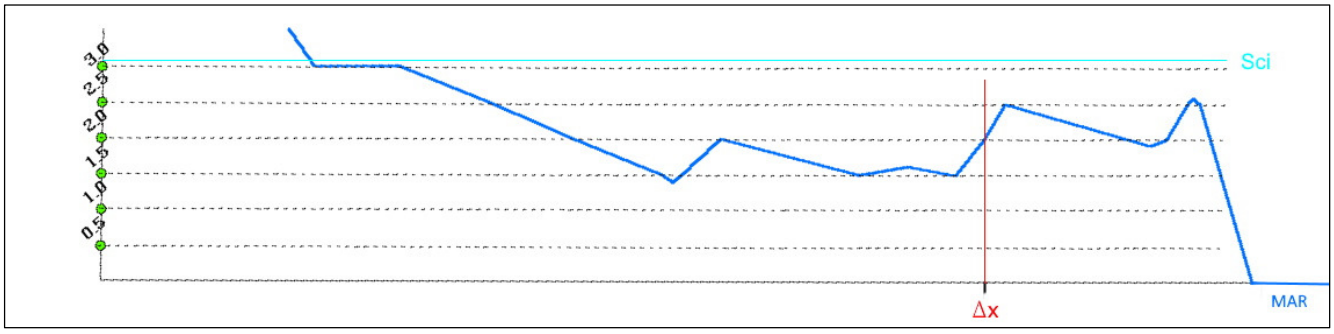
En la zona F, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a las zonas anteriores, con un talud en la arena que es horadado por el oleaje durante los temporales y un estrecho cordón de arena discontinuo de entre 2,60 a 3,40 metros de altitud en el límite del vallado del recinto del Parador de Golf con formaciones vegetales propias de arenales costeros y dunas litorales como *Pancratium maritimum* que está siendo desplazada por las invasoras del género *Carprobrotus sp.* Al interior del cordón arenoso los terrenos que forman una parte el campo de golf del Parador descienden hasta los 1,5 metros, e incluso hasta el metro en algunos puntos.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 110 metros de la línea de agua situándose entre dicho cordón arenoso y la parte exterior del campo de golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b' anteriormente expuesta en las lomas del cordón arenoso, y la hipótesis '1' en la zona del cordón cuya cota es menor que la cota de inundación. En ambos casos el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación. Así mismo es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación que, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y sus laterales al penetrar hacia el interior por las partes más bajas del cordón, y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar donde se ha considerado la hipótesis '2b'; en cualquier caso es el cálculo del alcance del oleaje el que sigue marcando la extensión de la inundación teórica en la zona F.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

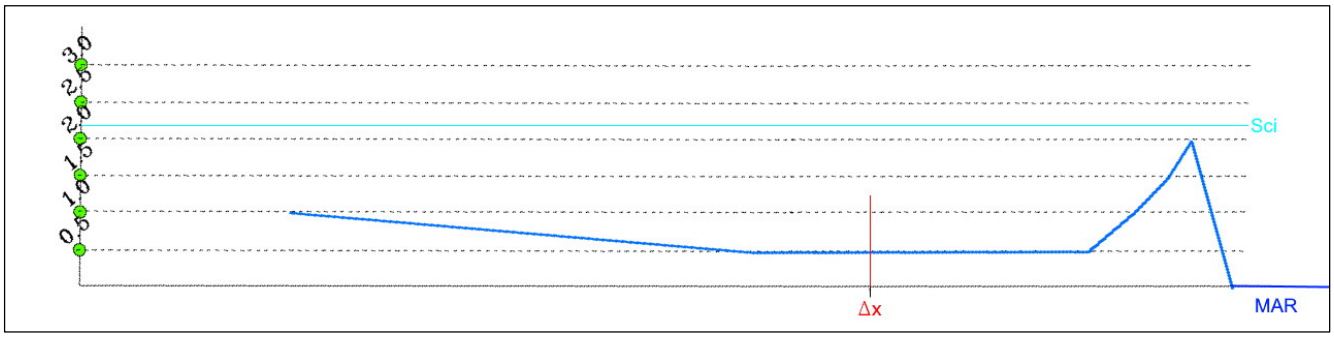
En este caso tenemos que la cota por donde puede penetrar fácilmente el oleaje es en las zonas más bajas del cordón dunar cuya cota se sitúa aproximadamente en los 2,5 – 2,6 metros siendo superado este cordón por las olas (cota de inundación medio metro más alta y alcance del oleaje más al interior) por lo que las olas llegan, al menos hasta Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que la pendiente es descendente el agua penetra a los terrenos bajos más al interior del Δx. Esto ocurre porque el límite interior del alcance del oleaje teórico tiene cota 2,0m y los terrenos a su interior tienen cota inferior, principalmente cota 1,5m por lo que son terrenos que se inundan con los mayores oleajes que alcanzan la zona.



En la zona G los cálculos del alcance del oleaje se han realizado para el cauce existente al este del campo de golf del Parador, la cota de inundación es de 2,16m. El cauce, al ser un terreno bajo, la cota de inundación se sitúa, según la topografía, en el fondo de los terrenos de Arraijanal, coincidente con el soterramiento de este encauzamiento bajo los viales existentes en la zona. El alcance de las olas (Δx) en el cauce se ubica a más de 226 metros de la línea de agua, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión de la inundación según los cálculos numéricos.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos del cauce comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.



En este caso tenemos que la cota en la desembocadura del encauzamiento es de 2 metros, aunque esta altura es variable según las condiciones meteorológicas ya sean lluvias, oleaje o viento que condicionan la morfología de la arena de la playa en este punto. Aun así, según la topografía del terreno reciente y los cálculos de cota de inundación, ésta es más alta de la altura de la arena en la desembocadura. Mas al interior, la cota del fondo del cauce (como se aprecia en el perfil anterior) se sitúa entre los 0,5 y 1,0 metros, por lo que, una vez superada y/o erosionada por el oleaje la barra de arena que cierra la desembocadura el agua del mar desciende de cota remontando por el cauce dada la escasa cota del fondo del encauzamiento. Observando el perfil anterior, la cota del alcance del oleaje calculado mediante el método del C.E.M. es 0,5 metros por lo que es evidente que toda el agua marina que supera la barra arenosa remonta y se acumula, no solo hasta este punto (Δx) sino que es superado dada la planicie del ese terreno, es decir, se adentra aún más al interior. Esto se puede observar en la fotografía satelital del día 21 de abril de 2022, es decir, tomada dos semanas después del cuarto mayor temporal ocurrido en la zona desde que se tienen registros numéricos de boyas o satélites. En esta

imagen se observa que el agua remontó por el cauce hasta prácticamente el fondo de los terrenos de arena de Arraijanal donde existe un vial asfaltado.

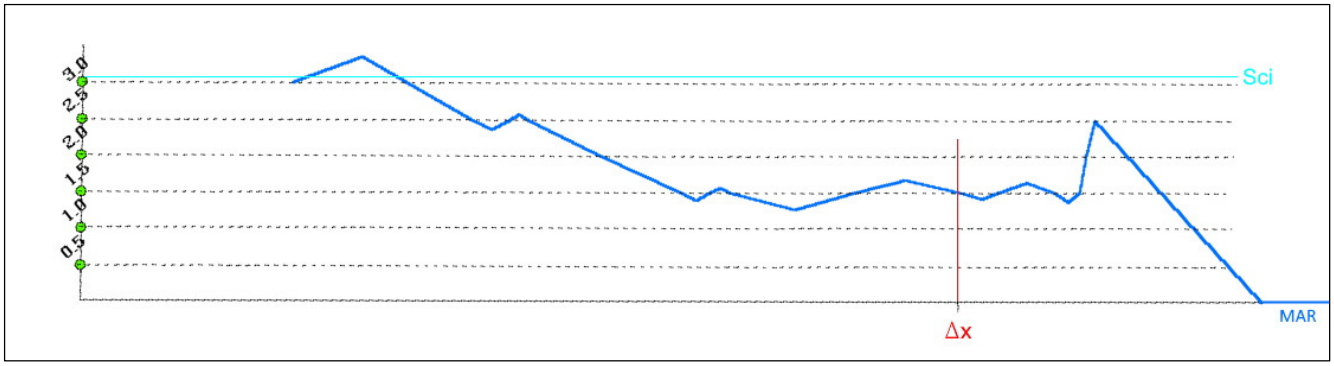
En la zona H, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a las zonas anteriores, aunque el cordón de arena en esta zona es de menor altura y menor continuidad que las anteriores. Este cordón de arena discontinuo tiene una cota de entre 2,00 y 3,00 metros de altitud Al interior del cordón arenoso los terrenos que la zona denominada "Arraijanal" descienden a cota de 1,5 metros excepto un acceso a costa rodado, que está algo más elevado para evitar su inundación y los terrenos más interiores que ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,50 metros.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 125 metros de la línea de agua situándose detrás de dicho cordón arenoso, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b', anteriormente expuesta, en las lomas del cordón arenoso, y la hipótesis '1' en la zona del cordón cuya cota es menor que la cota de inundación. En ambos casos el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación. Así mismo es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación que, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y sus laterales al penetrar hacia el interior por las partes más bajas del cordón, y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar donde se ha considerado la hipótesis '2b'; en cualquier caso es el cálculo del alcance del oleaje el que sigue marcando la extensión de la inundación teórica en la zona H.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto

de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.



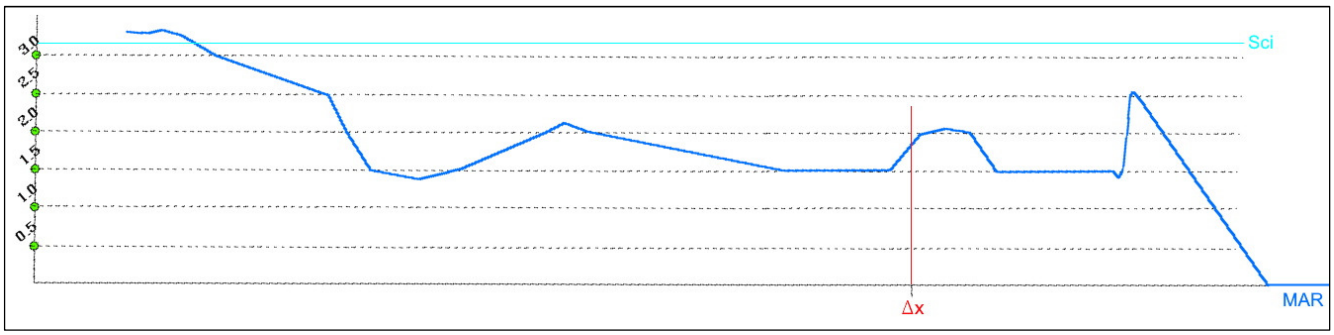
En este caso tenemos que la cota por donde puede penetrar fácilmente el oleaje es en las zonas más bajas del cordón dunar cuya cota se sitúa aproximadamente en los 2 metros siendo superado este cordón por las olas (cota de inundación medio metro más alta y alcance del oleaje más al interior) por lo que las olas llegan, al menos hasta Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que la pendiente es descendente el agua penetra a los terrenos bajos más al interior del Δx.

En la zona I, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a las zonas anteriores, aunque el cordón de arena en esta zona es de menor altura y aun menor continuidad que las anteriores. Este cordón de arena discontinuo tiene una cota de entre 1,50 metros y 3,00 metros en alguna cresta. Al interior del cordón arenoso los terrenos que la zona denominada "Arraijanal" descienden a cota de 1,5 metros, incluso 1,0 metro en algunos puntos. Los terrenos más interiores ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,50 metros.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 146 metros de la línea de agua situándose detrás de dicho cordón arenoso, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b', anteriormente expuesta, en las lomas del cordón arenoso, y la hipótesis '1' en las zonas del cordón cuya cota es menor que la cota de inundación. En ambos casos, el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación. Así mismo es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación que, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y sus laterales al penetrar hacia el interior por las partes más bajas del cordón, y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar donde se ha considerado la hipótesis '2b'; en cualquier caso es el cálculo del alcance del oleaje el que sigue marcando la extensión de la inundación teórica en la zona I.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.



Aquí tenemos que la cota por donde puede penetrar fácilmente el oleaje es en las zonas más bajas del cordón dunar cuya cota se sitúa aproximadamente en los 2 – 2,5 metros siendo superado este cordón por las olas (cota de inundación medio metro más alta y alcance del oleaje más al interior) por lo que las olas llegan, al menos hasta Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que la pendiente es baja, el agua penetra a los terrenos más al interior del Δx.

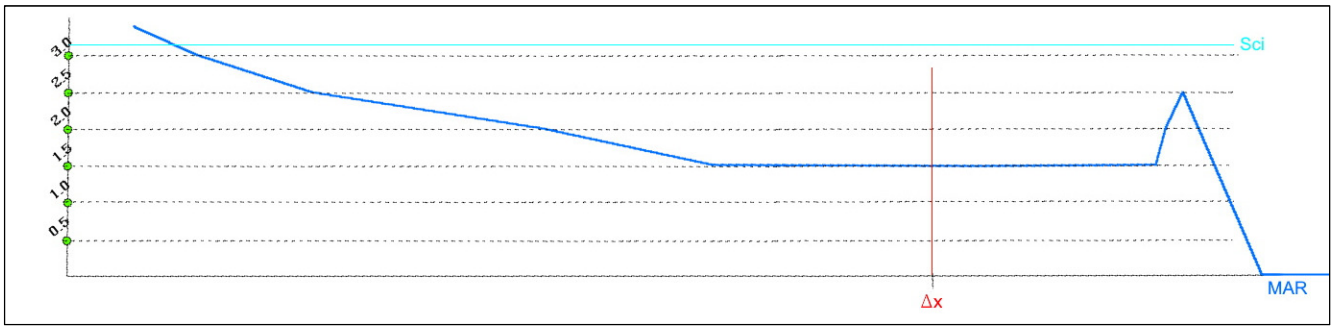
En la zona J, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a las zonas anteriores, aunque el cordón de arena en esta zona casi desaparece no siendo más que una elevación de la arena del fondo de la playa. Esta elevación cordón de arena discontinuo tiene una cota de unos 2,5 metros y puntualmente 3,0 m, siendo 2 metros la cota más baja de esta elevación. Al interior del cordón arenoso los terrenos que la zona denominada "Arraijanal" descienden a cota de 1,5 metros, incluso 1,0 metro en algunos puntos. Los terrenos más interiores ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,0 metros en la zona donde desde tiempos muy recientes se está construyendo la ciudad deportiva del equipo de futbol de Málaga donde se han realizado importantes movimientos de tierras.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 134 metros de la línea de agua situándose detrás de dicho cordón arenoso, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b', anteriormente expuesta, en las lomas del cordón arenoso, y la hipótesis '1' en las zonas del cordón cuya cota es menor que la cota de inundación. En ambos casos, el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la

inundación. Así mismo es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación que, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y sus laterales al penetrar hacia el interior por las partes más bajas del cordón, y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar donde se ha considerado la hipótesis '2b'; en cualquier caso es el cálculo del alcance del oleaje el que sigue marcando la extensión de la inundación teórica en la zona J.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.



En este sector tenemos que la cota por donde puede penetrar fácilmente el oleaje es en las zonas más bajas del cordón dunar cuya cota se sitúa aproximadamente en los 1,5 metros siendo superado este cordón por las olas (cota de inundación más de 1,5 metros más alta y alcance del oleaje más al interior); también supera la cota de inundación las partes más altas de la arena que se sitúan en torno a los 2,5 metros, por lo que las olas llegan, al menos hasta Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que los terrenos al interior son llanos, el agua penetra a los terrenos más al interior del Δx inundándolos.

En la zona K, la cota de inundación es de 3,11m. El terreno en esta zona está completamente antropizado. Se trata de una urbanización con edificaciones residenciales y hoteleras separadas del mar por un paseo marítimo y una pequeña playa defendida del oleaje por dos espigones.

Los terrenos correspondientes a esta zona tienen dos configuraciones distintas. En el hotel ubicado en la zona de poniente los terrenos asciendes por la playa, manteniéndose en la cota 2,5 metros en la

parte alta de la playa y del paseo marítimo subiendo a los 3 metros en el interior del recinto del hotel. En el resto de la zona se encuentra un pequeño espigón, parte de la playa y una escollera que defiende el paseo marítimo del oleaje todo esto en la cota 2,5 descendiendo al interior (excepto los edificios), estando la calle interior, paralela al paseo marítimo en cota 1,5m.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 99 metros de la línea de agua situándose detrás del paseo marítimo y de los ajardinamientos de la urbanización, por tanto, se dan dos casos en esta zona:

En la zona del hotel de poniente, la cota de inundación se encuentra más al exterior que el alcance de la inundación por lo que nos encontramos con la hipótesis '2', en este caso, al tener una pendiente progresiva se considera la '2a' exclusivamente en el recinto del hotel; habrá que tener en cuenta más adelante la posible inundación de los terrenos más al interior que tienen cota inferior por el avance del agua por gravedad y/o procedente de otras zonas. En el resto de la zona, la cota de inundación se encuentra mucho más al interior que el alcance del oleaje por lo que se trata de la hipótesis '1'. Además, aquí los terrenos, una vez superado el paseo marítimo y los jardines colindantes, descienden en cota hasta la cota 1,5m.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este sector tenemos que una vez superada la cota del paseo marítimo y jardines (2,5m), los terrenos descienden a la cota 2 y 1,5 metros en las calles perpendiculares y las dos primeras paralelas al paseo marítimo (y línea de costa) por lo que son perfectamente inundables una vez que supera el agua el paseo marítimo dado que el alcance de la inundación se encuentra alrededor de la cota 2 y más al interior los terrenos tienen cota 1,5m por lo que la gravedad hace que el agua se desplace hacia los terrenos más bajos colindantes a la línea de alcance (calles perpendiculares y paralelas).

Es probable que esta situación ocurra en la parte de poniente en la que, aunque el hotel se encuentra a mayor cota, el agua circulando por los terrenos que lo rodean (calles y pasajes) serán inundados por el agua procedente de zonas colindantes.

En la zona L, la cota de inundación es de 3,11m. El terreno en esta zona está completamente antropizado al igual que la zona anterior por ubicarse en la misma urbanización. Se trata de una urbanización con edificaciones residenciales y hoteleras separadas del mar por un paseo marítimo defendido del oleaje mediante una escollera que se alarga hasta una pequeña playa que linda con el talud de encauzamiento del brazo de poniente del río Guadalhorce en su desembocadura.

Los terrenos correspondientes a esta zona tienen dos configuraciones distintas. La parte occidental que se corresponde con la escollera de defensa frente al oleaje del paseo marítimo donde la cota máxima del terreno es de 2,5 metros descendiendo una vez superado el paseo y el ajardinamiento posterior estando tanto la calle perpendicular como las paralelas a la costa a cota claramente inferior situándose en los 1,5 metros

La parte oriental, que se corresponde con el arenal triangular donde se sitúa un establecimiento hostelero, alcanza una cota de 3 metros; la calle paralela al talud del brazo del río Guadalhorce al interior de este arenal desciende su cota hasta el metro siendo la cota de la calle paralela a la costa situada inmediatamente detrás del arenal de 1,5 metros como máximo. Los terrenos interiores llegan en algunos puntos hasta los 2,5 metros en los jardines de las comunidades de vecinos cercanas a la costa.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a más de 86 metros de la línea de agua situándose detrás del paseo marítimo y el arenal triangular adentrándose hasta los jardines de las comunidades de vecinos próximas a la costa.

Los dos casos que se dan en esta zona:

En la parte de poniente en la que se encuentra la escollera, la cota de inundación (3,11m) se encuentra muy al interior de los terrenos urbanizados mientras que el alcance se sitúa más al exterior por lo que en este caso se considera la hipótesis '1' como la que se ajusta a estas características. En la parte oriental correspondiente al sector del arenal triangular la cota de este arenal se acerca a los 3 metros situándose el alcance del oleaje (Δx) más al interior. Dado que el agua puede rodear esta cota por tener cotas más bajas a sus lados y, además, es erosionable por el oleaje al ser de arena suelta y, por tanto, durante los temporales puede bajar su altura, la hipótesis '2b' es la que se considera para este sector oriental de la zona K.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (rojo)

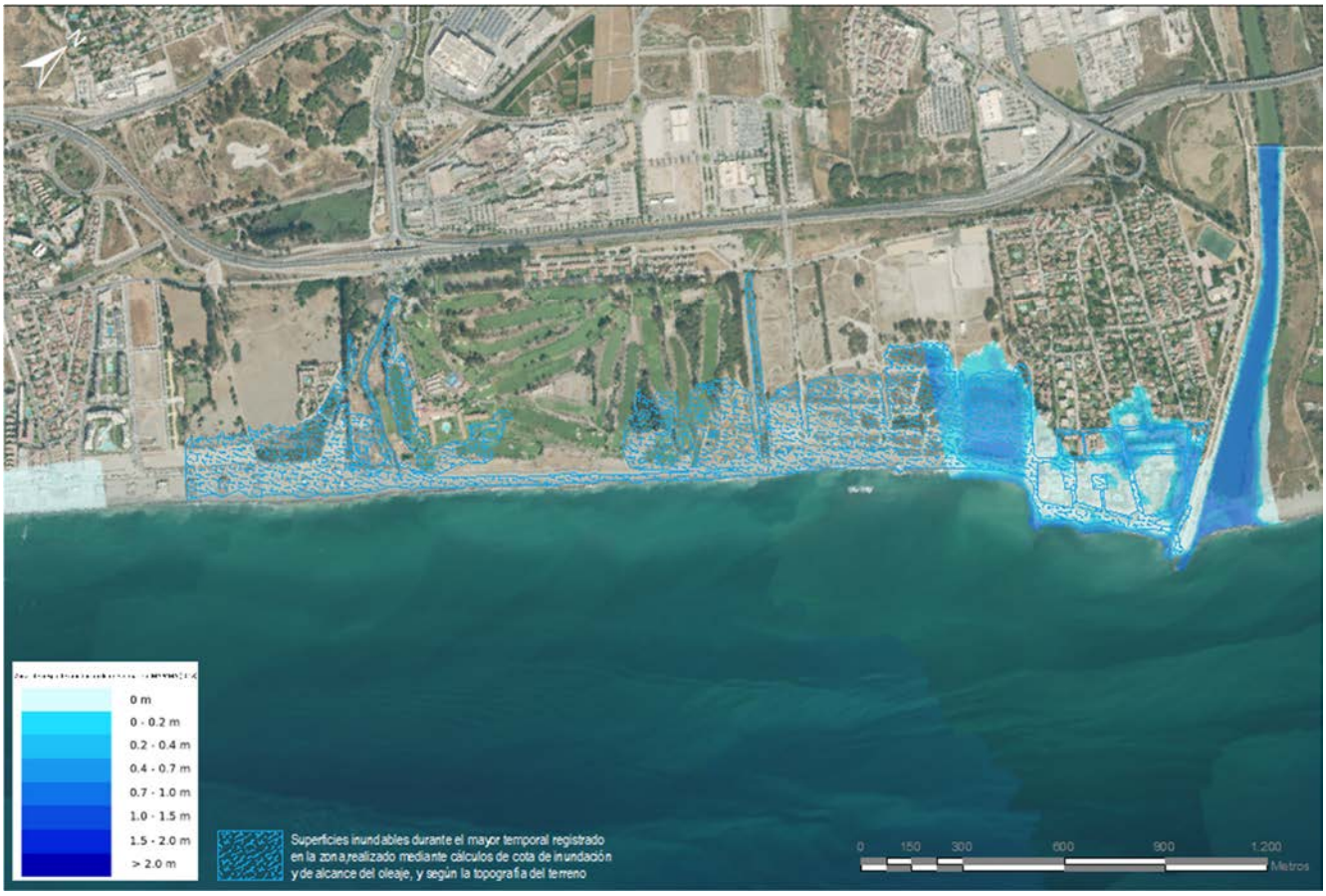
A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este sector tenemos que una vez superada la cota del paseo marítimo (2,5m) y del arenal triangular, los terrenos descienden a la cota 1,5 metros e incluso cota 1 metro en las calles perpendiculares y las dos primeras paralelas a la línea de costa por lo que son perfectamente inundables una vez que supera el agua el paseo marítimo y el arenal dado que el alcance de la inundación se encuentra alrededor de

la cota 1,5 e incluso 1 metro en la calle paralela al brazo occidental de la desembocadura del río Guadalhorce. Más al interior los terrenos tienen cota 1,5m por lo que el agua se distribuye por estos terrenos de igual cota conforme va cayendo tras superar las cotas más altas del paseo y el arenal.

Una vez analizados pormenorizadamente todos los sectores del tramo en estudio se representan en el siguiente mapa las superficies probablemente inundables según los cálculos de cota de inundación, alcance de la inundación y el análisis de dichos resultados cruzados con la topografía del terreno durante los mayores temporales registrados en la zona:

Estos son aproximadamente coincidentes con los resultados del mapa riesgo para la población de inundación de origen marino realizado por el entonces denominado Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (mapa actualizado en 2018) en los terrenos que son comunes a este estudio:



6.7 Cambio climático: consecuencias económicas, sociales y protección de la costa.

En este apartado del presente trabajo sobre la regresión de la costa entre el límite del término municipal de Torremolinos y la desembocadura del río Guadalhorce, se han hecho los estudios de alcance del mar durante los mayores temporales conocidos con los datos de oleaje durante los eventos ya ocurridos y/o con la superficie de los depósitos de arena o extensión de las playas existentes en la actualidad (considerando ésta aquella de la que existen datos topográficos de la línea de costa) pero, ha de hacerse la indicación que estas superficies que se definen actualmente son susceptibles de ser modificadas en un futuro relativamente próximo si se tiene en consideración para dichas superficies posibles modificaciones por los cambios que se puedan producir, principalmente por el alcance del oleaje, la dinámica de las corrientes marinas y la regresión de la costa y, en consecuencia, la determinación de los alcances del oleaje ya que estos se calcula desde la línea de agua hacia el interior por lo que, 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 estos cambios en la línea de costa mar y del alcance del oleaje se tendrán que estudiar periódicamente dada la movilidad de los arenales costeros y su vulnerabilidad frente a los eventos de mar y viento y por ello promover, conforme las evidencias de regresión de la costa o del alcance del oleaje durante los mayores temporales debido al cambio climático su estudio continuo conforme vayan produciéndose como así se indica en el artículo 2.a) de la Ley 22/88 de Costas:

> ***Artículo 2***
>
> *La actuación administrativa sobre el dominio público marítimo-terrestre perseguirá los siguientes fines:*
>
> *a)* ***Determinar el dominio público marítimo-terrestre y asegurar su integridad y adecuada conservación****, adoptando, en su caso, las medidas de protección, y de restauración necesarias y, cuando proceda, de adaptación****, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático.***

Cabe destacar llegados a este punto, en relación a la morfología actual de la costa en esta zona, su presión antrópica ya que los terrenos colindantes son susceptibles de ser urbanizados y transformados por grandes proyectos de infraestructuras marítimo-terrestres que se barajan para la zona y, al mismo tiempo, el deber de protección del medio ambiente natural que emana de la Constitución Española de 1978 (artículo 45), así como 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 l****imitaciones*** *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.

Mencionar en relación a las obligaciones que el artículo 45 de la CE expresa respecto a la conservación del medio ambiente natural, y en relación a la perspectiva de futuro que ha de tenerse en cuenta respecto a las consecuencias del cambio climático (en las que España se encuentra implicada mediante la firma de numerosos Acuerdos Internacionales), que la existencia de infraestructuras artificiales, como los paseos marítimos o terrenos rellenados sobre antiguas zonas ocupadas por el mar, diques y espigones que puedan modificar las corrientes litorales y el movimiento de los sedimentos, aunque actualmente podrían ser consideradas como barreras defensivas frente a los temporales, se 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 sean, alcanzados por el oleaje o retranqueadas por la tendencia regresiva de la costa, ocasionando daños en las infraestructuras ubicadas al interior de la actual ribera del mar. 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" por parte de la ciudadanía y de los agentes económicos afectados de una mayor inversión económica por parte de ellas para la recuperación de las zonas dañadas, como puede

ser la regeneración artificial de las playas, creación de infraestructuras para mantener la arena en aquellos lugares donde de manera natural no existirían determinadas playas como espigones y diques, creación de escolleras, o la reparación de las infraestructuras existentes, para mantener el sistema económico de la costa mediterránea claramente insostenible, medioambientalmente hablando, y escasamente resiliente ante las consecuencias del cambio climático como ya se está viendo con los temporales de los últimos años y los daños que producen, así como la clara tendencia regresiva de la costa en esta zona.

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

6.8 Planos

GOBIERNO DE ESPAÑA · VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO · SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE · DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR DEMARCACIÓN DE COSTAS ANDALUCÍA-MEDITERRÁNEO MÁLAGA	FECHA: abril 2024 *Escala: 1:8.000*	Alcance del oleaje y cota de inundación en 2024 mediante el máximo temporal conocido	Málaga: Límite TM Torremolinos - desembocadura Guadalhorce	Elaborado por: Tragsatec

GOBIERNO DE ESPAÑA · VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO · SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE · OFICINA ESPAÑOLA DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA *DEMARCACIÓN DE COSTAS ANDALUCÍA-MEDITERRÁNEO MÁLAGA*	FECHA: abril 2024 *Escala: 1:8.000*	Cálculo de extensión de la inundación durante el máximo temporal conocido	Málaga: Límite TM Torremolinos - desembocadura Guadalhorce	Elaborado por: Tragsatec

7 COTA DE INUNDACIÓN EN ESCENARIOS FUTUROS

7.1 Introducción

Para el cálculo de la cota de inundación a en los años 2030, 2040 y 2070 se ha de partir de una serie de premisas que condicionarán los resultados, pero que son necesarias para poder estimar tanto la cota de inundación como el alcance del oleaje.

En primer lugar, se ha de considerar dónde se situará la línea de agua debido a que la zona en estudio sufre de regresión de la costa por lo que es necesario determinar su ubicación en 10, 20 y 50 años contados desde el año 2020 por ser el año con datos topográficos más recientes. Esto se ha desarrollado en el punto «5.1 Estudio de la evolución de la costa de Guadalmar y playa de San Julián mediante ortofotografía histórica», mediante dos sistemas – ortofotografía histórica y modelo DSAS (Digital Shoreline Analysis System-DSAS (Thier et al., 2010)) para aplicación GIS – dando como resultado una estimación que, en ambos casos, tienen comportamientos similares a 10 y 20 años, por lo que se puede proyectar a 50 años con fiabilidad suficiente.

La línea de agua resultante en los años 2030, 2040 y 2070 son una proyección de los datos actuales, de forma que su posición debe entenderse como consecuencia de las variables actuales e históricas, es decir, suponiendo que las condiciones actuales no se vean modificadas como tampoco las características morfológicas del terreno, siendo estas variaciones no cíclicas, negativas y por tanto regresivas según los cálculos realizados en el punto anterior.

En segundo lugar, una vez determinadas las líneas de agua proyectadas a futuro según las tendencias actuales, se ha añadido el valor del aumento del nivel del mar debido al cambio climático previsto por el IPCC extraídos de la herramienta de proyección del nivel del mar (sea level projection tool) del Programa de Sistemas de Datos de la Tierra (ESDS) de la N.A.S.A.

Se ha usado el escenario SSP2-4.5 por ser el más aceptado actualmente aunque, debido a la lentitud en la toma de medidas de muchos países para la reducción de la emisión de gases, no se descarta que en un futuro próximo se tienda al escenario SSP3-7.0. Estos escenarios se explican a continuación:

- **SSP2-4.5** está aproximadamente en línea con el límite superior de los niveles agregados de emisiones de la Contribución Determinada a Nivel Nacional para 2030. En la SR1,5 se evaluó que las proyecciones de temperatura para las NDC estarían entre 2,7 y 3,4 °C para 2100, lo que corresponde a la mitad superior del calentamiento proyectado bajo SSP2-4,5. Las NDC nuevas o actualizadas para finales de 2020 no cambiaron significativamente las proyecciones de emisiones hasta 2030, aunque más países adoptaron objetivos de cero emisiones netas para 2050 en línea con SSP1-1.9 o SSP1-2.6. El escenario SSP2-4.5 se desvía ligeramente de un escenario de referencia de "política climática no adicional", lo que resulta en un calentamiento estimado de alrededor de 2,7 °C para fines del siglo XXI en relación con 1850-1900.
- **SSP3-7.0** es un escenario de referencia medio-alto que resulta de la ausencia de una política climática adicional bajo la narrativa de desarrollo socioeconómico de SSP3. SSP3-7.0 tiene emisiones no relacionadas con el CO2 particularmente altas, incluidas altas emisiones de aerosoles.

En tercer lugar, una vez que se obtiene la proyección combinada de las líneas de agua debido a la regresión de la costa y del aumento del nivel medio del mar en la zona de Málaga debido al cambio climático, para el cálculo del alcance del oleaje y la cota de inundación marina se mantiene como premisa que el terreno emergido mantendrá las mismas características morfológicas que tiene en la actualidad.

En cuarto lugar, se considera que ha de usarse el mayor temporal registrado hasta la fecha de redacción de este documento por tratarse de un estudio sobre la situación física de los terrenos ante los efectos del mar sobre el suelo tanto por su regresión como por el aumento del nivel del mar por el cambio climático por lo que hay que tener en cuenta el peor de los casos (temporal más severo registrado) dado que, aunque se prevé que los temporales aumenten en intensidad (aumento de la altura de ola significante y periodo pico) es difícil estimar en qué cuantía lo harán a corto y medio plazo. Es por esto que se usará el peor de los temporales registrados en la zona aun sabiendo que se estará subestimando los resultados de alcance, pero ha de servir de indicio para la posible adopción de medidas en defensa

o adaptación de la costa frente a los efectos del cambio climático y de la continua regresión de la línea de costa en un futuro próximo.

En relación al aumento del nivel del mar mencionado anteriormente, las proyecciones se basan en la evaluación presentada por el Sexto Informe de Evaluación del IPCC. En el recuadro RT.4 y en la sección 9.6 de la contribución del Grupo de Trabajo 1 al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático figuran detalles sobre las proyecciones del nivel del mar.

Se proporcionan proyecciones del nivel del mar que consideran solo los procesos para los cuales se pueden hacer proyecciones con al menos un nivel de confianza medio, en relación con el período 1995-2014, para cinco escenarios de Trayectoria Socioeconómica Compartida (SSP). Las hipótesis se describen en las secciones RT1.3 y 1.6 y en el recuadro 1.4 de la contribución del Grupo de Trabajo 1.

Como se describe en el recuadro 1.4 de los capítulos:

- **SSP1-1.9** mantiene el calentamiento en aproximadamente 1,5 °C por encima de 1850-1900 en 2100 después de un ligero rebasamiento (mediana) e implica cero emisiones netas de CO2 a mediados de siglo.
- **SSP1-2.6** se mantiene por debajo de 2.0 °C de calentamiento en relación con 1850-1900 (mediana) con emisiones netas cero implícitas en la segunda mitad del siglo.
- **SSP2-4.5** está aproximadamente en línea con el límite superior de los niveles agregados de emisiones de la Contribución Determinada a Nivel Nacional para 2030. En la SR1,5 se evaluó que las proyecciones de temperatura para las NDC estarían entre 2,7 y 3,4 °C para 2100, lo que corresponde a la mitad superior del calentamiento proyectado bajo SSP2-4,5. Las NDC nuevas o actualizadas para finales de 2020 no cambiaron significativamente las proyecciones de emisiones hasta 2030, aunque más países adoptaron objetivos de cero emisiones netas para 2050 en línea con SSP1-1.9 o SSP1-2.6. El escenario SSP2-4.5 se desvía ligeramente de un escenario de referencia de "política climática no adicional", lo que resulta en un calentamiento estimado de alrededor de 2,7 °C para fines del siglo XXI en relación con 1850-1900.
- **SSP3-7.0** es un escenario de referencia medio-alto que resulta de la ausencia de una política climática adicional bajo la narrativa de desarrollo socioeconómico de SSP3. SSP3-7.0 tiene emisiones no relacionadas con el CO2 particularmente altas, incluidas altas emisiones de aerosoles.
- **SSP5-8.5** es un escenario de alta referencia sin política climática adicional. Los niveles de emisión tan altos como SSP5-8.5 no se obtienen mediante Modelos de Evaluación Integrada (IAM) en ninguno de los SSP que no sean la vía de desarrollo socioeconómico SSP5 alimentada con combustibles fósiles.

Según se dice en la herramienta de proyección del nivel del mar de la N.A.S.A. (US), en comparación con 1850-1900, es muy probable que la temperatura media mundial del aire en la superficie durante el período 2081-2100 (al menos un 90% de probabilidad) sea superior en 1,0 °C a 1,8 °C en SSP1-1,9, 1,3 °C a 2,4 °C en SSP1-2,6, 2,1 °C a 3,5 °C en SSP2-4,5, 2,8 °C a 4,6 °C en SSP3-7.0 y 3,3 °C a 5,7 °C en SSP5-8,5.

En las proyecciones del nivel del mar, los rangos probables se evalúan sobre la base de la combinación de la incertidumbre en el cambio de temperatura asociado con un escenario de emisiones y la incertidumbre en las relaciones entre la temperatura y los impulsores del cambio proyectado del nivel del mar, como la expansión térmica, la dinámica oceánica y la pérdida de masa de glaciares y capas de hielo. En general, los resultados de los percentiles 17-83 se interpretan como rangos probables, lo que refleja el uso del término probable para referirse a una probabilidad de al menos el 66%.

Para indicar el impacto potencial de los procesos de la capa de hielo profundamente inciertos, sobre los cuales actualmente existe un bajo nivel de acuerdo y evidencia limitada, también se proporcionan proyecciones de baja confianza para SSP1-2.6 y SSP5-8.5. Tanto para las capas de hielo de Groenlandia como para las de la Antártida, las proyecciones de baja confianza integran información del estudio Structured Expert Judgement de Bamber et al. (2019). Para la capa de hielo de la Antártida, las proyecciones de baja confianza> también incorporan los resultados de un estudio de simulación que incorpora la inestabilidad de los acantilados de hielo marino (DeConto et al., 2021). Los resultados mostrados son proyecciones de percentiles 17-83, pero no se evalúan como rangos probables debido a la baja concordancia y la evidencia limitada. Véanse las secciones 9.6 y 9.4 para más detalles.

Así, para la costa de Málaga se obtienen los siguientes resultados de aumento del nivel medio del mar:

Valores en metros

	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6 Confianza baja	SSP5-8.5 Confianza baja
Expansión térmica	0.04 (0.03–0.05)	0.04 (0.03–0.05)	0.04 (0.03–0.05)	0.04 (0.03–0.05)	0.04 (0.04–0.05)	0.04 (0.03–0.05)	0.04 (0.04–0.05)
Glaciares	0.02 (0.02–0.03)	0.02 (0.02–0.03)	0.02 (0.02–0.03)	0.03 (0.02–0.03)	0.03 (0.02–0.03)	0.03 (0.02–0.04)	0.03 (0.02–0.04)
Groenlandia	0.01 (0.01–0.01)	0.01 (0.01–0.01)	0.01 (0.01–0.01)	0.01 (0.01–0.01)	0.01 (0.01–0.02)	0.02 (0.01–0.04)	0.02 (0.01–0.05)
Antártida	0.01 (0.01–0.03)	0.01 (0.01–0.03)	0.01 (0.01–0.03)	0.01 (0.01–0.03)	0.01 (0.01–0.03)	0.01 (-0.00–0.03)	0.01 (-0.01–0.04)
Almacenamiento de agua terrestre	0.00 (0.00–0.01)	0.00 (0.00–0.01)	0.00 (0.00–0.01)	0.00 (0.00–0.01)	0.00 (0.00–0.01)	0.00 (0.00–0.01)	0.00 (0.00–0.01)
Total (2030)	0.09 (0.08–0.12)	0.09 (0.08–0.12)	0.09 (0.08–0.12)	0.09 (0.08–0.12)	0.10 (0.09–0.12)	0.10 (0.08–0.14)	0.10 (0.09–0.15)

AÑO

2030

OBTENER DATOS

Valores en metros

	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6 Confianza baja	SSP5-8.5 Confianza baja
Expansión térmica	0.06 (0.04–0.07)	0.06 (0.05–0.07)	0.06 (0.05–0.07)	0.06 (0.05–0.07)	0.07 (0.05–0.08)	0.06 (0.05–0.07)	0.07 (0.05–0.08)
Glaciares	0.03 (0.02–0.04)	0.03 (0.03–0.04)	0.04 (0.03–0.04)	0.04 (0.03–0.04)	0.04 (0.04–0.05)	0.04 (0.03–0.05)	0.04 (0.03–0.05)
Groenlandia	0.02 (0.01–0.02)	0.02 (0.01–0.02)	0.02 (0.01–0.03)	0.02 (0.01–0.03)	0.02 (0.01–0.03)	0.03 (0.01–0.07)	0.03 (0.01–0.09)
Antártida	0.02 (0.01–0.06)	0.02 (0.01–0.06)	0.02 (0.01–0.06)	0.02 (0.01–0.06)	0.02 (0.01–0.06)	0.02 (-0.01–0.06)	0.02 (-0.01–0.08)
Almacenamiento de agua terrestre	0.01 (0.00–0.01)	0.01 (0.00–0.01)	0.01 (0.00–0.01)	0.01 (0.00–0.01)	0.01 (0.00–0.01)	0.01 (0.00–0.01)	0.01 (0.00–0.01)
Total (2040)	0.13 (0.11–0.17)	0.14 (0.11–0.17)	0.14 (0.12–0.18)	0.14 (0.12–0.18)	0.16 (0.13–0.20)	0.14 (0.11–0.22)	0.16 (0.13–0.26)

AÑO

2040

OBTENER DATOS

Valores en metros

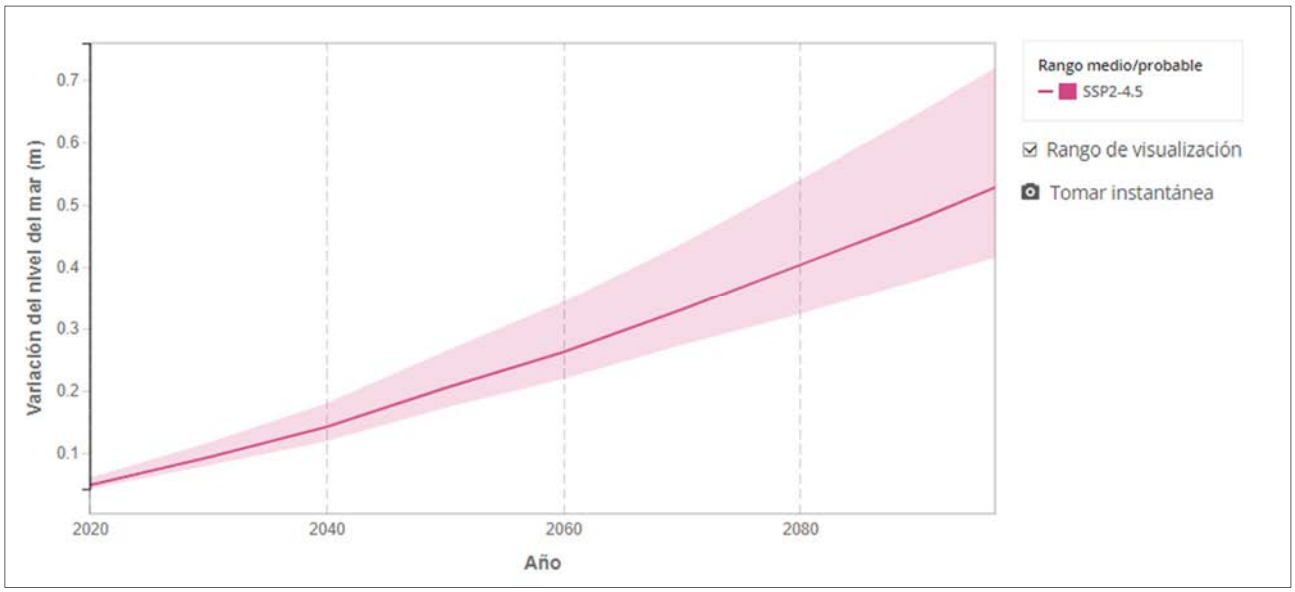
	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6 Confianza baja	SSP5-8.5 Confianza baja
Expansión térmica	0.09 (0.07–0.11)	0.10 (0.09–0.13)	0.13 (0.10–0.15)	0.14 (0.12–0.17)	0.16 (0.13–0.20)	0.10 (0.09–0.13)	0.16 (0.13–0.20)
Glaciares	0.06 (0.04–0.07)	0.06 (0.05–0.08)	0.08 (0.07–0.09)	0.09 (0.08–0.11)	0.11 (0.09–0.12)	0.07 (0.05–0.09)	0.10 (0.07–0.12)
Groenlandia	0.04 (0.02–0.06)	0.04 (0.03–0.06)	0.05 (0.03–0.07)	0.05 (0.04–0.07)	0.06 (0.04–0.08)	0.06 (0.03–0.17)	0.09 (0.04–0.29)
Antártida	0.05 (0.02–0.14)	0.05 (0.02–0.15)	0.05 (0.02–0.15)	0.05 (0.02–0.15)	0.05 (0.02–0.16)	0.05 (-0.00–0.15)	0.06 (0.00–0.26)
Almacenamiento de agua terrestre	0.02 (0.01–0.03)	0.02 (0.01–0.03)	0.02 (0.01–0.03)	0.02 (0.01–0.03)	0.02 (0.01–0.03)	0.02 (0.01–0.03)	0.02 (0.01–0.03)
Total (2070)	0.26 (0.21–0.36)	0.29 (0.23–0.39)	0.33 (0.27–0.44)	0.37 (0.31–0.48)	0.40 (0.34–0.52)	0.30 (0.23–0.49)	0.43 (0.34–0.78)

AÑO

2070

OBTENER DATOS

La representación gráfica del aumento del nivel del mar en el escenario SSP2-4.5 en la costa de Málaga donde existe una confianza media es la siguiente:



Donde la línea roja es el rango medio de la proyección y el sombreado rosa se corresponde con los rangos de percentil 17-83. Las proyecciones son relativas a una línea de base de 1995-2014.

Con estos datos de aumento en cota del nivel del mar por los efectos del cambio climático se calcula el espacio medio inundado por dicho aumento y que se suma a la superficie de terrenos ganados por el mar debido a la regresión costera.

Con estas condiciones de inicio se procede al cálculo de la cota de inundación en los escenarios futuros, así como el alcance del oleaje.

7.2 Estimación de la cota de inundación y el alcance del oleaje en el año 2030.

Para estimar la cota de inundación y el alcance del oleaje en el año 2030 se ha considerado la tendencia regresiva de la costa y el aumento del nivel del mar. A partir de esta línea de agua en el año 2030 se realizan los cálculos de cota y alcance de oleaje con los datos de oleaje histórico existente hasta la fecha ya que estimar el incremento de la severidad de los temporales (medidos con el cálculo del aumento de la altura de ola significante y del periodo de la onda debido al cambio climático) para ser añadidos a los cálculos ya realizados de estimación de regresión de la costa y aumento de la cota del nivel del mar, supera el objetivo del presente trabajo. Por ello se realizan los cálculos con el mayor temporal del que existen registros en la zona en estudio, pero sin añadir parametrización debida al cambio climático a los datos de altura significante y periodo pico del temporal más severo de la zona.

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

- La zona de estudio queda encuadrada en el Área V, subzona a, 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 2031080 ya que es el punto más próximo a la zona objeto del estudio de cota máxima del nivel del mar.
- A efectos del cálculo del alcance del oleaje durante el temporal más severo acontecido, se han considerado las variaciones del nivel del mar y del oleaje registrados, para lo que se han tenido en cuenta los valores significantes de altura de ola desde que existen registros. Se han utilizado los datos registrados por Puertos del Estados, que datan del año 1958 hasta la actualidad, siendo, además públicos y disponibles para cualquier persona.
- Se usaron todos los registros para determinar los mayores temporales desde que hay registros (desde 1958) y de ellos se estudiaron en detalle aquellos cuya altura de ola significante fue mayor junto con sus periodos pico y dirección predominante.

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

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

subestimado (además de la subestimación de los datos extremos que tiene el uso de los puntos SIMAR).

Dado que los datos de partida de los temporales de Puertos del Estado son los mismos que los extraídos anteriormente en el punto "6 - Estudio de cálculo de máxima elevación del mar", se remite a ese ítem para su conocimiento. A continuación, se procede directamente al cálculo de la cota de inundación de cada uno de los transectos (los mismos que en el punto 6).

7.2.1 *Cálculo de la cota de inundación en el año 2030 asociada a cada evento de temporal estimado hasta la actualidad.*

En el apartado 6 se seleccionó, de los eventos de temporal marítimo, el que puede ocasionar cotas de inundación máximas. 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 en el año 2030, 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 significante 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 significantes ya tomadas y su periodo de pico asociado para cada uno de los eventos de temporal.

Formulación de Nielsen-Hanslow (1991):

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

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

Y para la banda de confianza del 2%:

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

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

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

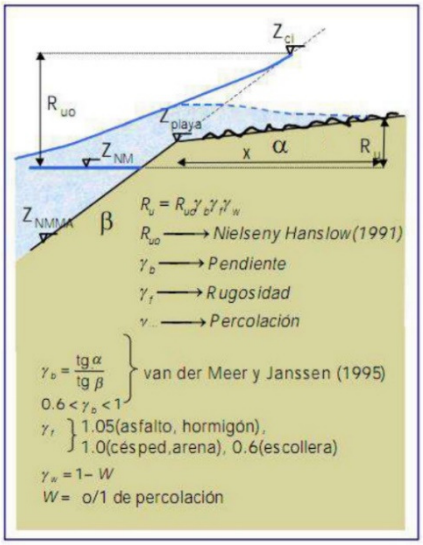
Donde:

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

H_s = Altura de ola significante 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_f, 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 la playa y de las dunas costeras, se encuentra lavada por el agua del mar y removida por el viento de procedencia marina, por lo que se considera genéricamente que es del tipo 'arena bien graduada (SW)' de la tabla anterior.

Aplicando la formulación de Nielsen-Hanslow, podemos obtener el valor del run-up para cada evento de temporal (antes de aplicar los coeficientes de Van Der Meer y Janssen), que a su vez debe ser sumando a la componente del nivel del mar (S_{NM}) ya calculado para estimar definitivamente el valor de

la cota de inundación de cada uno de los eventos de temporal para cada zona con pendiente homogénea; calculado mediante la obtención de los resultados necesarios de clima marítimo en primer lugar y la aplicación de un modelo o formulación de cálculo adecuado posteriormente.

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

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10
13:00	19	11	2021	5,41	10,01	110	103,0	1,030	0,599	156,31
2:00	27	3	2019	5,10	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10
22:00	10	2	2023	5,54	10,01	109	92,1	0,921	0,490	156,31
22:00	20	4	2017	4,65	10,71	111	92,7	0,927	0,496	178,94
15:00	6	3	2010	4,60	9,34	111	112,1	1,121	0,690	136,09
12:00	8	4	2015	4,53	10,46	112	87,3	0,873	0,442	170,68

Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2031080.

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

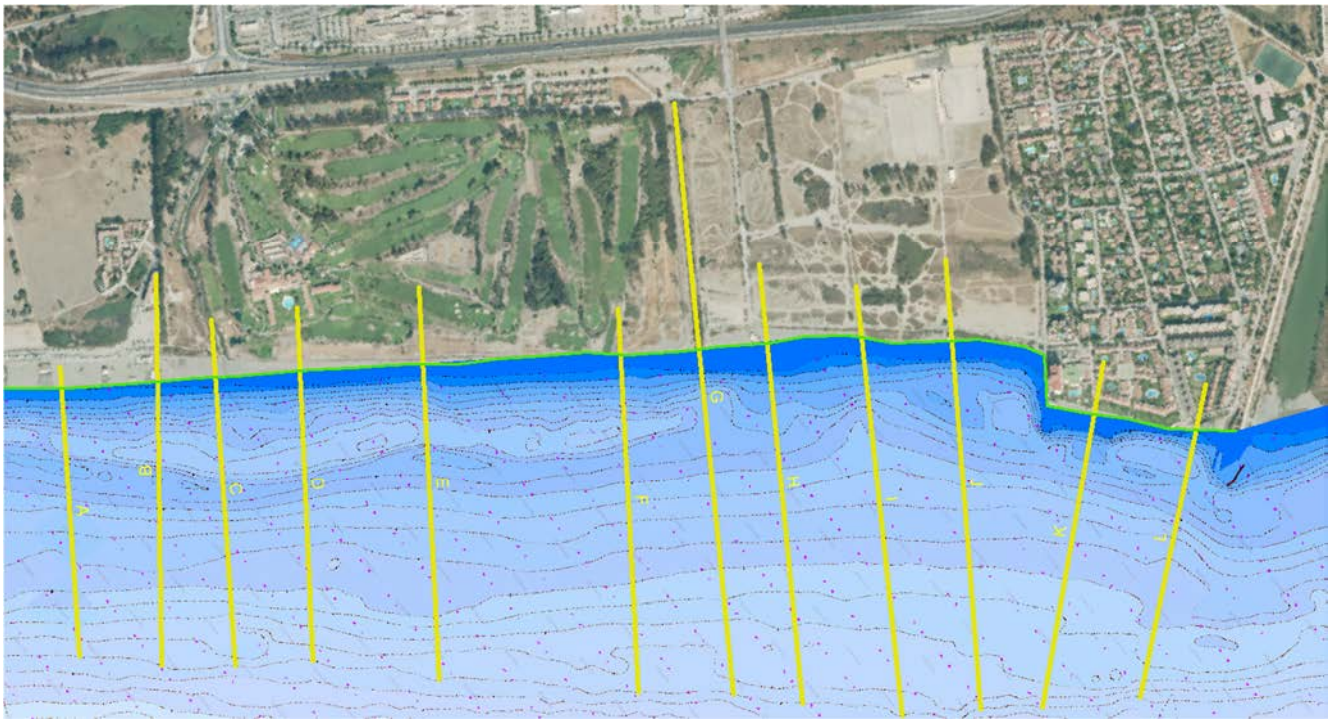
Para la realización de los cálculos de alcance de inundación, se ha dividido 12 zonas en función de la homogeneidad de la costa sumergida, la emergida, del tipo geomorfológico, la morfología de las zonas antropizadas y, además, crear una densidad de medidas para que estas sean suficientes para caracterizar el alcance del oleaje y la cota de inundación con alta precisión en todo el tramo en estudio. 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 de los terrenos sumergido y emergido. Las pendientes se han calculado mediante batimetría extraídos del visor de la empresa italiana Navionics (perteneciente a Garmin Ltd.), concretamente de la capa SonarChart™, cuyas curvas batimétricas tienen un intervalo de 50 cm creadas mediante "sistema propietario" de Navionics que procesa los datos de registros de sónar procedentes de aportaciones realizadas por navegantes adheridos a Navionics que actualizada periódicamente sus cartas náuticas. Por ello se puede considerar que la batimetría representadas es la más reciente de la zona. (*Los datos e imágenes de batimetría han sido cedidos por Navionics exclusivamente para este estudio no siendo posible su uso para cualquier otro fin incluida la navegación*).

La topografía se ha realizado a partir de un modelo digital del terreno elaborado a partir de las nubes de puntos 3D obtenidos con sistema LiDAR; para ello se ha utilizado la nube de puntos publicada por el Instituto Geográfico Nacional correspondiente a la "2ª Cobertura (2015-Actualidad)", en nuestro caso los datos se obtuvieron en el año 2020, siendo éstos los datos más recientes publicados en la fecha de redacción de este estudio. Con estos datos se realiza un modelo digital de elevaciones con el que se calcula mediante software las curvas de nivel.

Como se ha dicho en la introducción, la morfología de la zona emergida y la sumergida se hipotetiza que se mantiene invariable excepto en el tramo entre la nueva línea de agua y la anterior pero, dado que para los cálculos se utilizan pendientes medias (desde la cota 0 hasta otra determinada sin tener en cuenta las características intermedias) no es relevante su morfología.

La ubicación de las zonas para el cálculo de las pendientes sumergida y emergida se representa en la siguiente imagen que incluye la batimetría:



Transectos (en amarillo) y línea de agua estimada en 2030 (en verde).

Los datos de partida (ver tabla de la página 157) 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 y que se desarrolla a continuación.

Zona A.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	615
pendiente %	1,220

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	48
pendiente %	5,208

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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_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 durante los temporales 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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona B.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	648
pendiente %	1,157

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	245
pendiente %	1,020

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 0,9$$

al dar como resultado un valor inferior a 1 pero superior a 0,6, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 0,9$$

- 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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,05	2,09
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,00	1,98
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,06	2,10
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,03	2,04

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,05	2,09	2,83
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,00	1,98	2,67
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,06	2,10	2,65
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,03	2,04	2,63

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 2,83 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona C.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	663
pendiente %	1,131

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	131
pendiente %	1,908

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=1,7$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona D.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	662
pendiente %	1,133

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)	3,00
distancia (m)	12
pendiente %	25,000

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=22,1$$

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona E.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	724
pendiente %	1,036

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)	3,00
distancia (m)	10
pendiente %	30,000

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 29{,}0$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona F.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	776
pendiente %	0,966

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	26
pendiente %	9,615

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

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

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona G.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	792
pendiente %	0,947

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	568
pendiente %	0,440

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 0,5$$

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:

$$\gamma_b = 0,6$$

- 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^{-3}

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,72	1,42
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,68	1,35
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,72	1,43
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,70	1,39

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,72	1,42	2,16
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,68	1,35	2,04
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,72	1,43	1,98
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,70	1,39	1,98

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 2,16 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona H.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	826
pendiente %	0,908

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	37
pendiente %	6,757

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=7,4$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona I.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	867
pendiente %	0,865

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	150
pendiente %	2,083

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=2,4$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona J.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	854
pendiente %	0,878

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,00
distancia (m)	20
pendiente %	10,000

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 11{,}4$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona K.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	867
pendiente %	0,865

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	7
pendiente %	35,714

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 41{,}3$$

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona L.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	626
pendiente %	1,198

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)	3,00
distancia (m)	7
pendiente %	42,857

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 35{,}8$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.2.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

7.2.2 *Estimación del desplazamiento de la ola por la playa seca en el año 2030*

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

Según el C.E.M. es necesario obtener la altura de ola significante 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:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

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 y han sido medidos, recordemos, desde la cota 0 (línea de agua) estimada para el año 2030 teniendo en cuenta la regresión de la costa y el aumento del nivel del mar por efecto del cambio climático.

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 de rotura db, que se obtiene mediante la fórmula:

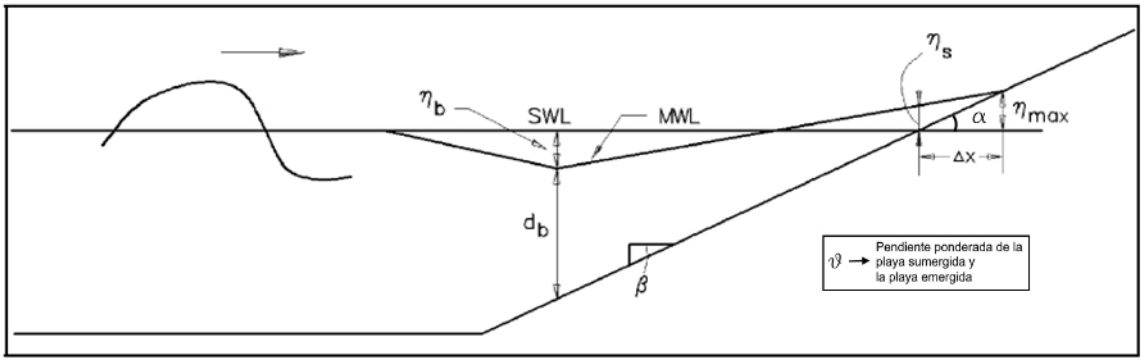
$$db = \frac{H_b}{\gamma_b^2}$$

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

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

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

Así, aplicaremos este sistema de fórmulas del C.E.M. para los datos del temporal más severo desde que hay registros, considerando que éste es aquel cuya cota de inundación (calculada en el punto 7.2.1) es el de mayor valor, es decir, aquel temporal cuyo valor de S_{ci} es mayor.



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

A continuación, se desarrollan los cálculos para cada transecto.

Zona A:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0025
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,30
tanα	0,052
tanβ	0,012
tanϑ	0,015

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 97,35 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 97,35 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona B:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 2,83 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0023
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,32
tanα	0,010
tanβ	0,012
tanϑ	0,011

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 138,25 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 138,25 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona C:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0023
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,33
tanα	0,019
tanβ	0,011
tanϑ	0,013

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 118,70 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 118,70 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona D:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080

Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0023
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,33
tanα	0,250
tanβ	0,011
tanϑ	0,016

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 92,12 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 92,12 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona E:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0021

ηs	1,22
ηb	-0,31
γb	0,81
db	7,36
tanα	0,300
tanβ	0,010
tanϑ	0,014

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 99,86 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 99,86 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona F:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0019
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,38
tanα	0,096
tanβ	0,010
tanϑ	0,012

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 115,62 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 115,62 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona G:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 2,16 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0019
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,39
tanα	0,004
tanβ	0,009
tanϑ	0,007

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 222,60 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 222,60 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros

tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona H:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0018
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,40
tanα	0,068
tanβ	0,009
tanϑ	0,012

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 124,36 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 124,36 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona I:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0017
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,42
tanα	0,021
tanβ	0,009
tanϑ	0,010

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 144,35 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 144,35 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona J:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080

Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0017
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,41
tanα	0,100
tanβ	0,009
tanϑ	0,011

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 133,18 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 133,18 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona K:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0017
ηs	1,22

ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,42
tanα	0,357
tanβ	0,009
tanϑ	0,011

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 124,93 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 124,93 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

Zona L:

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0024
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,31
tanα	0,429
tanβ	0,012
tanϑ	0,017

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 86,64 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 86,64 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 10 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 9 cm de media.

7.2.3 *Discusión de los resultados para el año 2030*

Teniendo en cuenta estos valores de alcance obtenidos para cada transecto, se puede representar en el mapa el alcance de la inundación teórica en el año 2030 según el método del C.E.M.) así como la cota de inundación (según Nielsen-Hanslow), teniendo en cuenta tanto la regresión de la costa como la elevación del nivel del mar por los efectos del cambio climático.

Representación gráfica de los alcances calculados mediante el método del C.E.M. (en verde) 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 de la inundación (sin tener en cuenta obstáculos cuya altura no esté cartografiada como curva de nivel, ni las superficies cuyos terrenos estén más bajos colindantes a los que si llega el agua y que por gravedad se desplazaría e inundaría también esos terrenos bajos), pues la forma del perfil medio de la playa relaciona las distancias en vertical y en horizontal de la inundación desde los puntos extremos de la medición.

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:

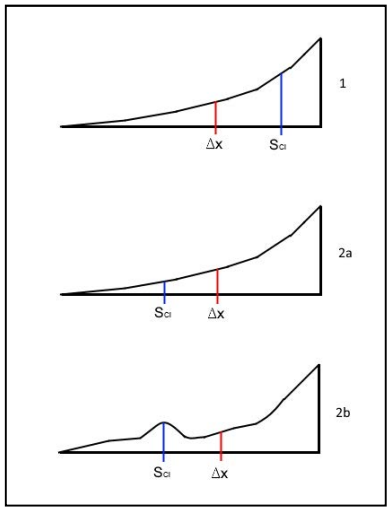
1 – La cota de inundación (S_{CI}), según la topografía del terreno, se ubica más al interior que el alcance de la inundación (Δx).

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.

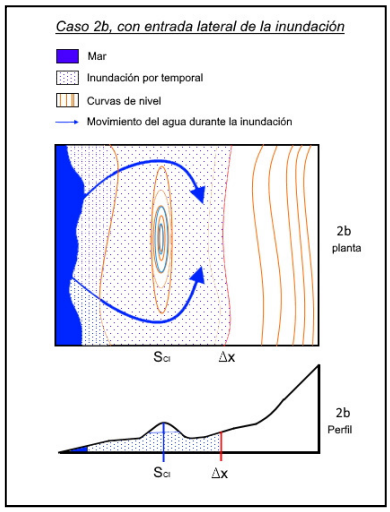
Esquemáticamente:



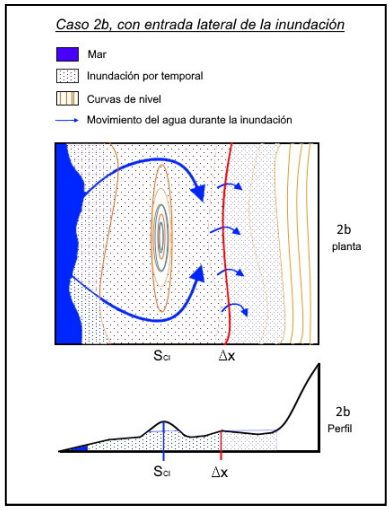
Así, cuando tras los cálculos y su representación sobre la cartografía de las líneas que indican los límites, tanto de la cota de inundación (S_{CI}) sobre el nivel del mar (cota 0 n.m.m.a.) como del alcance (desplazamiento de la ola tierra adentro, Δx), nos encontramos con la situación '1' se considera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



Una variante de este último caso, habitual en los terrenos que abarca este estudio de regresión de la costa, es que los terrenos más al interior del alcance de las olas (Δx) siguen siendo bajos por lo que el agua, por la gravedad y sus características de fluido, se extiende por esos terrenos hasta donde la topografía del suelo vuelve a ascender, por lo que la extensión de la inundación ha de estudiarse en cada caso concreto ya que el agua avanzará incluso más allá de esa línea teórica Δx. 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 (S_{CI}), por distancia (Δx) o por distancia y extensión por terrenos bajos, en cada uno de los casos de los terrenos estudiados.

En las representaciones gráficas anteriores se han mostrado las líneas que marcan la cota de inundación calculada mediante la formulación de Nielsen-Hanslow y el alcance de la inundación calculada por el método de C.E.M.

En la zona de influencia del transecto A, la cota de inundación es de 3,11m por lo que siendo terrenos bajos que en su mayor parte están por debajo de los 3 metros de altitud, la cota de inundación se ubica en el fondo de los terrenos denominados "La Cizaña". El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a algo más de 97 metros de la línea de agua situándose, aproximadamente en la zona con vegetación de "La Cizaña", donde los terrenos descienden al interior de una explanada usada como aparcamiento de vehículos, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' antes comentada siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje en 2030 según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 2,5 metros descendiendo al interior hasta los 1,5 metros por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la cota más alta inundada según Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.

En la zona B, la cota de inundación es de 2,83m por lo que siendo terrenos bajos que en su mayor parte están por debajo de los 3 metros de altitud, la cota de inundación se ubica en el fondo de los terrenos denominados "La Cizaña". El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 138 metros de la línea de agua situándose, aproximadamente en la parte media de una zona de aparcamiento de arena compactada junto al vial que da acceso a la playa de "La Cizaña", por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la

gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 2,5 metros descendiendo al interior hasta los 1,5 metros por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la cota más alta inundada según Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.

La zona C los cálculos del alcance del oleaje se han realizado para el cauce existente en la zona oeste del Parador de Golf, la cota de inundación es de 3,11m. el cauce, al ser un terreno bajo la cota de inundación se sitúa según la topografía en la rotonda del vial de acceso al Parador de Golf siendo este punto el parte en la que se descubre el cauce ya que aguas arriba queda soterrado por los viales estando la cota de 3,11m en dicha rotonda. El alcance de las olas (Δx) en el cauce se ubica a los casi 119 metros de la línea de agua, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos del cauce comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos una fotografía satelital del día 21 de abril de 2022, (imagen de la izquierda) dos semanas después del cuarto mayor temporal ocurrido en la zona desde que se tienen registros numéricos de boyas o satélites. En esta imagen se observa que el agua remontó por el cauce hasta prácticamente la rotonda de acceso manteniéndose embalsada en el cauce porque el arenal de la playa cierra la desembocadura de dicho cauce tras el paso del temporal y la disminución de la fuerza del oleaje.

En la zona D, la cota de inundación es de 3,11m. En la playa existe un talud en la arena horadado por el oleaje durante los temporales y un estrecho cordón de arena unos 2,60 a 3,20 metros de altitud en

el límite del vallado del recinto del Parador de Golf con formaciones vegetales propias de arenales costeros y dunas litorales como *Pancratium maritimum* conocida especie de los litorales de arena por la vistosidad de sus flores y que está siendo desplazada por las invasoras del género *Carprobrotus sp.* Al interior de este cordón los terrenos que forman una parte el campo de golf del Parador descienden hasta los 2 metros, e incluso hasta los 1,5 metros en algunos puntos. El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 92 metros de la línea de agua situándose entre dicho cordón arenoso y el edificio de hospedaje del Parador Nacional de Golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b' anteriormente expuesta, siendo el parámetro del alcance de las olas la extensión numérica de la inundación. Así mismo se dan dos puntos en los que se valora la hipótesis 1 dado que estos puntos son discontinuidades del cordón arenoso. También es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar. Es por ello que se considera que el mar durante los temporales superará este cordón de arena y es el alcance de la inundación la que indicará la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 3 metros descendiendo al interior hasta los 1,75 metros en el límite interior de Δx, por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.

En la zona E, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a la zona anterior aunque al talud de arena que es horadado por el oleaje durante los temporales en el límite del vallado del recinto del Parador de Golf está en el año 2030 en la línea de agua. Sería deseable que en el año 2030 las formaciones vegetales propias de arenales costeros y dunas litorales como *Pancratium maritimum* hayan sido reforzadas y conservadas eliminando las plantas invasoras del género *Carprobrotus sp.* que en la década anterior se extendían por superficies significativas entre el campo de golf y el mar. Al interior del cordón arenoso los terrenos que forman una parte el campo de golf del Parador descienden hasta los 2 metros, e incluso hasta los 1,5 metros en algunos puntos.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica casi a 100 metros de la línea de agua situándose entre ya en el interior del campo de golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b' anteriormente expuesta,

siendo el parámetro del alcance de las olas la extensión numérica de la inundación. Así mismo, es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar. Es por ello que se considera que el mar durante los temporales supera este cordón de arena y es el alcance de la inundación la que indicará la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 3 metros descendiendo al interior hasta los 1,5 metros en el límite interior de Δx, por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.

En la zona F, la cota de inundación es de 3,11m. la regresión de la costa y el cambio climático ha ocasionado que en esta zona la línea de agua se posicione en el vallado actual del campo de golf. Donde los terrenos llegan a descender hasta los 1,5 metros, e incluso hasta el metro en algunos puntos.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 115 metros de la línea de agua situándose en el interior del campo de golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' anteriormente expuesta por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que puede penetrar fácilmente el oleaje al interior del campo de golf ya que el cordón dunar ha desaparecido en 2030 bajo las aguas por lo que las olas llegan, al menos hasta Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que la pendiente es descendente el agua penetra a los terrenos bajos más al interior del Δx. Esto ocurre porque el límite interior del alcance del oleaje teórico tiene cota 2,0m y los terrenos a su interior tienen cota inferior, principalmente cota 1,5m por lo que son terrenos que se inundan con los mayores oleajes que alcanzan la zona.

En la zona G los cálculos del alcance del oleaje se han realizado para el cauce existente al este del campo de golf del Parador, la cota de inundación es de 2,16m. El cauce, al ser un terreno bajo, la cota de inundación se sitúa, según la topografía, en el fondo de los terrenos de Arraijanal, coincidente con el soterramiento de este encauzamiento bajo los viales existentes en la zona. El alcance de las olas (Δx) en el cauce se ubica a más de 222 metros de la línea de agua, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión de la inundación según los cálculos numéricos.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos del cauce comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por

efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota en la desembocadura del encauzamiento es de 2 metros, aunque esta altura es variable según las condiciones meteorológicas ya sean lluvias, oleaje o viento que condicionan la morfología de la arena de la playa en este punto. Aun así, según la topografía del terreno y los cálculos de cota de inundación, ésta es más alta de la altura de la arena en la desembocadura. Más al interior, la cota del fondo del cauce se sitúa entre los 0,5 y 1,0 metros, por lo que, una vez superada y/o erosionada por el oleaje la barra de arena que cierra la desembocadura el agua del mar desciende de cota remontando por el cauce dada la escasa cota del fondo del encauzamiento. Observando el perfil anterior, la cota del alcance del oleaje calculado mediante el método del C.E.M. es 0,5 metros por lo que es evidente que toda el agua marina que supera la barra arenosa remonta y se acumula, no solo hasta este punto (Δx) sino que es superado dada la planicie del ese terreno, es decir, se adentra aún más al interior. Esto se puede observar en la fotografía satelital del día 21 de abril de 2022, es decir, tomada dos semanas después del cuarto mayor temporal ocurrido en la zona desde que se tienen registros numéricos de boyas o satélites. En esta imagen se observa que el agua remontó por el cauce hasta prácticamente el fondo de los terrenos de arena de Arraijanal donde existe un vial asfaltado.

En la zona H, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a la parte occidental del campo de golf, aunque el cordón de arena en esta zona es de menor altura y más intermitente que las anteriores. Este cordón de arena discontinuo tiene una cota de entre 2,00 y 3,00 metros de altitud Al interior del cordón arenoso los terrenos que la zona denominada "Arraijanal" descienden a cota de 1,5 metros excepto un acceso a costa rodado, que está algo más elevado para evitar su inundación y los terrenos más interiores que ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,50 metros.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 124 metros de la línea de agua situándose detrás de dicho cordón arenoso, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b', anteriormente expuesta, en las lomas del cordón arenoso, y la hipótesis '1' en la zona del cordón cuya cota es menor que la cota de inundación. En ambos casos el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación. Así mismo es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación que, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y sus laterales al penetrar hacia el interior por las partes más bajas del cordón, y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar donde se ha considerado la hipótesis '2b'; en cualquier caso es el cálculo del alcance del oleaje el que sigue marcando la extensión de la inundación teórica en la zona H.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha realizado en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota por donde puede penetrar fácilmente el oleaje es en las zonas más bajas del cordón dunar cuya cota se sitúa aproximadamente en los 2 metros siendo superado este cordón por las olas (cota de inundación medio metro más alta y alcance del oleaje más al interior) por lo que las olas llegan, al menos hasta Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que la pendiente es descendente el agua penetra a los terrenos bajos más al interior del Δx.

En la zona I, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a la zona anterior, aunque el cordón de arena en esta zona es de menor altura y aun menor continuidad. Este cordón de arena discontinuo tiene una cota de entre 1,50 metros y 3,00 metros en alguna cresta estando la línea de agua muy próxima en el año 2030. Al interior del cordón arenoso los terrenos que la zona denominada "Arraijanal" descienden a cota de 1,5 metros, incluso 1,0 metro en algunos puntos. Los terrenos más interiores ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,50 metros.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 144 metros desde la línea de agua de 2030, situándose detrás de dicho cordón arenoso, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b', anteriormente expuesta, en las lomas del cordón arenoso, y la hipótesis '1' en las zonas del cordón cuya cota es menor que la cota de inundación. En ambos casos, el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación. Así mismo es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación y dada la cercanía de la línea media de agua en 2030 que, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y sus laterales al penetrar hacia el interior por las partes más bajas del cordón, y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar donde se ha considerado la hipótesis '2b'; en cualquier caso es el cálculo del alcance del oleaje el que sigue marcando la extensión de la inundación teórica en la zona I.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

Aquí tenemos que la cota por donde puede penetrar fácilmente el oleaje es en las zonas más bajas del cordón dunar, cuya cota se sitúa aproximadamente en los 2 – 2,5 metros, y con una proximidad de la línea de agua media en 2030 casi bordeando estos montículos de arena. Siendo superado este cordón por las olas durante los temporales (cota de inundación medio metro más alta y alcance del oleaje más al interior) el agua del mar no tiene obstáculos para llegar hasta, al menos Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que la pendiente es baja, el agua penetra a los terrenos más al interior del Δx.

En la zona J, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno aquí es similar a la zona anterior, aunque el cordón de arena desaparece por que la línea de agua ha llegado hasta si límite y por ser una zona donde la altitud del terreno es menor. Al interior los terrenos que la zona denominada "Arraijanal" descienden a cota de 1,5 metros, incluso 1,0 metro en algunos puntos. Los terrenos más interiores ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,0 metros en la zona donde desde tiempos muy recientes se está construyendo la ciudad deportiva del equipo de futbol de Málaga donde se han realizado importantes movimientos de tierras.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 133 metros de la línea de agua de 2030. La hipótesis '1' es la que describe la zona por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos como se ha hecho en el punto 6.

En este sector tenemos que la cota por donde puede penetrar fácilmente el oleaje es en las zonas más bajas del interior de la playa cuya cota se sitúa aproximadamente en los 1,5 metros siendo superado por las olas (cota de inundación más de 1,5 metros más alta y alcance del oleaje más al interior); también supera la cota de inundación las partes más altas de la arena que se sitúan en torno a los 2,0 metros, por lo que las olas llegan, al menos hasta Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que los terrenos al interior son llanos, el agua penetra a los terrenos más al interior del Δx inundándolos.

En la zona K, la cota de inundación es de 3,11m. El terreno en esta zona está completamente antropizado. Se trata de una urbanización con edificaciones residenciales y hoteleras. En el año 2030 debido al aumento del nivel del mar a causa del cambio climático y por el proceso de regresión de la costa local, tanto la playa de arena como los espigones desaparecen bajo el agua ya que la línea de agua se estima que llegaría a situarse en el borde exterior del paseo marítimo.

Los terrenos correspondientes a esta zona tienen dos configuraciones distintas. En el hotel ubicado en la zona de poniente los terrenos asciendes por la playa, manteniéndose en la cota 2,5 metros en la parte alta de la playa y del paseo marítimo subiendo a los 3 metros en el interior del recinto del hotel. En el resto de la zona se encuentra un pequeño espigón, parte de la playa y una escollera que defiende el paseo marítimo del oleaje todo esto en la cota 2,5 descendiendo al interior (excepto los edificios), estando la calle interior, paralela al paseo marítimo en cota 1,5m.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 125 metros de la línea de agua situándose detrás del paseo marítimo y de los ajardinamientos de la urbanización, por tanto, se dan dos casos en esta zona:

En la zona del hotel de poniente, la cota de inundación se encuentra más al exterior que el alcance de la inundación por lo que nos encontramos con la hipótesis '2', en este caso, al tener una pendiente progresiva se considera la '2a' exclusivamente en el recinto del hotel; habrá que tener en cuenta más adelante la posible inundación de los terrenos más al interior que tienen cota inferior por el avance del agua por gravedad y/o procedente de otras zonas. En el resto de la zona, la cota de inundación se encuentra mucho más al interior que el alcance del oleaje por lo que se trata de la hipótesis '1'. Además, aquí los terrenos, una vez superado el paseo marítimo y los jardines colindantes, descienden en cota hasta la cota 1,5m.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos como se ha hecho en el punto 6.

En este sector tenemos que una vez superada la cota del paseo marítimo y jardines (2,5m), los terrenos descienden a la cota 2 y 1,5 metros en las calles perpendiculares y las dos primeras paralelas al paseo marítimo (y línea de costa) por lo que son perfectamente inundables una vez que supera el agua el paseo marítimo dado que el alcance de la inundación se encuentra alrededor de la cota 2 y más al interior los terrenos tienen cota 1,5m por lo que la gravedad hace que el agua se desplace hacia los terrenos más bajos colindantes a la línea de alcance (calles perpendiculares y paralelas).

Es probable que esta situación ocurra en la parte de poniente en la que, aunque el hotel se encuentra a mayor cota, el agua circulando por los terrenos que lo rodean (calles y pasajes) serán inundados por el agua procedente de zonas colindantes.

En la zona L, la cota de inundación es de 3,11m. El terreno en esta zona está completamente antropizado al igual que la zona anterior por ubicarse en la misma urbanización. Se trata de una urbanización con edificaciones residenciales y hoteleras y una pequeña playa que linda con el talud de encauzamiento del brazo de poniente del río Guadalhorce en su desembocadura.

Los terrenos correspondientes a esta zona tienen dos configuraciones distintas. La parte occidental que se corresponde con el interior del paseo marítimo y los jardines donde la cota máxima del terreno es de 2,5 metros descendiendo una vez superado el ajardinamiento posterior estando tanto la calle perpendicular como las paralelas a la costa a cota claramente inferior situándose en los 1,5 metros

La parte oriental, que se corresponde con un arenal triangular donde se sitúa en 2023 un establecimiento hostelero, alcanza una cota de 3 metros; la calle paralela al talud del brazo del río Guadalhorce al interior de este arenal desciende su cota hasta el metro siendo la cota de la calle paralela a la costa situada inmediatamente detrás del arenal de 1,5 metros como máximo. Los terrenos interiores llegan en algunos puntos hasta los 2,5 metros en los jardines de las comunidades de vecinos cercanas a la costa.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a más de 86 metros de la línea de agua situándose detrás en el interior de los residenciales de primera línea de costa.

Los dos casos que se dan en esta zona:

En la parte de poniente, la cota de inundación (3,11m) se encuentra muy al interior de los terrenos urbanizados mientras que el alcance se sitúa más al exterior por lo que en este caso se considera la hipótesis '1' como la que se ajusta a estas características. En la parte oriental correspondiente al sector del arenal triangular la cota de este arenal se acerca a los 3 metros situándose el alcance del oleaje

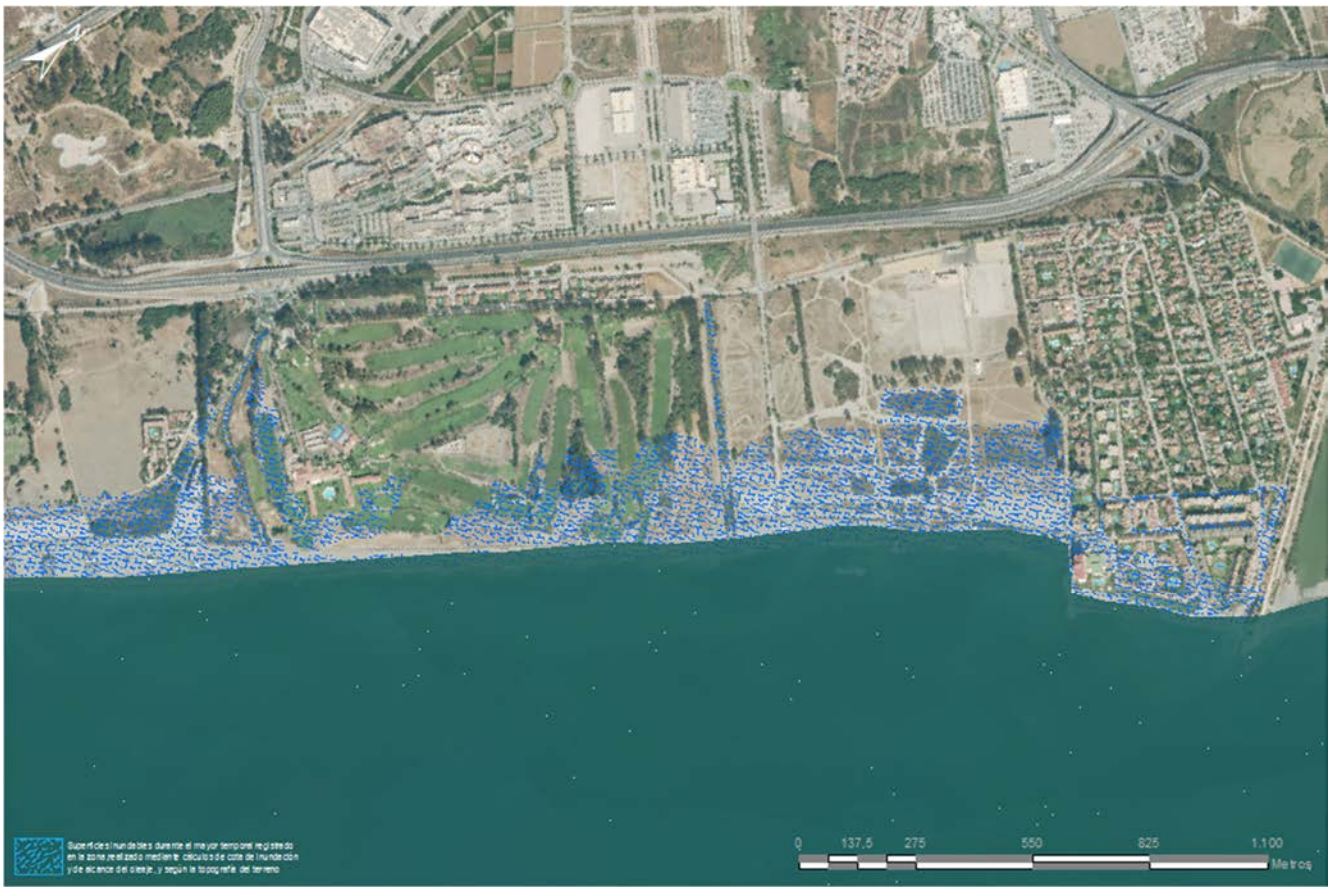
(Δx) más al interior. Dado que el agua puede rodear esta cota por tener cotas más bajas a sus lados y, además, es erosionable por el oleaje al ser de arena suelta y, por tanto, durante los temporales puede bajar su altura, la hipótesis '2b' es la que se considera para este sector oriental de la zona K.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (verde)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este sector tenemos que una vez superada la cota del paseo marítimo (2,5m) y del arenal triangular, los terrenos descienden a la cota 1,5 metros e incluso cota 1 metro en las calles perpendiculares y las dos primeras paralelas a la línea de costa por lo que son perfectamente inundables una vez que supera el agua el paseo marítimo y el arenal dado que el alcance de la inundación se encuentra alrededor de la cota 1,5 e incluso 1 metro en la calle paralela al brazo occidental de la desembocadura del río Guadalhorce. Más al interior los terrenos tienen cota 1,5m por lo que el agua se distribuye por estos terrenos de igual cota conforme va cayendo tras superar las cotas más altas del paseo y el arenal.

Una vez analizados pormenorizadamente todos los sectores del tramo en estudio se representan en el siguiente mapa las superficies probablemente inundables según los cálculos de cota de inundación, alcance de la inundación y el análisis de dichos resultados cruzados con la topografía del terreno durante los mayores temporales registrados en la zona:


Superficies inundables durante el mayor temporal registrado en la zona realizado mediante calculo de cota de inundación y de alcance del oleaje, y según la topografía del terreno
0
137,5
275
550
825
1.100
Metros

7.3 Estimación de la cota de inundación y el alcance del oleaje en el año 2040.

Para estimar la cota de inundación y el alcance del oleaje en el año 2040 se ha considerado la tendencia regresiva de la costa y el aumento del nivel del mar. A partir de esta línea de agua en el año 2040 se realizan los cálculos de cota y alcance de oleaje con los datos de oleaje histórico existente hasta la fecha ya que estimar el incremento de la severidad de los temporales (medidos con el cálculo del aumento de la altura de ola significante y del periodo de la onda debido al cambio climático) para ser añadidos a los cálculos ya realizados de estimación de regresión de la costa y aumento de la cota del nivel del mar, supera el objetivo del presente trabajo. Por ello se realizan los cálculos con el mayor temporal del que existen registros en la zona en estudio, pero sin añadir parametrización debida al cambio climático a los datos de altura significante y periodo pico del temporal más severo de la zona.

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

- La zona de estudio queda encuadrada en el Área V, subzona a, 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 2031080 ya que es el punto más próximo a la zona objeto del estudio de cota máxima del nivel del mar.
- A efectos del cálculo del alcance del oleaje durante el temporal más severo acontecido, se han considerado las variaciones del nivel del mar y del oleaje registrados, para lo que se han tenido en cuenta los valores significantes de altura de ola desde que existen registros. Se han utilizado los datos registrados por Puertos del Estados, que datan del año 1958 hasta la actualidad, siendo, además públicos y disponibles para cualquier persona.
- Se usaron todos los registros para determinar los mayores temporales desde que hay registros (desde 1958) y de ellos se estudiaron en detalle aquellos cuya altura de ola significante fue mayor junto con sus periodos pico y dirección predominante.

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

- Los modelos generados por los puntos SIMAR *"tienden a subestimar los picos en las velocidades de viento y en las alturas de ola en situaciones de temporal muy extremo",* es decir, los datos de altura de ola y viento que ofrece durante los mayores temporales suelen ser inferiores a la altura real de las olas o la velocidad real del viento. Esto es importante en el objetivo que nos ocupa puesto que, con los datos subestimados de los temporales, la extensión de la inundación también estará "subestimada".
- Además, para el cálculo de la cota de inundación y del alcance de la inundación se usan la altura de ola significante (Hs) y el periodo pico (Tp) principalmente. Así Puertos del Estado explica que la altura de ola significante (Hs) *"equivale aproximadamente la altura media del tercio de olas más altas"* y el periodo pico (Tp) *"el periodo del grupo de ondas con más energía".* Por lo que el uso de Hs (ya subestimado porque los valores extremos de los puntos SIMAR los subestiman), al ser una media, también subestima aún más los resultados de cota y alcance de la inundación y con el Tp ocurre lo mismo al tratarse de una media de un grupo de ondas (no de la máxima) por lo

que el límite de la inundación por los mayores temporales conocidos está "doblemente" subestimado (además de la subestimación de los datos extremos que tiene el uso de los puntos SIMAR).

Dado que los datos de partida de los temporales de Puertos del Estado son los mismos que los extraídos anteriormente en el punto "6 - Estudio de cálculo de máxima elevación del mar", se remite a ese ítem para su conocimiento. A continuación, se procede directamente al cálculo de la cota de inundación de cada uno de los transectos (los mismos que en el punto 6),

7.3.1 *Cálculo de la cota de inundación en el año 2040 asociada a cada evento de temporal estimado hasta la actualidad.*

En el apartado 6 se seleccionó, de los eventos de temporal marítimo, el que puede ocasionar cotas de inundación máximas. 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 en el año 2040, 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 significante 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 significantes ya tomadas y su periodo de pico asociado para cada uno de los eventos de temporal.

Formulación de Nielsen-Hanslow (1991):

$$R_{uo}=0{,}47\cdot(Hs\cdot L)^{1/2}\cdot \tan\beta \qquad \text{si } \tan\beta > 1/10$$

$$R_{uo}=0{,}04\cdot(Hs\cdot L)^{1/2} \qquad \text{si } \tan\beta < 1/10$$

Y para la banda de confianza del 2%:

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

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

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

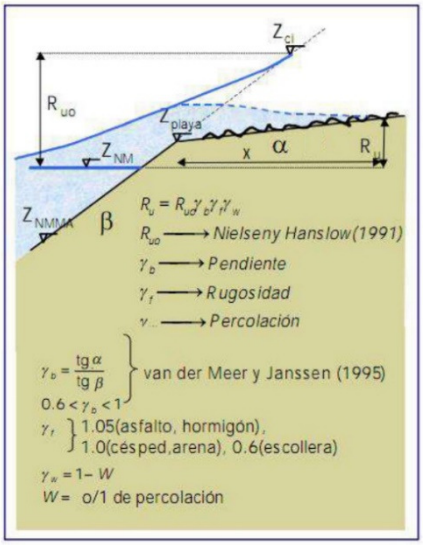
Donde:

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

H_s = Altura de ola significante 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_f, tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

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

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos

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

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

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

Aplicando la formulación de Nielsen-Hanslow, podemos obtener el valor del run-up para cada evento de temporal (antes de aplicar los coeficientes de Van Der Meer y Janssen), que a su vez debe ser sumando a la componente del nivel del mar (S_{NM}) ya calculado para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación de cada uno de los eventos de temporal para cada zona con pendiente

homogénea; calculado mediante la obtención de los resultados necesarios de clima marítimo en primer lugar y la aplicación de un modelo o formulación de cálculo adecuado posteriormente.

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

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10
13:00	19	11	2021	5,41	10,01	110	103,0	1,030	0,599	156,31
2:00	27	3	2019	5,10	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10
22:00	10	2	2023	5,54	10,01	109	92,1	0,921	0,490	156,31
22:00	20	4	2017	4,65	10,71	111	92,7	0,927	0,496	178,94
15:00	6	3	2010	4,60	9,34	111	112,1	1,121	0,690	136,09
12:00	8	4	2015	4,53	10,46	112	87,3	0,873	0,442	170,68

Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2031080.

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

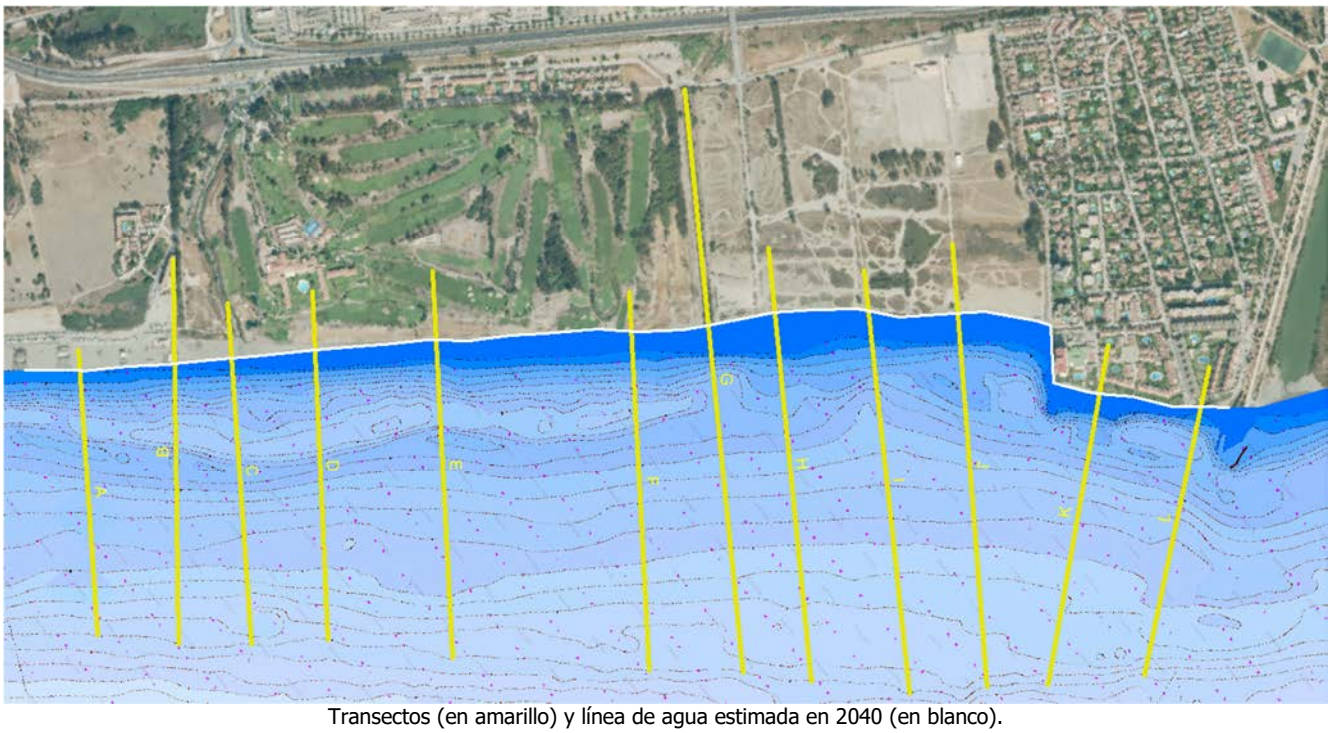
Para la realización de los cálculos de alcance de inundación, se ha dividido 12 zonas en función de la homogeneidad de la costa sumergida, la emergida, del tipo geomorfológico, la morfología de las zonas antropizadas y, además, crear una densidad de medidas para que estas sean suficientes para caracterizar el alcance del oleaje y la cota de inundación con alta precisión en todo el tramo en estudio. 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 de los terrenos sumergido y emergido. Las pendientes se han calculado mediante batimetría extraídos del visor de la empresa italiana Navionics (perteneciente a Garmin Ltd.), concretamente de la capa SonarChart™, cuyas curvas batimétricas tienen un intervalo de 50 cm creadas mediante "sistema propietario" de Navionics que procesa los datos de registros de sónar procedentes de aportaciones realizadas por navegantes adheridos a Navionics que actualizada periódicamente sus cartas náuticas. Por ello se puede considerar que la batimetría representadas es la más reciente de la zona. (*Los datos e imágenes de batimetría han sido cedidos por Navionics exclusivamente para este estudio no siendo posible su uso para cualquier otro fin incluida la navegación*).

La topografía se ha realizado a partir de un modelo digital del terreno elaborado a partir de las nubes de puntos 3D obtenidos con sistema LiDAR; para ello se ha utilizado la nube de puntos publicada por el Instituto Geográfico Nacional correspondiente a la "2ª Cobertura (2015-Actualidad)", en nuestro caso los datos se obtuvieron en el año 2020, siendo éstos los datos más recientes publicados en la fecha de redacción de este estudio. Con estos datos se realiza un modelo digital de elevaciones con el que se calcula mediante software las curvas de nivel.

Como se ha dicho en la introducción, la morfología de la zona emergida y la sumergida se hipotetiza que se mantiene invariable excepto en el tramo entre la nueva línea de agua y la anterior pero, dado que para los cálculos se utilizan pendientes medias (desde la cota 0 hasta otra determinada sin tener en cuenta las características intermedias) no es relevante su morfología.

La ubicación de las zonas para el cálculo de las pendientes sumergida y emergida se representa en la siguiente imagen que incluye la batimetría:



Transectos (en amarillo) y línea de agua estimada en 2040 (en blanco).

Los datos de partida (ver tabla de la página 214) 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 y que se desarrolla a continuación.

Zona A.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	616
pendiente %	1,218

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	47
pendiente %	5,319

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21

3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

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

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona B.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	650
pendiente %	1,154

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	243

pendiente %	1,029

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 0{,}9$$

al dar como resultado un valor inferior a 1 pero superior a 0,6, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 0{,}9$$

- 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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1\text{-}W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,07	2,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,01	2,01
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,07	2,13
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,04	2,07

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,07	2,11	2,85
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,01	2,01	2,69
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,07	2,13	2,67
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,04	2,07	2,66

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 2,85 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona C.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	666
pendiente %	1,126

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	128
pendiente %	1,953

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=1{,}7$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona D.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	671
pendiente %	1,118

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)	3,00
distancia (m)	15
pendiente %	20,000

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=17,9$$

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona E.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	737
pendiente %	1,018

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,00
distancia (m)	13
pendiente %	15,385

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 15{,}1$$

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona F.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	790
pendiente %	0,949

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	12
pendiente %	20,833

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 21{,}9$$

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona G.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	807
pendiente %	0,929

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	554
pendiente %	0,451

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 0,5$$

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:

$$\gamma_b = 0,6$$

- 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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,72	1,42
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,68	1,35
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,72	1,43
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,70	1,39

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,72	1,42	2,16
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,68	1,35	2,04
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,72	1,43	1,98
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,70	1,39	1,98

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 2,16 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona H.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	856
pendiente %	0,876

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,00
distancia (m)	12
pendiente %	16,667

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=19,0$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona I.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	889
pendiente %	0,844

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	98
pendiente %	2,551

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=3,0$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona J.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	875
pendiente %	0,857

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,00
distancia (m)	72
pendiente %	2,778

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 3{,}2$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona K.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	689
pendiente %	1,089

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	114
pendiente %	2,193

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 2{,}0$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona L.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	626
pendiente %	1,198

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)	3,00
distancia (m)	6
pendiente %	50,000

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=41{,}7$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.3.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

7.3.2 *Estimación del desplazamiento de la ola por la playa seca en el año 2040*

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

Según el C.E.M. es necesario obtener la altura de ola significante 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:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

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 y han sido medidos, recordemos, desde la cota 0 (línea de agua) estimada para el año 2030 teniendo en cuenta la regresión de la costa y el aumento del nivel del mar por efecto del cambio climático.

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 de rotura db, que se obtiene mediante la fórmula:

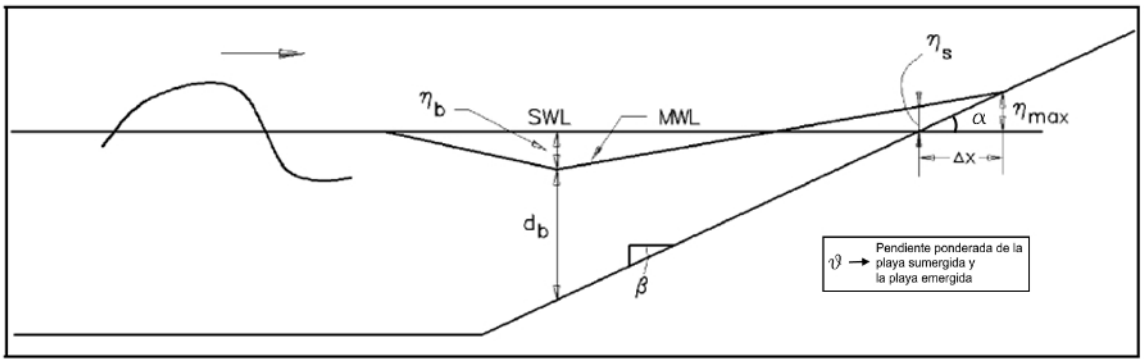
$$db = \frac{H_b}{\gamma_b^2}$$

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

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

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

Así, aplicaremos este sistema de fórmulas del C.E.M. para los datos del temporal más severo desde que hay registros, considerando que éste es aquel cuya cota de inundación (calculada en el punto 7.3.1) es el de mayor valor, es decir, aquel temporal cuyo valor de S_{ci} es mayor.



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

A continuación, se desarrollan los cálculos para cada transecto.

Zona A:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0025
ηs	1,23

ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,30
tanα	0,052
tanβ	0,012
tanϑ	0,015

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 97,31 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 97,31 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona B:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 2,85 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0023
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,32
tanα	0,010
tanβ	0,012
tanϑ	0,011

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 138,12 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 138,12 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona C:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0023
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,33
tanα	0,020
tanβ	0,011
tanϑ	0,013

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 118,56 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 118,56 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros

tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona D:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0022
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,33
tanα	0,200
tanβ	0,011
tanϑ	0,015

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 93,77 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 93,77 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona E:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0020
ηs	1,22
ηb	-0,31
γb	0,81
db	7,37
tanα	0,154
tanβ	0,010
tanϑ	0,013

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 114,81 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 114,81 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona F:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0019
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,39
tanα	0,208
tanβ	0,009
tanϑ	0,012

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 115,17 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 115,17 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona G:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 2,16 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0018

ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,40
tanα	0,005
tanβ	0,009
tanϑ	0,007

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 221,21 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 221,21 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona H:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0017
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,41
tanα	0,167
tanβ	0,009
tanϑ	0,011

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 132,02 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 132,02 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona I:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0017
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,42
tanα	0,026
tanβ	0,008
tanϑ	0,010

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 143,50 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 143,50 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros

tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona J:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0017
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,42
tanα	0,028
tanβ	0,009
tanϑ	0,010

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 145,76 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 145,76 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona K:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0022
ηs	1,22
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,34
tanα	0,022
tanβ	0,011
tanϑ	0,012

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 119,13 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 119,13 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

Zona L:

Como ya se ha visto en el apartado 7.3.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36

Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0024
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,31
tanα	0,500
tanβ	0,012
tanϑ	0,017

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 86,48 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 86,48 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 20 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 13 cm de media.

7.3.3 *Discusión de los resultados para el año 2040*

Teniendo en cuenta estos valores de alcance obtenidos para cada transecto, se puede representar en el mapa el alcance de la inundación teórica en el año 2040 según el método del C.E.M.) así como la cota de inundación (según Nielsen-Hanslow), teniendo en cuenta tanto la regresión de la costa como la elevación del nivel del mar por los efectos del cambio climático.

Representación gráfica de los alcances calculados mediante el método del C.E.M. (en amarillo) 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 de la inundación (sin tener en cuenta obstáculos cuya altura no esté cartografiada como curva de nivel, ni las superficies cuyos terrenos estén más bajos colindantes a los que si llega el agua y que por gravedad se desplazaría e inundaría también esos terrenos bajos), pues la forma del perfil medio de la playa relaciona las distancias en vertical y en horizontal de la inundación desde los puntos extremos de la medición.

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:

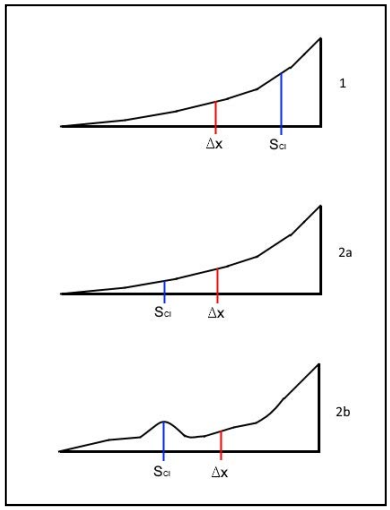
1 – La cota de inundación (S_{CI}), según la topografía del terreno, se ubica más al interior que el alcance de la inundación (Δx).

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:

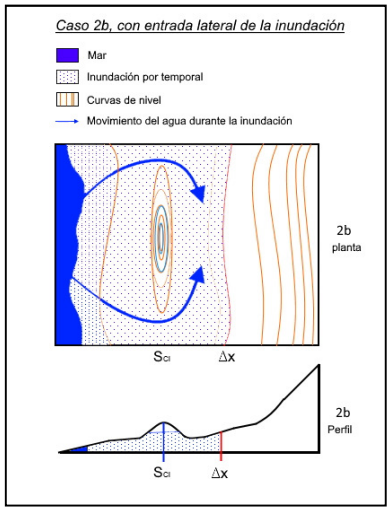


Así, cuando tras los cálculos y su representación sobre la cartografía de las líneas que indican los límites, tanto de la cota de inundación (S_{CI}) sobre el nivel del mar (cota 0 n.m.m.a.) como del alcance (desplazamiento de la ola tierra adentro, Δx), nos encontramos con la situación '1' se considera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

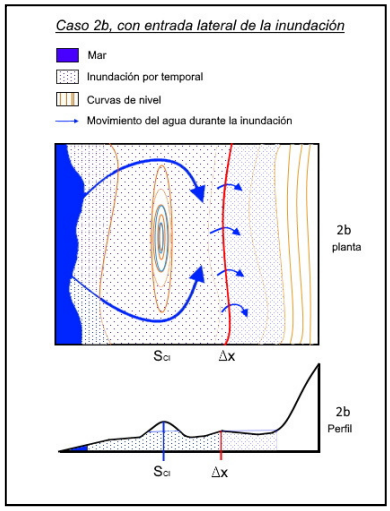
En el caso de encontrarnos con el supuesto 2a, es decir, el límite interior del alcance (Δx) se ubica más al interior que la inundación arrojada por el valor de la cota de inundación (S_{CI}) en un terreno que va ascendiendo de manera constante desde la línea de agua hacia el interior, se considera que 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:



Una variante de este último caso, habitual en los terrenos que abarca este estudio de regresión de la costa, es que los terrenos más al interior del alcance de las olas (Δx) siguen siendo bajos por lo que el agua, por la gravedad y sus características de fluido, se extiende por esos terrenos hasta donde la topografía del suelo vuelve a ascender, por lo que la extensión de la inundación ha de estudiarse en cada caso concreto ya que el agua avanzará incluso más allá de esa línea teórica Δx. 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 (S_{CI}), por distancia (Δx) o por distancia y extensión por terrenos bajos, en cada uno de los casos de los terrenos estudiados.

En las representaciones gráficas anteriores se han mostrado las líneas que marcan la cota de inundación calculada mediante la formulación de Nielsen-Hanslow y el alcance de la inundación calculada por el método de C.E.M.

En la zona de influencia del transecto A, la cota de inundación es de 3,11m por lo que siendo terrenos bajos que en su mayor parte están por debajo de los 3 metros de altitud, la cota de inundación se ubica en el fondo de los terrenos denominados "La Cizaña". El alcance de las olas (Δx) en esta zona se

ubica a algo más de 97 metros de la línea de agua situándose, aproximadamente en la zona con vegetación de "La Cizaña", donde los terrenos descienden al interior de una explanada usada como aparcamiento de vehículos, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' antes comentada siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje en 2040 según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje (3,11m) supera la cota máxima del terreno (2,5m) hasta alcanzar su límite interior (Δx). Al interior desciende hasta los 1,5 metros por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la cota más alta inundada según Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico (Δx).

En la zona B, la cota de inundación es de 2,68m por lo que siendo terrenos bajos que en su mayor parte están por debajo de los 3 metros de altitud, la cota de inundación se ubica en el fondo de los terrenos denominados "La Cizaña". El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 138 metros de la línea de agua situándose, aproximadamente en la parte media de una zona de aparcamiento de arena compactada junto al vial que da acceso a la playa de "La Cizaña", por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota máxima del terreno y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 2 metros descendiendo al interior hasta los 1,5 metros por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la cota más alta inundada según Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.

La zona C los cálculos del alcance del oleaje se han realizado para el cauce existente en la zona oeste del Parador de Golf, la cota de inundación es de 3,11m. el cauce, al ser un terreno bajo la cota de inundación se sitúa según la topografía en la rotonda del vial de acceso al Parador de Golf siendo este punto el parte en la que se descubre el cauce ya que aguas arriba queda soterrado por los viales estando la cota de 3,11m en dicha rotonda. El alcance de las olas (Δx) en el cauce se ubica a los casi 118 metros de la línea de agua, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos del cauce comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos una fotografía satelital del día 21 de abril de 2022, (imagen de la izquierda) dos semanas después del cuarto mayor temporal ocurrido en la zona desde que se tienen registros numéricos de boyas o satélites. En esta imagen se observa que el agua remontó por el cauce hasta prácticamente la rotonda de acceso manteniéndose embalsada en el cauce porque el arenal de la playa cierra la desembocadura de dicho cauce tras el paso del temporal y la disminución de la fuerza del oleaje.

En la zona D, la cota de inundación es de 3,11m. En la playa existe un talud en la arena en la misma línea de agua (probablemente este talud haya desaparecido en el año 2040 por el efecto del oleaje aunque, para este estudio, mantendremos la premisa de que el terreeneo mantiene las características del año 2020), de unos 2,60 a 3,20 metros de altitud en el límite del vallado del recinto del Parador de Golf. Al interior de este cordón los terrenos que forman una parte el campo de golf del Parador descienden hasta los 2 metros, e incluso hasta los 1,5 metros en algunos puntos. El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a casi 94 metros de la línea de agua situándose en el borde del edificio de hospedaje del Parador Nacional de Golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2b' anteriormente expuesta, siendo el parámetro del alcance de las olas la extensión numérica de la inundación. Así mismo se dan dos puntos en los que se valora la hipótesis 1 dado que estos puntos son discontinuidades del cordón arenoso. También es necesario considerar que este cordón de arena cuya altura supera por pocos centímetros la cota de inundación, por efecto del oleaje durante los temporales que erosionan su frente hasta casi su altura y dada la escasa cohesión que ofrece la arena, no es descartable un descenso de su altura por la erosión causada por el oleaje y por tanto podría darse la hipótesis '1' durante los temporales de mar. Es por ello que se considera que el mar durante los temporales superará este cordón de arena y es el alcance de la inundación la que indicará la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota máxima del terreno alcanzado por el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 3 metros descendiendo al interior hasta los 1,75 metros en el límite interior de Δx, por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.

En la zona E, la cota de inundación es de 3,11m. situándose la línea de agua en el año 2040 en el límite de los terrenos del actual campo de golf. Al interior los terrenos que forman parte del campo de golf del Parador con cotas desde los 2 metros hasta los 1,5 metros en algunos puntos aumentando posteriormente hasta los 3 metros a unos 300 metros de la línea de agua.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica casi a 115 metros de la línea de agua situándose en el interior del campo de golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' anteriormente expuesta, siendo el parámetro del alcance de las olas la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que la cota máxima del terreno que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) se encuentra aproximadamente en los 2 o 2,5 metros descendiendo al interior hasta los 1,5 metros en el límite interior de Δx, por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.

En la zona F, la cota de inundación es de 3,11m. la regresión de la costa y el cambio climático ha ocasionado que en esta zona la línea de agua se posicione en el vallado actual del campo de golf. Donde los terrenos llegan a descender hasta los 1,5 metros, e incluso hasta el metro en algunos puntos.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 115 metros de la línea de agua situándose en el interior del campo de golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' anteriormente expuesta por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto

de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que puede penetrar fácilmente el oleaje al interior del campo de golf ya que no existe cordón dunar que proteja contra el oleaje en el año 2040 lo que las olas llegan sin obstáculos al menos hasta Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que la pendiente es descendente el agua penetra a los terrenos bajos más al interior del Δx.

En la zona G los cálculos del alcance del oleaje se han realizado para el cauce existente al este del campo de golf del Parador, la cota de inundación es de 2,16m. El cauce, al ser un terreno bajo, la cota de inundación se sitúa, según la topografía, en el fondo de los terrenos de Arraijanal, coincidente con el soterramiento de este encauzamiento bajo los viales existentes en la zona. El alcance de las olas (Δx) en el cauce se ubica a más de 221 metros de la línea de agua, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión de la inundación según los cálculos numéricos.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos del cauce comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota en la desembocadura del encauzamiento es de apenas 1,5 metros, aunque esta altura es variable según las condiciones meteorológicas ya sean lluvias, oleaje o viento que condicionan la morfología de la arena de la playa en este punto. Aun así, según la topografía del terreno y los cálculos de cota de inundación, ésta es más alta de la altura de la arena en la desembocadura. Más al interior, la cota del fondo del cauce se sitúa entre los 0,5 y 1,0 metros, por lo que, una vez superada la barra de arena que cierra la desembocadura el agua del mar desciende de cota remontando por el cauce dada la escasa cota del fondo del encauzamiento. La cota del alcance del oleaje calculado mediante el método del C.E.M. es 0,5 metros por lo que es evidente que toda el agua marina que supera la barra arenosa remonta y se acumula, no solo hasta este punto (Δx) sino que es superado dada la planicie del ese terreno, es decir, se adentra aún más al interior. Esto se puede observar en la fotografía satelital del día 21 de abril de 2022, es decir, tomada dos semanas después del cuarto mayor temporal ocurrido en la zona desde que se tienen registros numéricos de boyas o satélites. En esta imagen se observa que el agua remontó por el cauce hasta prácticamente el fondo de los terrenos de arena de Arraijanal donde existe un vial asfaltado.

En la zona H, la cota de inundación es de 3,11m. La línea de agua en 2040 se sitúa más al interior del cordón de arena que había en 2020. Al interior, los terrenos que la zona denominada "Arraijanal" descienden a cota de 1,5 metros excepto un acceso a costa rodado, que está algo más elevado para evitar su inundación y los terrenos más interiores que ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,50 metros pero ya a una distancia de casi 300 metros de la línea de agua.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 132 metros de la línea de agua que se adentra al interior durante los temporales por la inexistencia de obstáculos que impidan su avance natural. Dado que la cota de inundación se sitúa más al interior que el alcance del oleaje nos encontraríamos con la hipótesis de trabajo '1' por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha realizado en el punto 6.

En este caso tenemos el oleaje no tienen impedimentos para penetrar tierra adentro hasta, al menos, el alcance del oleaje calculado, Δx, teniendo en este punto cota 1,5m siendo un terreno llano más al interior, se entiende que el agua penetra más allá de Δx por simple gravedad, rellenando los terrenos bajos interiores.

En la zona I, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a la zona anterior situándose la línea de agua más al interior del cordón de arena existente en el año 2020. Al interior, en los terrenos de la zona denominada "Arraijanal", la cota del terreno se sitúa en 1,5 metros, incluso 1,0 metro en algunos puntos. Los terrenos más interiores ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,50 metros.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 143 metros desde la línea de agua de 2040, situándose más al exterior que la cotal de inundación por lo que en este sector la hipótesis de trabajo es la '1' por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

Aquí tenemos que el oleaje puede penetrar fácilmente al interior al carecer de obstáculos y desarrollarse de forma natural el avance del mar durante los temporales hasta, al menos Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que la pendiente es baja, el agua penetra a los terrenos más al interior del Δx.

En la zona J, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno aquí es similar a la zona anterior. Al interior, los terrenos de la zona denominada "Arraijanal", descienden a cota de 1,5 metros. Los terrenos más interiores ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,0 metros en la zona donde desde tiempos muy recientes se está construyendo la ciudad deportiva del equipo de futbol de Málaga donde se han realizado importantes movimientos de tierras.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 146 metros de la línea de agua de 2040. La hipótesis '1' es la que describe la zona por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow

(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos como se ha hecho en el punto 6.

En este sector tenemos que la línea de agua en el año 2040 se ubica en la zona baja al interior de la playa de 2020. Dado que la cota es de aproximadamente en los 1,5 metros, el terreno es perfectamente superado por las olas (cota de inundación más de 1,5 metros más alta y alcance del oleaje más al interior); también supera la cota de inundación las partes más altas de los montículos de arena que se sitúan en torno a los 2,0 metros, por lo que las olas llegan, al menos hasta Δx al carecer de obstáculos u otros impedimentos a su avance; a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que los terrenos al interior son llanos, el agua penetra a superficies más al interior del Δx inundándolos.

En la zona K, la cota de inundación es de 3,11m. El terreno en esta zona está completamente antropizado. Se trata de una urbanización con edificaciones residenciales y hoteleras. En el año 2040 debido al aumento del nivel del mar a causa del cambio climático y por el proceso de regresión de la costa local, tanto la playa de arena como los espigones existentes en 2020 desaparecen bajo el agua ya que la línea de agua se estima que llegaría a situarse en el borde interior del paseo marítimo y las zonas ajardinadas contiguas, desapareciendo la playa que aun existiese años anteriores.

Los terrenos correspondientes a esta zona tienen dos configuraciones distintas. En el hotel ubicado en la zona de poniente los terrenos junto a la línea de agua estimada para el año 2040 tienen una cota de 2,5 metros en el borde interior del paseo marítimo subiendo a los 3 metros en el interior del recinto del hotel. En el resto de la zona la línea de agua se sitúa en los jardines aledaños al paseo marítimo existente en 2020 (superado o destruido en 2040) que tienen una cota máxima de 2,5 metros descendiendo por las calles que se dirigen al interior por tener cotas de 1,5 metros.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 119 metros de la línea de agua situándose en 2040 en el interior de la urbanización Guadalmar.

En la zona del hotel de poniente, la cota de inundación se encuentra más al exterior que el alcance de la inundación por lo que nos encontramos con la hipótesis '2', en este caso, al tener una pendiente progresiva se considera la '2a' exclusivamente en el recinto del hotel; habrá que tener en cuenta más adelante la posible inundación de los terrenos más al interior que tienen cota inferior por el avance del agua por gravedad y/o procedente de otras zonas. En el resto de la zona, la cota de inundación se encuentra mucho más al interior que el alcance del oleaje por lo que se trata de la hipótesis '1'. Además, aquí los terrenos, una vez superado el paseo marítimo y los jardines colindantes, descienden en cota hasta la cota 1,5m.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos como se ha hecho en el punto 6.

En este sector tenemos que una vez superada la cota del paseo marítimo y jardines (2,5m), los terrenos descienden a la cota 2 y 1,5 metros en las calles perpendiculares y las primeras paralelas a la línea de costa por lo que son perfectamente inundables una vez que supera el agua el borde interior del paseo marítimo y los jardines dado que al interior los terrenos tienen cota 1,5m por lo que la gravedad hace que el agua se desplace hacia los terrenos más bajos colindantes a la línea de alcance (calles perpendiculares y paralelas).

Es probable que esta situación ocurra en la parte de poniente en la que, aunque el hotel se encuentra a mayor cota, el agua circulando por los terrenos que lo rodean (calles y pasajes) serán inundados por el agua procedente de zonas colindantes.

En la zona L, la cota de inundación es de 3,11m. El terreno en esta zona está completamente antropizada al igual que la zona anterior por ubicarse en la misma urbanización. Se trata de una urbanización con edificaciones residenciales y hoteleras y una pequeña playa que linda con el talud de encauzamiento del brazo de poniente del río Guadalhorce en su desembocadura.

Los terrenos correspondientes a esta zona tienen dos configuraciones distintas. La parte occidental que se corresponde con los jardines donde la cota máxima del terreno es de 2,5 metros descendiendo una vez superado el ajardinamiento estando tanto la calle perpendicular como las paralelas a la costa a cota claramente inferior situándose en los 1,5 metros

La parte oriental, que se corresponde con un mínimo arenal junto al brado occidental del río Guadalhorce, alcanza una cota de 3 metros; la calle paralela al talud del brazo del río Guadalhorce al interior de este arenal desciende su cota hasta el metro siendo la cota de la calle paralela a la costa situada inmediatamente detrás del arenal de 1,5 metros como máximo. Los terrenos interiores llegan en algunos puntos hasta los 2,5 metros en los jardines de las comunidades de vecinos cercanas a la costa.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a más de 86 metros de la línea de agua situándose en el interior de los residenciales de primera línea de costa.

Los dos casos que se dan en esta zona:

En la parte de poniente, la cota de inundación (3,11m) se encuentra muy al interior de los terrenos urbanizados mientras que el alcance se sitúa más al exterior por lo que en este caso se considera la hipótesis '1' como la que se ajusta a estas características. En la parte oriental correspondiente al sector del arenal la cota de este arenal se acerca a los 3 metros situándose el alcance del oleaje (Δx) más al interior. Dado que el agua puede rodear esta cota por tener cotas más bajas a sus lados y, además, es erosionable por el oleaje al ser de arena suelta y, por tanto, durante los temporales puede bajar su altura, la hipótesis '2b' es la que se considera para este sector oriental de la zona K.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (amarillo)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este sector tenemos que una vez superada la cota de los jardines (2,5m) y del pequeño arenal, los terrenos descienden a la cota 1,5 metros e incluso cota 1 metro en las calles perpendiculares y las primeras paralelas a la línea de costa por lo que son perfectamente inundables una vez que supera el agua dicho ajardinamiento y el arenal. Más al interior los terrenos tienen cota 1,5m por lo que el agua se distribuye por estos terrenos conforme va cayendo tras superar las cotas más altas del jardin y el arenal.

Una vez analizados pormenorizadamente todos los sectores del tramo en estudio se representan en el siguiente mapa las superficies probablemente inundables según los cálculos de cota de inundación, alcance de la inundación y el análisis de dichos resultados cruzados con la topografía del terreno durante los mayores temporales registrados en la zona como estimación para el año 2040:

7.4 Estimación de la cota de inundación y el alcance del oleaje en el año 2070.

Para estimar la cota de inundación y el alcance del oleaje en el año 2070 se ha considerado la tendencia regresiva de la costa y el aumento del nivel del mar. A partir de esta línea de agua en el año 2070 se realizan los cálculos de cota y alcance de oleaje con los datos de oleaje histórico existente hasta la fecha ya que estimar el incremento de la severidad de los temporales (medidos con el cálculo del aumento de la altura de ola significante y del periodo de la onda debido al cambio climático) para ser añadidos a los cálculos ya realizados de estimación de regresión de la costa y aumento de la cota del nivel del mar, supera el objetivo del presente trabajo. Por ello se realizan los cálculos con el mayor

temporal del que existen registros en la zona en estudio, pero sin añadir parametrización debida al cambio climático a los datos de altura significante y periodo pico del temporal más severo de la zona.

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

- La zona de estudio queda encuadrada en el Área V, subzona a, 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 2031080 ya que es el punto más próximo a la zona objeto del estudio de cota máxima del nivel del mar.
- A efectos del cálculo del alcance del oleaje durante el temporal más severo acontecido, se han considerado las variaciones del nivel del mar y del oleaje registrados, para lo que se han tenido en cuenta los valores significantes de altura de ola desde que existen registros. Se han utilizado los datos registrados por Puertos del Estados, que datan del año 1958 hasta la actualidad, siendo, además públicos y disponibles para cualquier persona.
- Se usaron todos los registros para determinar los mayores temporales desde que hay registros (desde 1958) y de ellos se estudiaron en detalle aquellos cuya altura de ola significante fue mayor junto con sus periodos pico y dirección predominante.

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

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

Dado que los datos de partida de los temporales de Puertos del Estado son los mismos que los extraídos anteriormente en el punto "6 - Estudio de cálculo de máxima elevación del mar", se remite a ese ítem para su conocimiento. A continuación, se procede directamente al cálculo de la cota de inundación de cada uno de los transectos (los mismos que en el punto 6).

7.4.1 *Cálculo de la cota de inundación en el año 2070 asociada a cada evento de temporal estimado hasta la actualidad.*

En el apartado 6 se seleccionó, de los eventos de temporal marítimo, el que puede ocasionar cotas de inundación máximas. 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 en el año 2070, 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 significante 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 significantes ya tomadas y su periodo de pico asociado para cada uno de los eventos de temporal.

Formulación de Nielsen-Hanslow (1991):

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

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

Y para la banda de confianza del 2%:

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

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

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

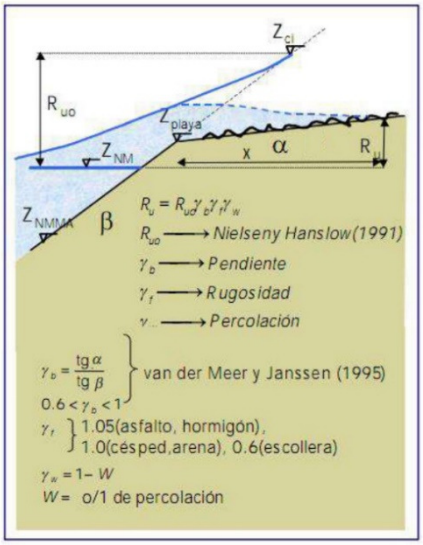
Donde:

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

H_s = Altura de ola significante 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_f, tomará el valor de 1, al estar la playa formada por arenas limpias.

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

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos

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

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

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

Aplicando la formulación de Nielsen-Hanslow, podemos obtener el valor del run-up para cada evento de temporal (antes de aplicar los coeficientes de Van Der Meer y Janssen), que a su vez debe ser sumando a la componente del nivel del mar (S_{NM}) ya calculado para estimar definitivamente el valor de la cota de inundación de cada uno de los eventos de temporal para cada zona con pendiente

homogénea; calculado mediante la obtención de los resultados necesarios de clima marítimo en primer lugar y la aplicación de un modelo o formulación de cálculo adecuado posteriormente.

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

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	97,5	0,975	0,544	189,10
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10
13:00	19	11	2021	5,41	10,01	110	103,0	1,030	0,599	156,31
2:00	27	3	2019	5,10	11,01	111	84,7	0,847	0,416	189,10
22:00	10	2	2023	5,54	10,01	109	92,1	0,921	0,490	156,31
22:00	20	4	2017	4,65	10,71	111	92,7	0,927	0,496	178,94
15:00	6	3	2010	4,60	9,34	111	112,1	1,121	0,690	136,09
12:00	8	4	2015	4,53	10,46	112	87,3	0,873	0,442	170,68

Tabla de máximos temporales desde que existen registros en el punto SIMAR 2031080.

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

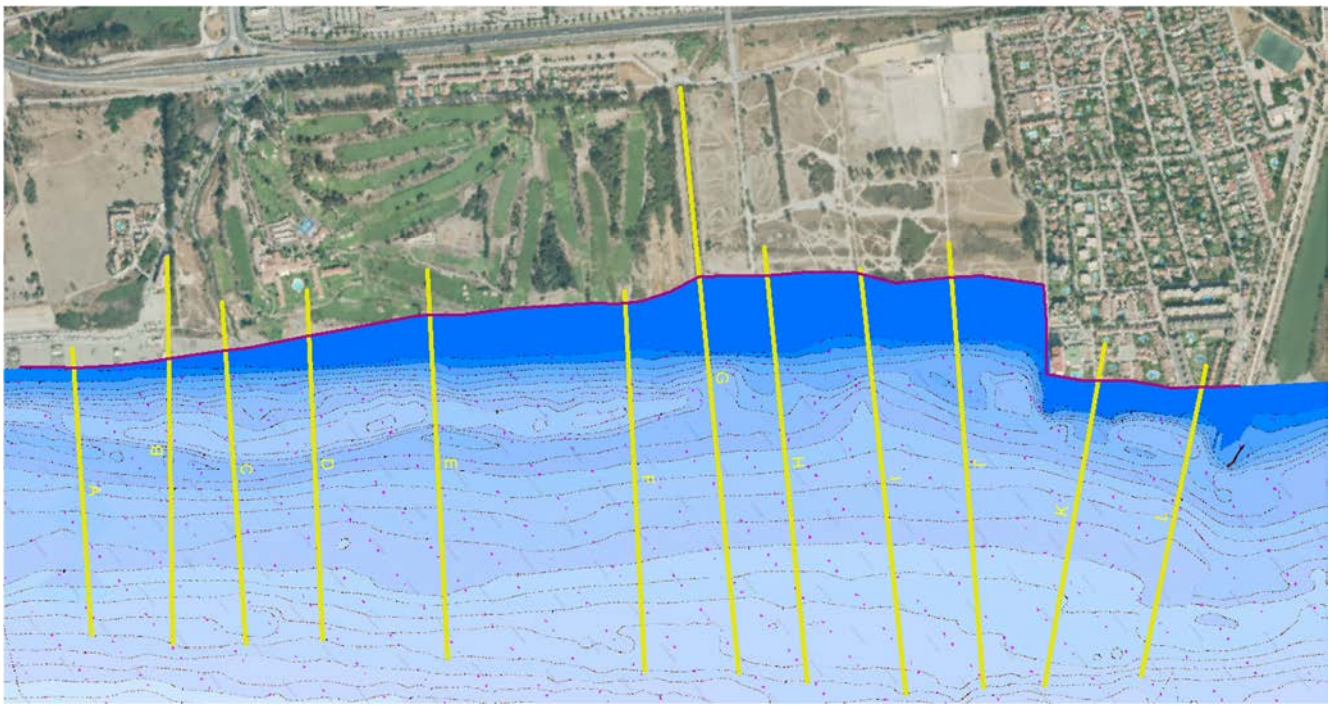
Para la realización de los cálculos de alcance de inundación, se ha dividido 12 zonas en función de la homogeneidad de la costa sumergida, la emergida, del tipo geomorfológico, la morfología de las zonas antropizadas y, además, crear una densidad de medidas para que estas sean suficientes para caracterizar el alcance del oleaje y la cota de inundación con alta precisión en todo el tramo en estudio. 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 de los terrenos sumergido y emergido. Las pendientes se han calculado mediante batimetría extraídos del visor de la empresa italiana Navionics (perteneciente a Garmin Ltd.), concretamente de la capa SonarChart™, cuyas curvas batimétricas tienen un intervalo de 50 cm creadas mediante "sistema propietario" de Navionics que procesa los datos de registros de sónar procedentes de aportaciones realizadas por navegantes adheridos a Navionics que actualizada periódicamente sus cartas náuticas. Por ello se puede considerar que la batimetría representadas es la más reciente de la zona. (*Los datos e imágenes de batimetría han sido cedidos por Navionics exclusivamente para este estudio no siendo posible su uso para cualquier otro fin incluida la navegación*).

La topografía se ha realizado a partir de un modelo digital del terreno elaborado a partir de las nubes de puntos 3D obtenidos con sistema LiDAR; para ello se ha utilizado la nube de puntos publicada por el Instituto Geográfico Nacional correspondiente a la "2ª Cobertura (2015-Actualidad)", en nuestro caso los datos se obtuvieron en el año 2020, siendo éstos los datos más recientes publicados en la fecha de redacción de este estudio. Con estos datos se realiza un modelo digital de elevaciones con el que se calcula mediante software las curvas de nivel.

Como se ha dicho en la introducción, la morfología de la zona emergida y la sumergida se hipotetiza que se mantiene invariable excepto en el tramo entre la nueva línea de agua y la anterior pero, dado que para los cálculos se utilizan pendientes medias (desde la cota 0 hasta otra determinada sin tener en cuenta las características intermedias) no es relevante su morfología.

La ubicación de las zonas para el cálculo de las pendientes sumergida y emergida se representa en la siguiente imagen que incluye la batimetría:



Transectos (en amarillo) y línea de agua estimada en 2070 (en marrón).

Los datos de partida (ver tabla de la página 270) 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 y que se desarrolla a continuación.

Zona A.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	620
pendiente %	1,210

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	44
pendiente %	5,682

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21

3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 4{,}7$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona B.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	660
pendiente %	1,136

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	233

pendiente %	1,073

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = 0,9$$

al dar como resultado un valor inferior a 1 pero superior a 0,6, se toma como coeficiente por pendiente:

$$\gamma_b = 0,9$$

- 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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0,01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1\text{-}W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,13	2,24
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,07	2,12
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,14	2,25
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,11	2,19

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,13	2,24	2,98
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,07	2,12	2,81
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,14	2,25	2,80
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,11	2,19	2,78

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 2,98 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona C.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	681
pendiente %	1,101

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	112
pendiente %	2,232

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=2{,}0$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona D.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	702
pendiente %	1,068

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)	3,50
distancia (m)	106
pendiente %	3,302

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=3,1$$

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona E.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	795
pendiente %	0,943

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,00
distancia (m)	18
pendiente %	11,111

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22

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	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 11{,}8$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1\text{-}W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona F.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	852
pendiente %	0,880

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca

altura máx. playa (m)	2,00
distancia (m)	27
pendiente %	7,407

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 8{,}4$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona G.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	922
pendiente %	0,813

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	440
pendiente %	0,568

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=0,7$$

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:

$$\gamma_b=0,7$$

- 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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,84	1,65
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,79	1,57
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,84	1,67
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,82	1,62

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	0,84	1,65	2,40
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	0,79	1,57	2,26
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	0,84	1,67	2,21

15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	0,82	1,62	2,21

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 2,40 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona H.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	943
pendiente %	0,795

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,00
distancia (m)	65
pendiente %	3,077

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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_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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona I.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	978
pendiente %	0,767

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	10
pendiente %	25,000

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 32{,}6$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)	R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36	1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82	1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10	1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10	1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona J.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	951
pendiente %	0,789

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,00
distancia (m)	80
pendiente %	2,500

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 3{,}2$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W = k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w = 1 - W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona K.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	715
pendiente %	1,049

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	87
pendiente %	2,874

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = 2,7$$

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^{-3}

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

Zona L.

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

pendiente playa húmeda	
profundidad (m)	7,50
distancia (m)	681
pendiente %	1,101

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

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

La pendiente de la playa seca es:

pendiente playa seca	
altura máx. playa (m)	2,50
distancia (m)	49
pendiente %	5,102

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 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}
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18

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

- Factor por pendiente:

$$\gamma_b=\frac{\tan\alpha}{\tan\beta}=4,6$$

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 el valor 0,01 de dicho intervalo por ser el valor medio del mismo. Aplicando la siguiente formulación se obtiene el coeficiente de percolación (W) medio y, por tanto, un factor medio de percolación (γ_w) en la zona:

$$W=k \Rightarrow 0{,}01 \text{ cm/s}$$

$$\gamma_w=1-W \Rightarrow \gamma_w = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$$

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:

$$R_u = R_{uo} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_w = R_{uo} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99$$

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

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

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32

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

Hora	Día	Mes	Año	Hs	Tp (s)	Dir °	S_{REDMAR} (cm)	S_{REDMAR} (m)	S_{NM}	L (m)		R_{uo}	R_U	$Ru_{2\%}$ (m)	S_{CI} (m)
17:00	1	11	2015	5,36	10,45	115	117,3	1,173	0,742	170,36		1,21	1,20	2,37	3,11
3:00	11	10	2008	5,35	9,93	108	112,0	1,120	0,689	153,82		1,15	1,14	2,25	2,94
3:00	25	3	2022	4,89	11,01	110	98,0	0,980	0,549	189,10		1,22	1,20	2,38	2,93
15:00	4	4	2022	4,62	11,01	110	102,0	1,020	0,589	189,10		1,18	1,17	2,32	2,91

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 esta zona del tramo de la costa en estudio del término municipal de Málaga es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 que alcanzó su mayor intensidad a las 17:00 horas con una cota de inundación de unos 3,11 m.n.m.a.

Por lo tanto, este temporal de noviembre de 2015 será el que se desarrolle en el punto 7.4.2 donde se calcula el desplazamiento de la ola por la playa seca, por considerarse el mayor temporal conocido en esta zona desde que existen registros de boyas y con el que se tendrá una visión de la inundación de los terrenos en este sector del litoral.

7.4.2 *Estimación del desplazamiento de la ola por la playa seca en el año 2070*

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

Según el C.E.M. es necesario obtener la altura de ola significante 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:

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

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 y han sido medidos, recordemos, desde la cota 0 (línea de agua) estimada para el año 2030 teniendo en cuenta la regresión de la costa y el aumento del nivel del mar por efecto del cambio climático.

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 de rotura db, que se obtiene mediante la fórmula:

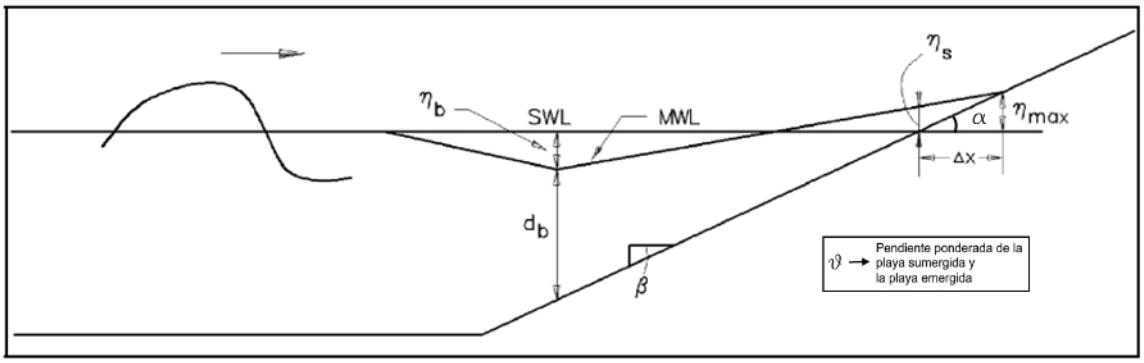
$$db = \frac{H_b}{\gamma_b^2}$$

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

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

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

Así, aplicaremos este sistema de fórmulas del C.E.M. para los datos del temporal más severo desde que hay registros, considerando que éste es aquel cuya cota de inundación (calculada en el punto 7.4.1) es el de mayor valor, es decir, aquel temporal cuyo valor de S_{ci} es mayor.



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

A continuación, se desarrollan los cálculos para cada transecto.

Zona A:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0024
ηs	1,23

ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,30
tanα	0,057
tanβ	0,012
tanϑ	0,015

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 97,33 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 97,33 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona B:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 2,98 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0023
ηs	1,23
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,33
tanα	0,011
tanβ	0,011
tanϑ	0,011

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 137,46 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 137,46 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona C:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0022
ηs	1,22
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,34
tanα	0,022
tanβ	0,011
tanϑ	0,013

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 117,69 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 117,69 metros según indican los cálculos teóricos de alcance

descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona D:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0021
ηs	1,22
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,35
tanα	0,033
tanβ	0,011
tanϑ	0,014

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 106,57 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 106,57 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona E:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0019
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,39
tanα	0,111
tanβ	0,009
tanϑ	0,012

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 124,19 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 124,19 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona F:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080

Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0017
ηs	1,22
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,41
tanα	0,074
tanβ	0,009
tanϑ	0,011

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 134,15 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 134,15 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona G:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 2,40 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0016

ηs	1,21
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,43
tanα	0,006
tanβ	0,008
tanϑ	0,007

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 211,42 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 211,42 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona H:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0016
ηs	1,21
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,44
tanα	0,031
tanβ	0,008
tanϑ	0,009

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 154,37 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 154,37 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona I:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0015
ηs	1,21
ηb	-0,30
γb	0,80
db	7,45
tanα	0,250
tanβ	0,008
tanϑ	0,010

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 140,74 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 140,74 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona J:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0015
ηs	1,21
ηb	-0,30
γb	0,81
db	7,44
tanα	0,025
tanβ	0,008
tanϑ	0,009

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 158,30 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 158,30 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona K:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0021
ηs	1,22
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,36
tanα	0,029
tanβ	0,010
tanϑ	0,012

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 117,84 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 117,84 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

Zona L:

Como ya se ha visto en el apartado 7.4.1, el mayor temporal conocido en esta zona, desde que existen registros de boyas, es el acontecido el 1 de noviembre de 2015 con una cota corregida de inundación de 3,11 m.n.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 C.E.M.

Los datos de partida para los cálculos son:

Punto SIMAR	2031080
Fecha máx. temporal	01/11/2015
Hs	5,36
Tp	10,45
L	170,36

Resultando, tras la aplicación de la formulación anteriormente descrita:

Ωb	1,12
Hb	6,00
dη/dx	0,0022
ηs	1,22
ηb	-0,31
γb	0,82
db	7,34
tanα	0,051
tanβ	0,011
tanϑ	0,014

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

$$\Delta x = \frac{\eta_s}{tan\vartheta - \frac{d_\eta}{d_x}}$$

Arroja un resultado de 106,54 metros tierra adentro desde la línea de agua. Es decir, esa distancia es el lugar hasta donde alcanzaría el agua del mar, según las cartografías utilizadas, con unas pendientes constantes, y un oleaje regular durante el máximo temporal conocido desde que existen registros.

Por tanto, podemos decir que el oleaje generado durante el temporal del día 1 de noviembre de 2015 en esta zona se habría adentrado hasta los 106,54 metros según indican los cálculos teóricos de alcance descritos en el manual de ingeniería de costas (CEM), usando como datos de partida los registros tomados por las boyas y el modelado numérico del oleaje y viento de los puntos SIMAR de Puertos del Estado, y asimilando la zona de costa en estudio como un sector homogéneo con oleaje regular durante el evento del mayor temporal como modelo simplificado del terreno costero para la realización estos cálculos y considerando la cota cero o línea de agua la resultante de la estimación a 50 años de la regresión de la costa incrementada con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático, estimado éste en 31 cm de media.

7.4.3 *Discusión de los resultados para el año 2070*

Teniendo en cuenta estos valores de alcance obtenidos para cada transecto, se puede representar en el mapa el alcance de la inundación teórica en el año 2070 (según el método del C.E.M.) así como la cota de inundación (según Nielsen-Hanslow), teniendo en cuenta tanto la regresión de la costa como la elevación del nivel del mar por los efectos del cambio climático.

Representación gráfica de los alcances calculados mediante el método del C.E.M. (en fucsia) 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 de la inundación (sin tener en cuenta obstáculos cuya altura no esté cartografiada como curva de nivel, ni las superficies cuyos terrenos estén más bajos colindantes a los que si llega el agua y que por gravedad se desplazaría e inundaría también esos terrenos bajos), pues la forma del perfil medio de la playa relaciona las distancias en vertical y en horizontal de la inundación desde los puntos extremos de la medición.

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:

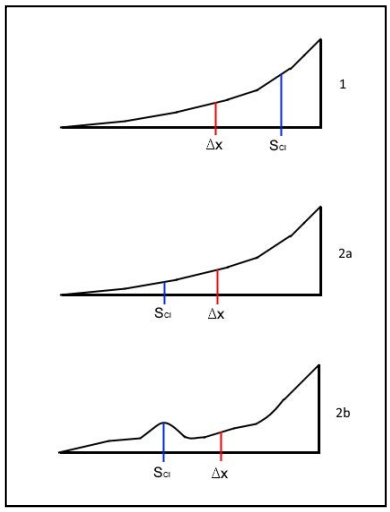
1 – La cota de inundación (S_{CI}), según la topografía del terreno, se ubica más al interior que el alcance de la inundación (Δx).

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.

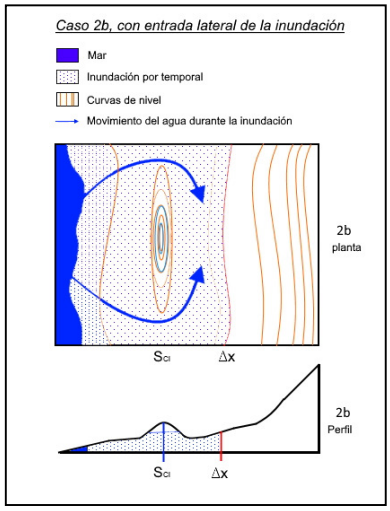
Esquemáticamente:



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).

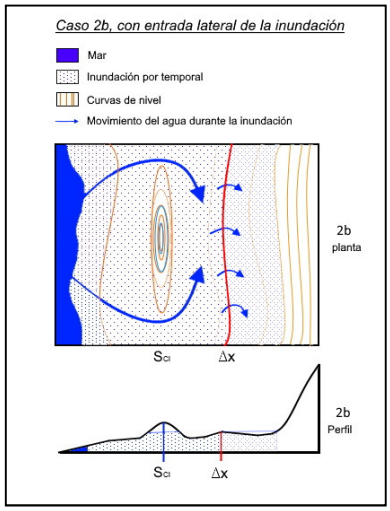
En el caso de encontrarnos con el supuesto 2a, es decir, el límite interior del alcance (Δx) se ubica más al interior que la inundación arrojada por el valor de la cota de inundación (S_{CI}) en un terreno que va ascendiendo de manera constante desde la línea de agua hacia el interior, se considera que 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:



Una variante de este último caso, habitual en los terrenos que abarca este estudio de regresión de la costa, es que los terrenos más al interior del alcance de las olas (Δx) siguen siendo bajos por lo que el agua, por la gravedad y sus características de fluido, se extiende por esos terrenos hasta donde la

topografía del suelo vuelve a ascender, por lo que la extensión de la inundación ha de estudiarse en cada caso concreto ya que el agua avanzará incluso más allá de esa línea teórica Δx. 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 (S_{CI}), por distancia (Δx) o por distancia y extensión por terrenos bajos, en cada uno de los casos de los terrenos estudiados.

En las representaciones gráficas anteriores se han mostrado las líneas que marcan la cota de inundación calculada mediante la formulación de Nielsen-Hanslow y el alcance de la inundación calculada por el método de C.E.M.

En la zona de influencia del transecto A, la cota de inundación es de 3,11m por lo que siendo terrenos bajos que en su mayor parte están por debajo de los 3 metros de altitud, la cota de inundación se ubica en el fondo de los terrenos denominados "La Cizaña". El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a algo más de 97 metros de la línea de agua estimada para el año 2070 situándose, aproximadamente en la zona con vegetación de "La Cizaña" y que en tiempos pasados fue una zona húmeda vinculada a la desembocadura del arroyo encauzado dentro de los terrenos del campo de golf; donde los terrenos descienden al interior de una explanada usada como aparcamiento de vehículos, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' antes comentada siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje en 2040 según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la

gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota máxima que alcanza el oleaje (3,11m) supera la cota máxima del terreno (2,5m) hasta alcanzar su límite interior (Δx). Más al interior desciende hasta los 1,5 metros por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la cota más alta inundada según Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico (Δx).

En la zona B, la cota de inundación es de 2,98m por lo que siendo terrenos bajos que están por debajo de los 3 metros de altitud, la cota de inundación se encuentra en el fondo de los terrenos denominados "La Cizaña" y en el pequeño residencial "La Cizaña". El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a casi 138 metros de la línea de agua estimada para el año 2070 situándose, aproximadamente en la parte media de una zona de aparcamiento de arena compactada junto al vial que da acceso a la playa de "La Cizaña", por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota máxima del terreno del sector es superada hasta alcanzar su límite interior (Δx) que se encuentra aproximadamente en los 2 metros descendiendo al interior hasta los 1,5 metros por lo que la gravedad impulsa el agua que ha llegado hasta la cota más alta inundada según Δx hacia el interior por ser terrenos más bajos contiguos y por tanto formando balsas de agua de mar más al interior del alcance del oleaje teórico.

La zona C los cálculos del alcance del oleaje se han realizado para el cauce existente en la zona oeste del Parador de Golf, la cota de inundación es de 3,11m. el cauce, al ser un terreno bajo la cota de inundación se sitúa según la topografía en la rotonda del vial de acceso al Parador de Golf siendo este punto el parte en la que se descubre el cauce ya que aguas arriba queda soterrado por los viales estando la cota de 3,11m en dicha rotonda. El alcance de las olas (Δx) en el cauce se ubica a los casi 118 metros de la línea de agua, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos del cauce comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos una fotografía satelital del día 21 de abril de 2022, (imagen de la izquierda) dos semanas después del cuarto mayor temporal ocurrido en la zona desde que se tienen registros numéricos de boyas o satélites. En esta imagen se observa que el agua remontó por el cauce hasta prácticamente la rotonda de acceso manteniéndose embalsada en el cauce porque el arenal de la playa cierra la desembocadura de dicho cauce tras el paso del temporal y la disminución de la fuerza del oleaje.

En la zona D, la cota de inundación es de 3,11m. En la playa en este sector se estima que haya desaparecido en el año 2070 adentrándose el mar en los terrenos del campo de golf debido a la regresión costera y el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático situándose a unos 80 metros del edificio del Parador Nacional. Los terrenos tienen cotas de unos 2 metros o inferiores excepto en el propio edificio que se eleva hasta los 3,5 metros de cota. El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a más de 106 metros de la línea de agua situándose en el borde de la piscina del Parador Nacional, por tanto, estaríamos en la hipótesis '2a' en el recinto del edificio mientras que en el resto del sector, dada la morfología del terreno sin obstáculos para el oleaje, la hipótesis de trabajo es la '1' por lo que en el recinto del edificio la extensión de la inundación viene dada por la cota de inundación mientras que en el resto del terreno de la zona es el alcance del oleaje el que marca la extensión teórica de la inundación (antes de valorar posibles inundaciones por la topografía del terreno).

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota máxima del terreno alcanzado por el oleaje es por una parte los terrenos del edificio del Parador, que no superados por la inundación mientras que el resto, dado que el alcance del oleaje llega hasta la cota 2m, se inundan los terrenos llanos colindantes.

En la zona E, la cota de inundación es de 3,11m. situándose la línea de agua en el año 2070 en el interior del actual campo de golf. Adentrándose por estos terrenos que forman parte del campo de golf sus cotas van desde los 2 metros hasta los 1,5 metros aumentando posteriormente hasta los 3 metros a unos 250 metros de la línea de agua.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a más de 124 metros de la línea de agua situándose en el interior del campo de golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' anteriormente expuesta, siendo el parámetro del alcance de las olas la extensión numérica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que la cota máxima del terreno que alcanza el oleaje y que es superado hasta alcanzar su límite interior (Δx) es de unos 2 metros descendiendo en diversas cubetas a los 1,5 metros. Más al interior del límite del alcance del oleaje, Δx, contiguos a éstos, los terrenos se mantienen llanos en los 2 metros para posteriormente ascender progresivamente hasta los 3,5 metros por lo que no es descartable la inundación de estos terrenos llanos.

En la zona F, la cota de inundación es de 3,11m, la regresión de la costa y el cambio climático ha ocasionado que en esta zona la línea de agua del año 2070 se posicione más al interior del vallado actual del campo de golf. Donde los terrenos llegan a descender hasta los 1,5 metros, e incluso hasta el metro en algunos puntos.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 134 metros de la línea de agua estimada para el año 2070 situándose muy en el interior del campo de golf, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' anteriormente expuesta por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos.

En este caso tenemos que puede penetrar fácilmente el oleaje al interior del campo de golf ya que no existe cordón dunar que proteja contra el oleaje en el año 2070 por lo que las olas llegan sin obstáculos al menos hasta el alcance del oleaje calculado, Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua penetra a los terrenos llanos situados al interior del Δx.

En la zona G los cálculos del alcance del oleaje se han realizado para el cauce existente al este del campo de golf del Parador, la cota de inundación es de 2,40m. El cauce, al ser un terreno bajo, la cota de inundación se sitúa, según la topografía, en el fondo de los terrenos de Arraijanal, coincidente con el soterramiento de este encauzamiento bajo los viales existentes en la zona. El alcance de las olas (Δx) en el cauce se ubica a más de 211 metros de la línea de agua estimada para el año 2070, por tanto, estaríamos en la hipótesis '1' arriba expuesta siendo este último parámetro el que indicaría la extensión de la inundación según los cálculos numéricos.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos del cauce comparando la cota en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

En este caso tenemos que la cota en la desembocadura del encauzamiento es de apenas 0,5 metros en el año 2070, aunque esta altura es variable según las condiciones meteorológicas ya sean lluvias, oleaje o viento que condicionan la morfología de la arena de la playa (si existe en el año 2070) en este punto. Aun así, según la topografía del terreno y los cálculos de cota de inundación, ésta es más alta de la altura de la arena en la desembocadura. Más al interior, la cota del fondo del cauce se sitúa entre los 0,5 y 1,0 metros, por lo que, una vez superada la desembocadura el agua del mar remonta por el cauce dada la escasa cota del fondo del encauzamiento. La cota del alcance del oleaje calculado mediante el método del C.E.M. es 0,5 metros por lo que es evidente que toda el agua marina que remonta, se acumula, no solo hasta este punto (Δx) sino que es superado dada la planicie del ese terreno, es decir, se adentra aún más al interior. Esto se puede observar en la fotografía satelital del día 21 de abril de 2022, es decir, tomada dos semanas después del cuarto mayor temporal ocurrido en la zona desde que se tienen registros numéricos de boyas o satélites. En esta imagen se observa que el agua remontó por el cauce hasta prácticamente el fondo de los terrenos de arena de Arraijanal donde existe un vial asfaltado.

En la zona H, la cota de inundación es de 3,11m. La línea de agua en 2070 se sitúa en los terrenos del aparcamiento sobre la arena que había en el año 2020. Al interior, los terrenos que la zona denominada "Arraijanal" se mantienen entre la cota 2m y cota de 1,5 metros excepto un acceso a costa rodado, que está algo más elevado para evitar su inundación y los terrenos más interiores que ascienden progresivamente hasta los 3,50 metros pero ya a una distancia de 200 metros de la línea de agua estimada para el año 2070.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 154 metros de la línea de agua que se adentra al interior durante los temporales por la inexistencia de obstáculos que impidan su avance natural. Dado que la cota de inundación se sitúa más al interior que el alcance del oleaje nos encontraríamos con la hipótesis de trabajo '1' por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha realizado en el punto 6.

En este caso tenemos el oleaje no tienen impedimentos para penetrar tierra adentro hasta, al menos, el alcance del oleaje calculado, Δx, teniendo en este punto cota 2,5m siendo un terreno llano más al interior, se entiende que el agua penetra más allá de Δx por simple gravedad, rellenando los terrenos bajos interiores o, al menos, aquellos que tienen la misma cota que el alcance del oleaje.

En la zona I, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno en aquí es similar a la zona anterior situándose la línea de agua estimada para el año 2070 ya en los terrenos llanos de "Arraijanal". Al interior, la cota del terreno se sitúa entre los 1,5 metros y los 2 metros. Los terrenos más interiores ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,50 metros.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a casi 141 metros desde la línea de agua de 2070, situándose más al exterior que la cota de inundación por lo que en este sector la hipótesis de trabajo es la '1' por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos del mismo modo que se ha hecho en el punto 6.

Aquí tenemos que el oleaje puede penetrar fácilmente al interior al carecer de obstáculos y desarrollarse de forma natural el avance del mar durante los temporales hasta, al menos Δx, a partir de ahí y con la energía que trae el agua sumado a que la cota es baja (1,5m en muchas zonas), el agua penetra a los terrenos más al interior del Δx.

En la zona J, la cota de inundación es de 3,11m. La configuración del terreno aquí es similar a la zona anterior. Al interior, los terrenos de la zona denominada "Arraijanal", entre la línea de agua y el alcance del oleaje entre la cota 2 metros y la cota 1,5 metros. Los terrenos más interiores ascienden de nuevo progresivamente hasta los 3,0 metros en la zona donde desde tiempos muy recientes se está construyendo la ciudad deportiva del equipo de futbol de Málaga donde se han realizado importantes movimientos de tierras.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a 158 metros de la línea de agua de 2070 estimada. La hipótesis '1' es la que describe la zona por lo que el parámetro del alcance de las olas (Δx) indica la extensión teórica de la inundación.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos como se ha hecho en el punto 6.

En este sector tenemos que la cota del terreno se mantiene en aproximadamente 2 metros, además, el terreno es perfectamente superado por las olas por la inexistencia de obstáculos que reduzcan su energía hasta, al menos el alcance del oleaje calculado (Δx). Los terrenos ubicados al interior de este límite teórico se encuentran a cota 2 metros en una planicie para luego ascender progresivamente hasta los 3,5m por lo que se considera plausible la inundación de los terrenos más al interior del alcance del oleaje calculado al menos esos terrenos llanos interiores.

En la zona K, la cota de inundación es de 3,11m. El terreno en esta zona está completamente antropizado. Se trata de una urbanización con edificaciones residenciales y hoteleras. En el año 2070 debido al aumento del nivel del mar a causa del cambio climático y por el proceso de regresión de la costa local, la línea de agua se estima que llegaría a situarse en el borde del edificio del hotel situado

a poniente del sector e inundando ya las primeras edificaciones de los residenciales más cercanos a la costa (si es que aun existiesen en el año 2070).

Los terrenos correspondientes a esta zona tienen dos configuraciones distintas. En el hotel ubicado en la zona de poniente los terrenos junto a la línea de agua estimada para el año 2070 tienen una cota de 3 metros. En el resto de la zona la línea de agua se sitúa en las edificaciones existentes en el año 2020 tienen una cota máxima de 2,5 metros descendiendo por las calles que se dirigen al interior por tener cotas de 1,5 metros.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a casi 118 metros de la línea de agua situándose en 2070 en el interior de la urbanización Guadalmar, prácticamente en la primera calle paralela a la costa.

En la zona del hotel de poniente, la cota de inundación se encuentra más al exterior que el alcance de la inundación por lo que nos encontramos con la hipótesis '2', en este caso, al tener una pendiente superior se considera la '2a' exclusivamente en el recinto del hotel; habrá que tener en cuenta más adelante la posible inundación de los terrenos más al interior que tienen cota inferior por el avance del agua por gravedad y/o procedente de otras zonas. En el resto de la zona, la cota de inundación se encuentra mucho más al interior que el alcance del oleaje por lo que se trata de la hipótesis '1'.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow
(azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, cubetas, etc. contiguos como se ha hecho en el punto 6.

En este sector tenemos que los únicos obstáculos que encontraría el mar en su avance hacia el interior durante un temporal serían los propios edificios ya que no existirían zonas que frenasen el mar en las calles perpendiculares a la costa, adentrándose el mar por ellas.

En la zona L, la cota de inundación es de 3,11m. El terreno en esta zona está completamente antropizada al igual que la zona anterior por ubicarse en la misma urbanización. Se trata de una urbanización con edificaciones residenciales y hoteleras.

El alcance de las olas (Δx) en esta zona se ubica a más de 106 metros de la línea de agua estimada para el año2070, situándose en el interior de los residenciales de primera línea de costa.

En este sector la cota de inundación (3,11m) se encuentra muy al interior de los terrenos urbanizados mientras que el alcance se sitúa más al exterior por lo que en este caso se considera la hipótesis '1' como la que se ajusta a estas características.

Representación de la cota de inundación según Nielsen-Hanslow (azul) y el alcance del oleaje según C.E.M. (fucsia)

A partir de aquí es necesario comprobar la cota de los terrenos comparando la altitud en la zona inundable según el alcance del oleaje y los terrenos al interior por si se da el caso de que, por efecto de la gravedad, el agua que alcanza esa distancia se adentra más al interior rellenando terrenos bajos, calles, jardines etc. contiguos.

En este sector tenemos que la cota máxima de los terrenos entre la línea de agua y el alcance del oleaje teórico es de 2,5m, más al interior de esta línea teórica los terrenos, principalmente los viales, mantienen su superficie a cotas iguales a las del límite del alcance teórico, luego se entiende que el agua continuará invadiendo estos terrenos llanos por el aporte continuo de oleaje durante los temporales.

Una vez analizados pormenorizadamente todos los sectores del tramo en estudio se representan en el siguiente mapa las superficies probablemente inundables según los cálculos de cota de inundación, alcance de la inundación y el análisis de dichos resultados cruzados con la topografía del terreno durante los mayores temporales registrados en la zona como estimación para el año 2070:

Superficie inundable durante el mayor temporal registrado en la zona realizado mediante calculos de cota de inundacion y de alcance del dique, y segun la topografia del terreno
0
137,5
275
550
825
1.100
Metros

7.5 Planos

línea de agua media en 2030
línea de agua media en 2040
línea de agua media en 2070

0 137,5 275 550 825 1.100
Metros

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

DEMARCACIÓN DE COSTAS ANDALUCÍA-MEDITERRÁNEO MÁLAGA

FECHA: febrero 2024
Escala: 1:8.000

Estimación de la línea de agua a causa de la regresión de la costa y el aumento del nivel del mar por el cambio climático

Málaga: Límite TM Torremolinos - desembocadura Guadalhorce

Elaborado por: Tragsatec

GOBIERNO DE ESPAÑA · VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO · SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE · DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR *DEMARCACIÓN DE COSTAS ANDALUCÍA-MEDITERRÁNEO MÁLAGA*	FECHA: febrero 2024 *Escala: 1:8.000*	Cálculo de extensión de la inundación en 2030 mediante el máximo temporal conocido hasta 2024	Málaga: Límite TM Torremolinos - desembocadura Guadalhorce	Elaborado por: Tragsatec

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

DEMARCACIÓN DE COSTAS ANDALUCÍA-MEDITERRÁNEO MÁLAGA

FECHA: febrero 2024
Escala: 1:8.000

Estimación para el año 2030 de la extensión de la inundación y la línea de agua por regresión y cambio climático

Málaga: Límite TM Torremolinos - desembocadura Guadalhorce

Elaborado por: Tragsatec

GOBIERNO DE ESPAÑA · VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO · SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE · DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR · *DEMARCACIÓN DE COSTAS ANDALUCÍA-MEDITERRÁNEO MÁLAGA*	FECHA: febrero 2024 *Escala: 1:8.000*	Cálculo de extensión de la inundación en 2040 mediante el máximo temporal conocido hasta 2024	Málaga: Límite TM Torremolinos - desembocadura Guadalhorce	Elaborado por: Tragsatec

GOBIERNO DE ESPAÑA · VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO · SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE · DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

DEMARCACIÓN DE COSTAS ANDALUCÍA-MEDITERRÁNEO MÁLAGA

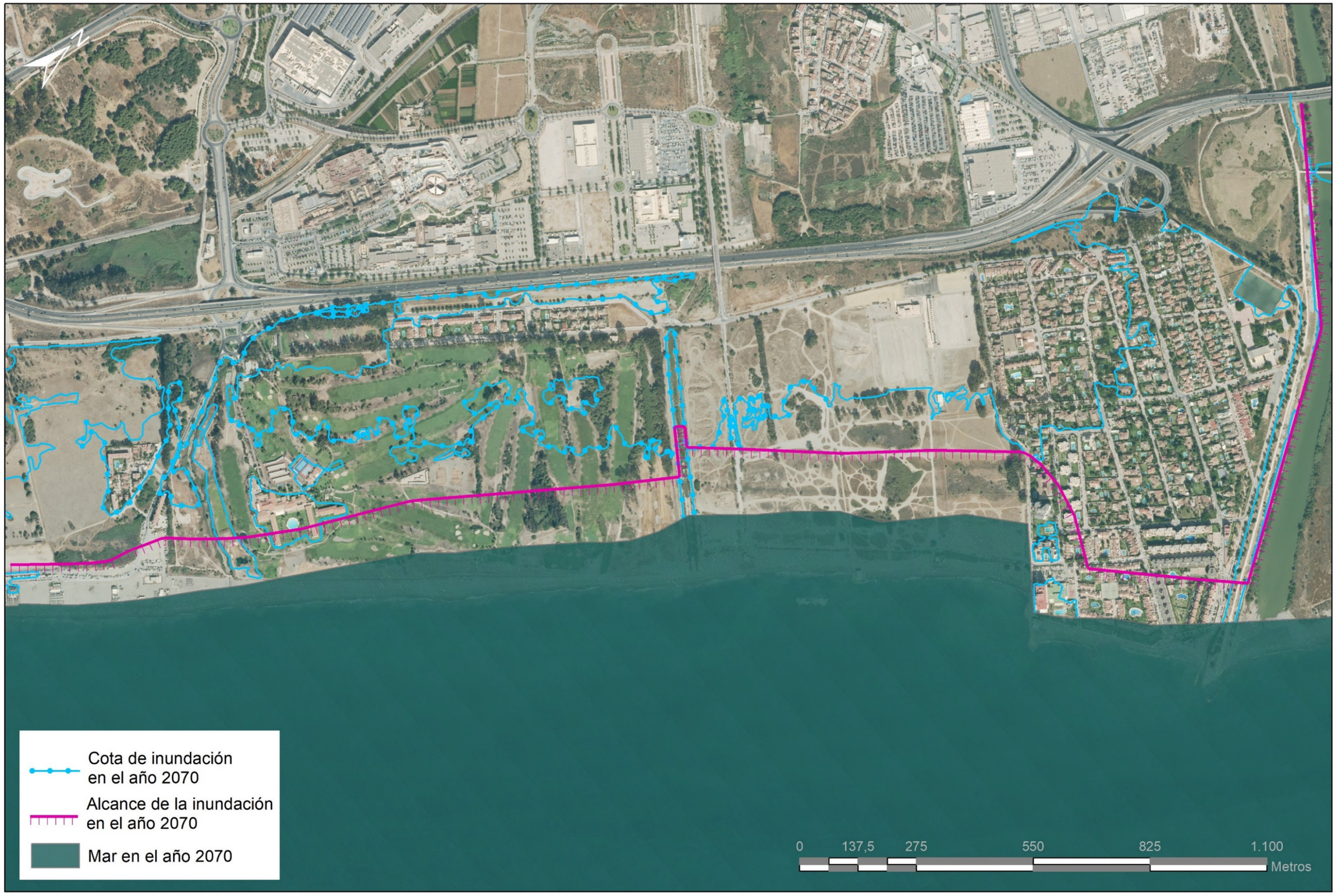
FECHA: febrero 2024

Escala: 1:8.000

Estimación para el año 2040 de la extensión de la inundación y la línea de agua por regresión y cambio climático

Málaga: Límite TM Torremolinos - desembocadura Guadalhorce

Elaborado por: Tragsatec



GOBIERNO DE ESPAÑA · VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO · SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE · DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR *DEMARCACIÓN DE COSTAS ANDALUCÍA-MEDITERRÁNEO MÁLAGA*	FECHA: febrero 2024 *Escala: 1:8.000*	Cálculo de extensión de la inundación en 2070 mediante el máximo temporal conocido hasta 2024	Málaga: Límite TM Torremolinos - desembocadura Guadalhorce	Elaborado por: Tragsatec

GOBIERNO DE ESPAÑA · VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO · MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO · SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE · DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

DEMARCACIÓN DE COSTAS ANDALUCÍA-MEDITERRÁNEO MÁLAGA

FECHA: febrero 2024

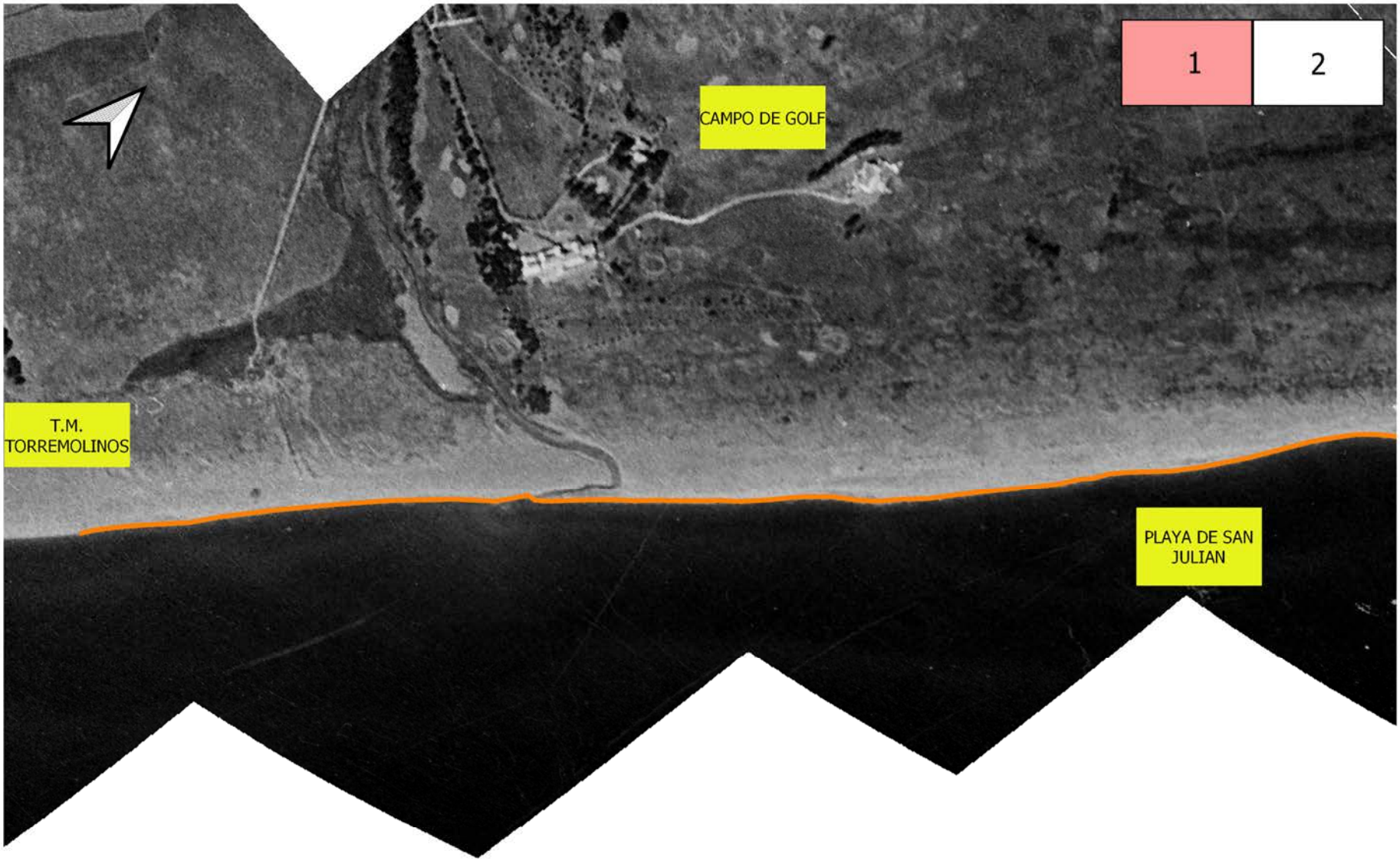
Escala: 1:8.000

Estimación para el año 2070 de la extensión de la inundación y la línea de agua por regresión y cambio climático

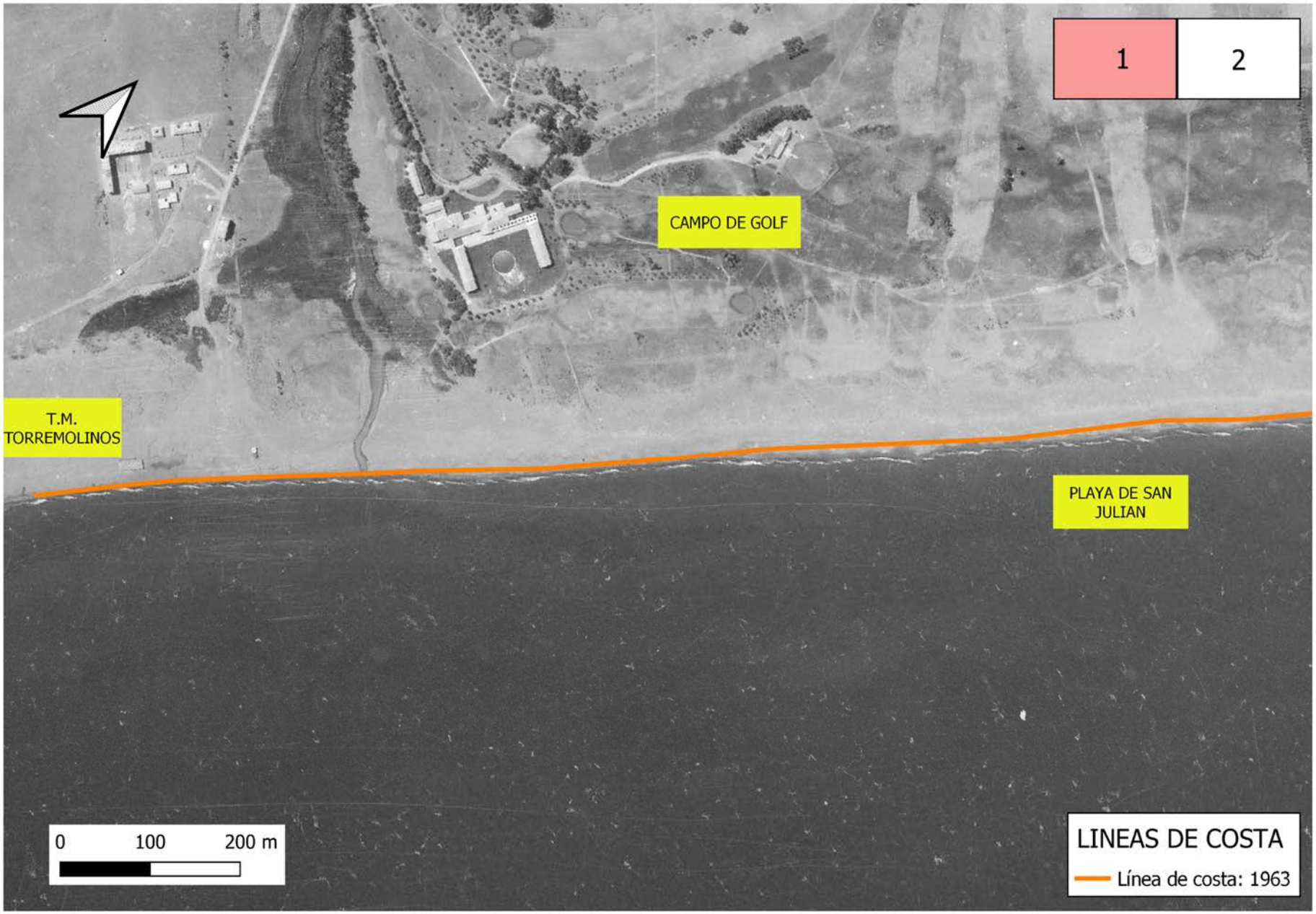
Málaga: Límite TM Torremolinos - desembocadura Guadalhorce

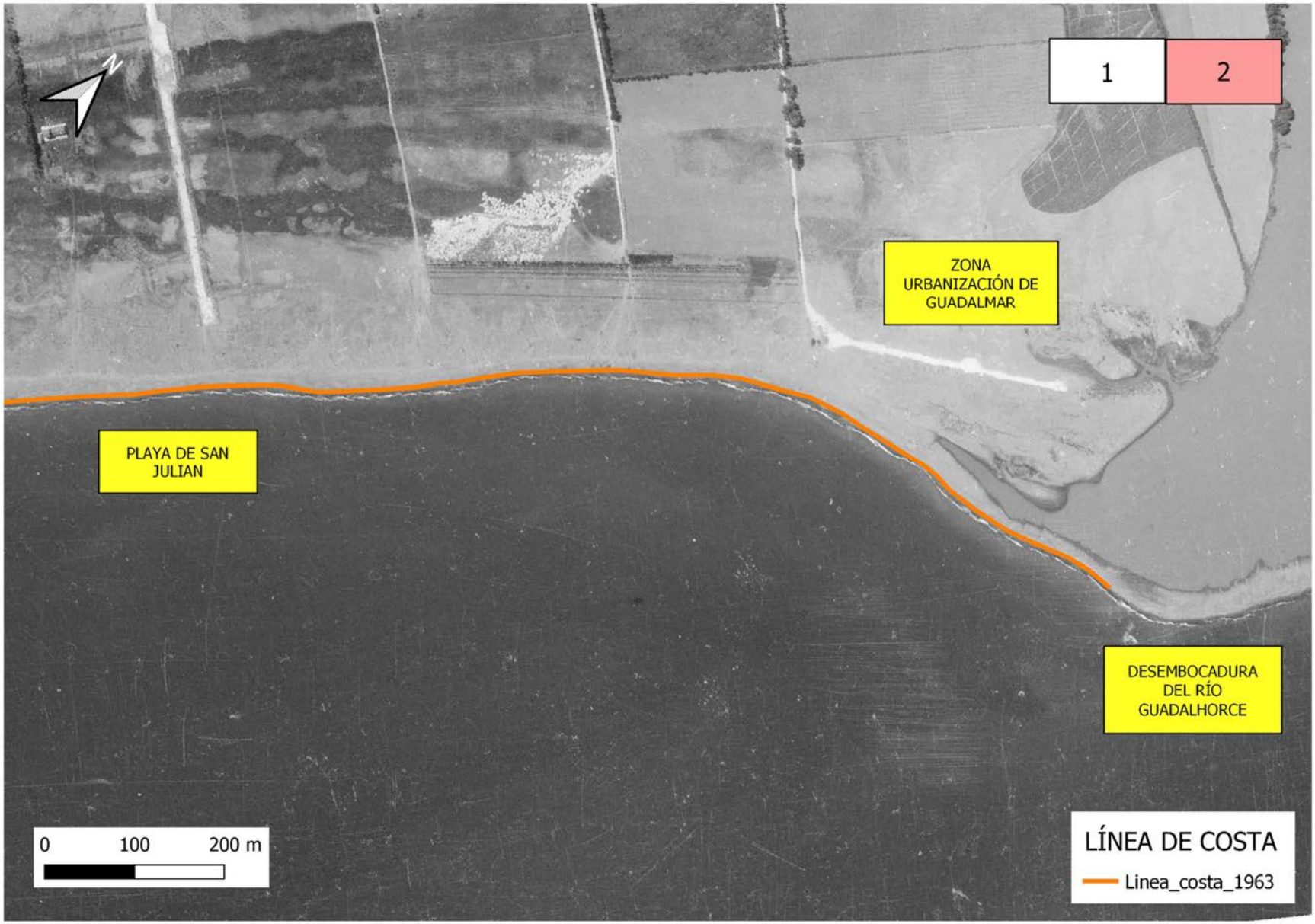
Elaborado por: Tragsatec

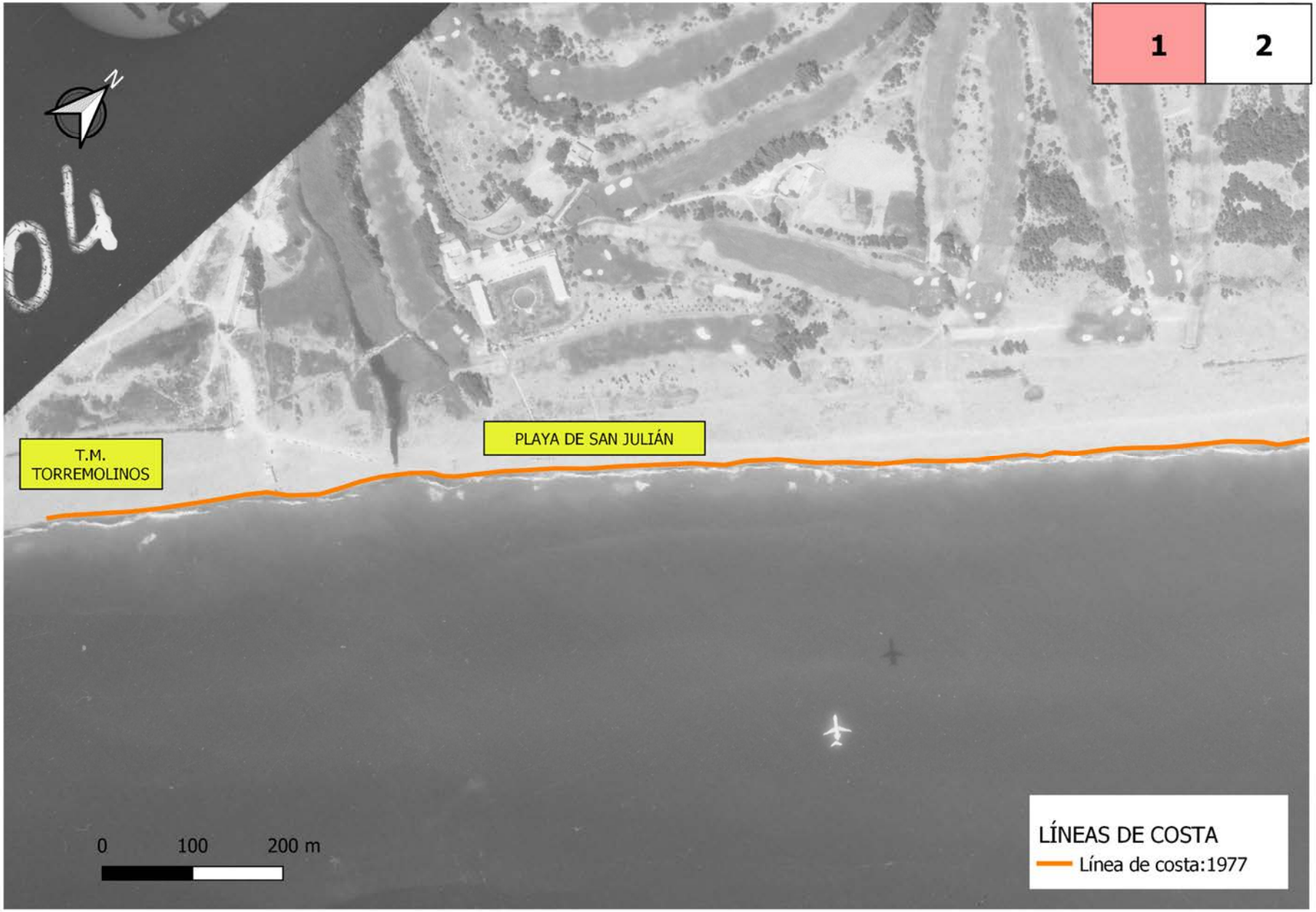
ANEXO 1: IMÁGENES DE LAS LÍNEAS DE COSTA ENTRE 1957 Y 2022

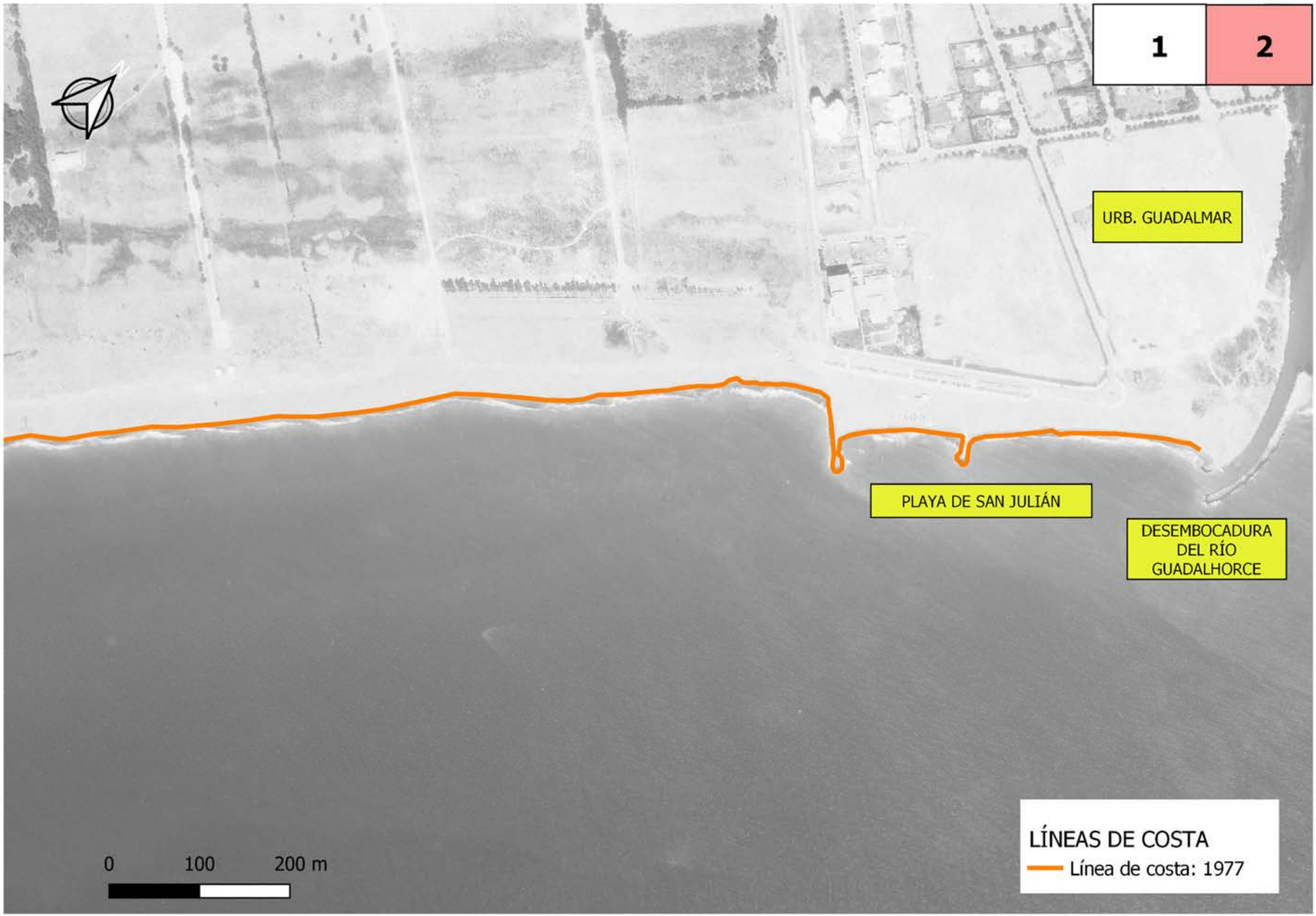

1
2
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN
JULIAN
0
100
200 m
LINEAS DE COSTA
Línea de costa: 1957

1
2
ZONA URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIAN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LINEAS DE COSTA
Línea de costa: 1957


1
2
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN
JULIAN
0
100
200 m
LINEAS DE COSTA
Línea de costa: 1963


1
2
ZONA URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIAN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Linea_costa_1963


1
2
04
N
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIÁN
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa:1977

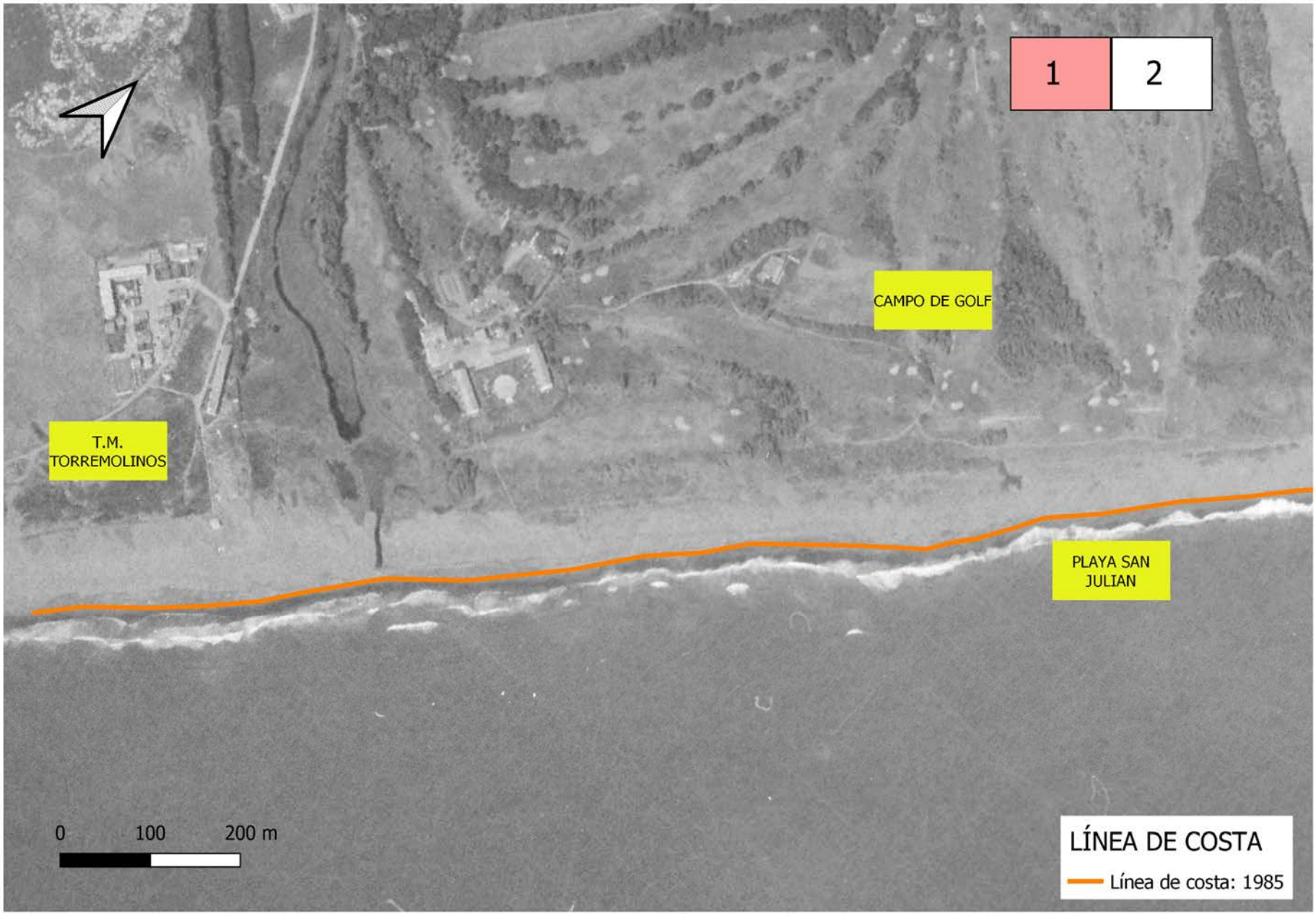

1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa: 1977

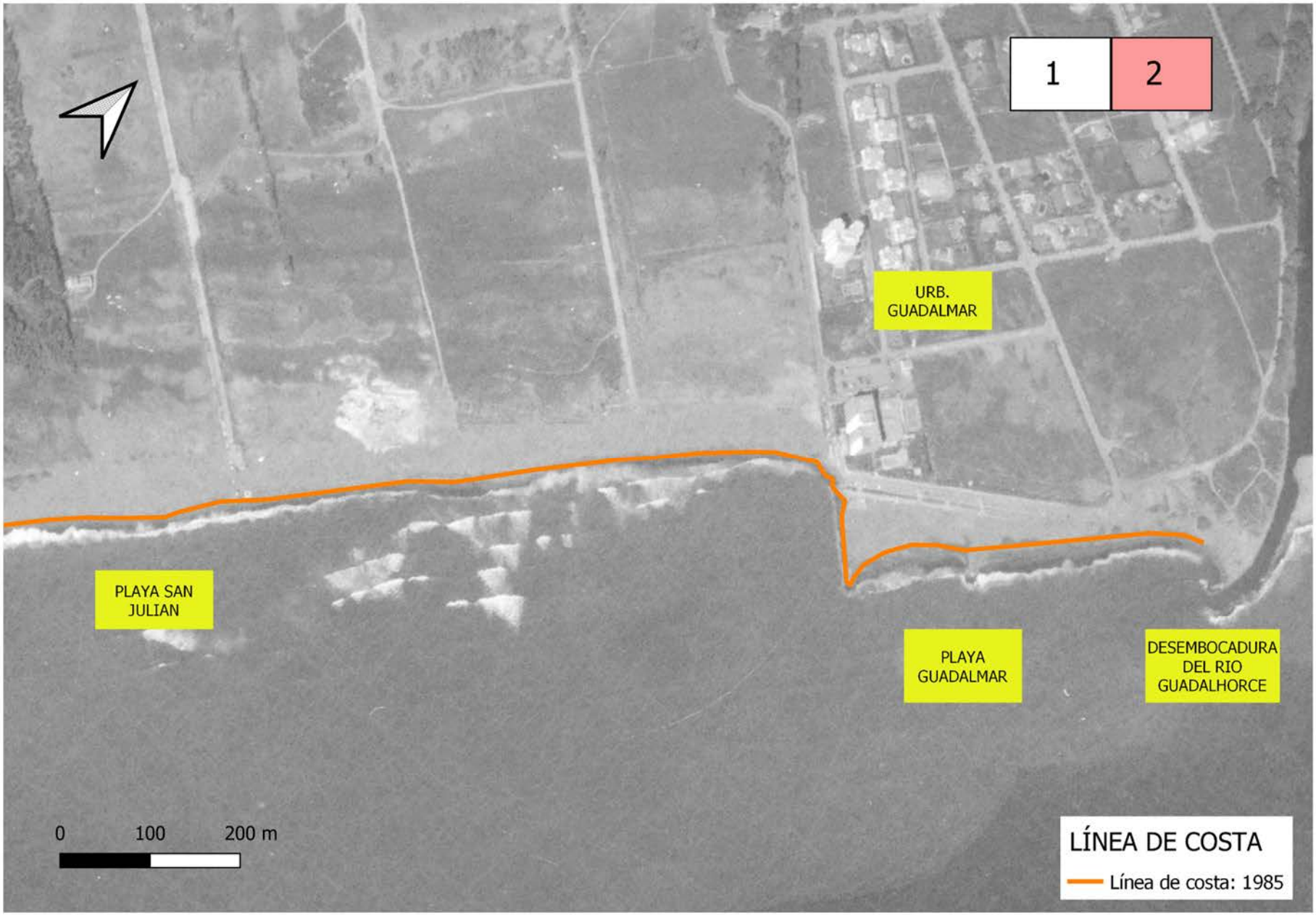
1
2
PLAYA DE SAN JULIÁN
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa:1982

1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1982
0
100
200 m

1
2
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1984

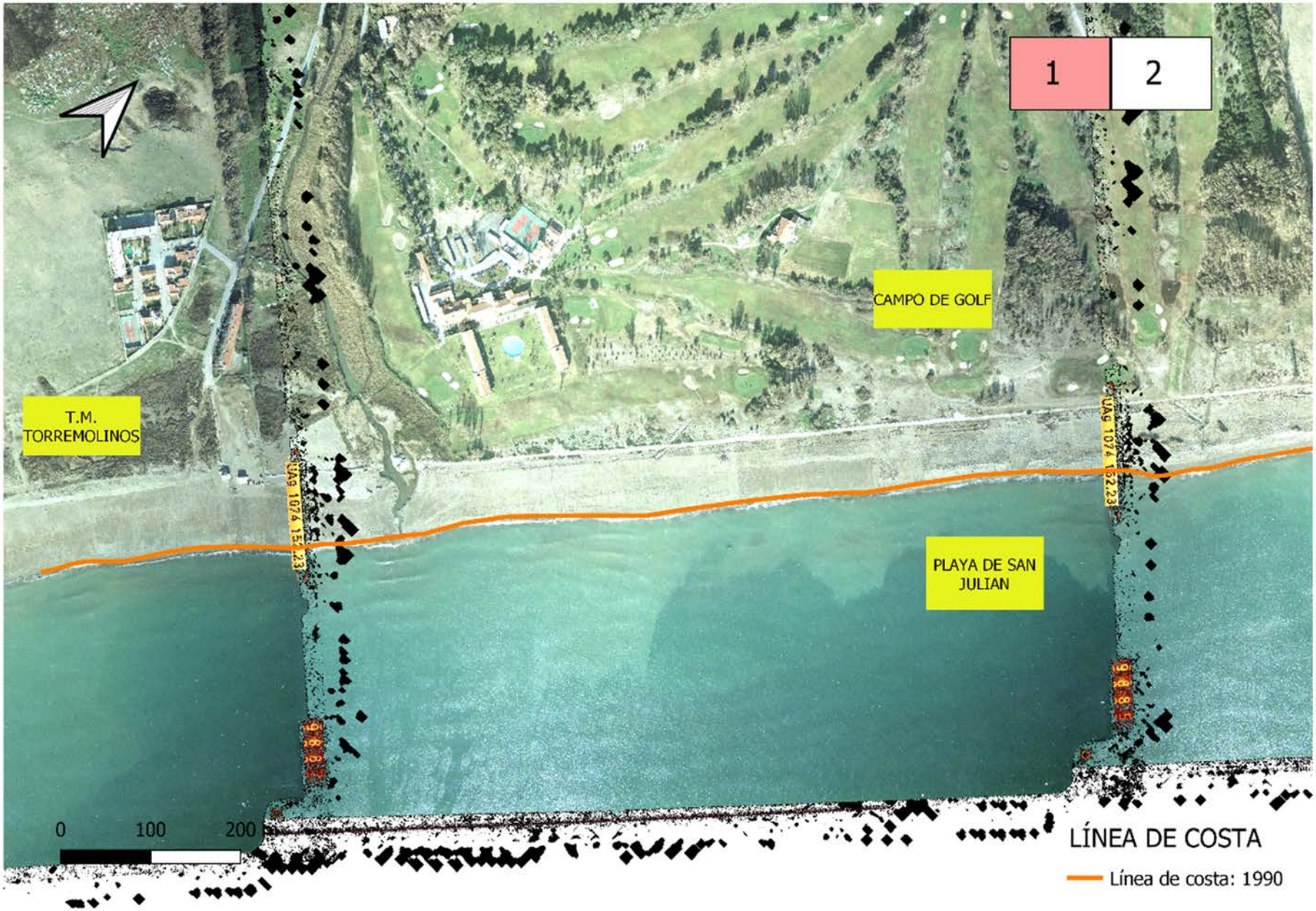
1
2
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1984

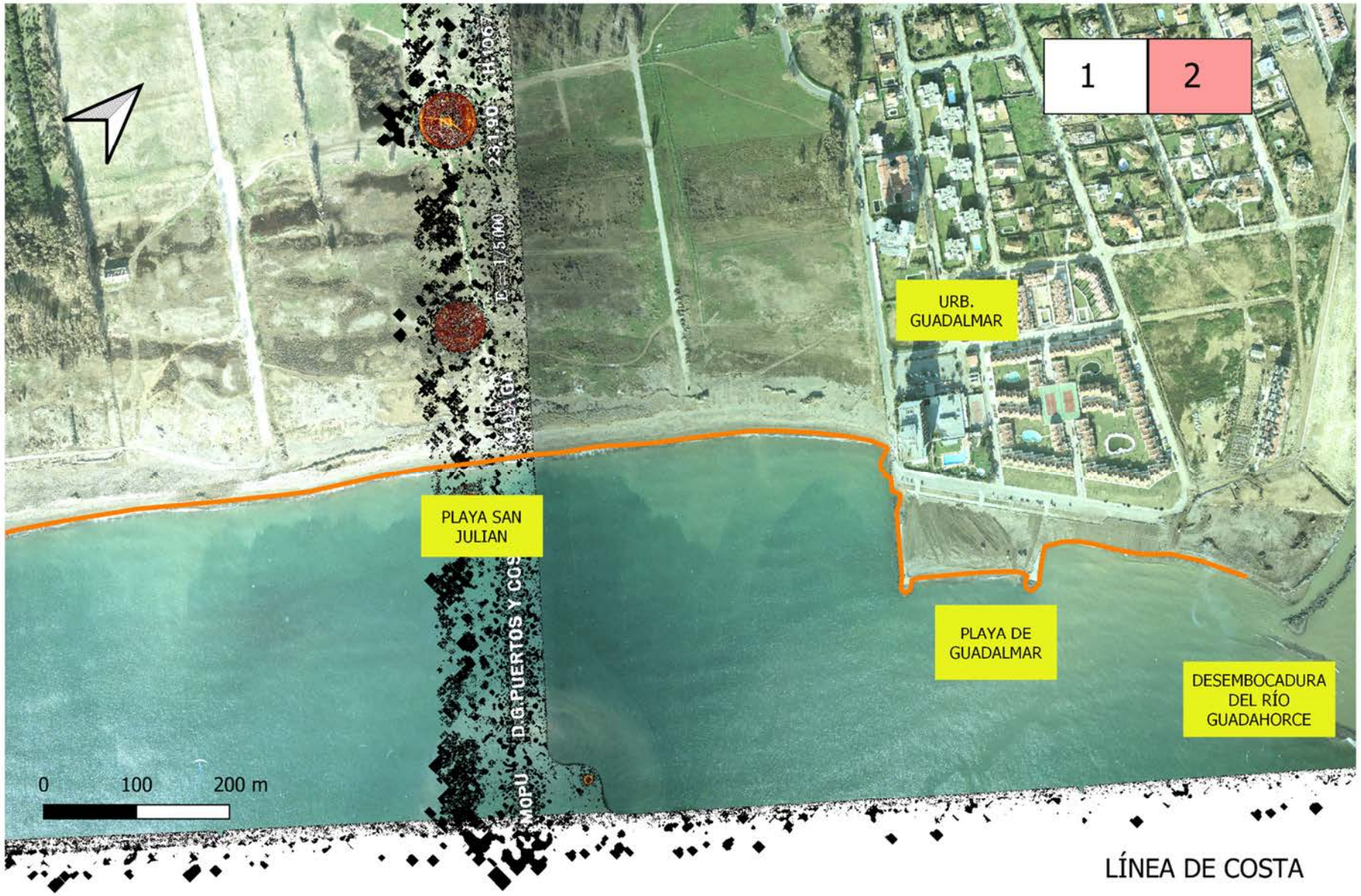

1
2
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA SAN
JULIAN
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1985

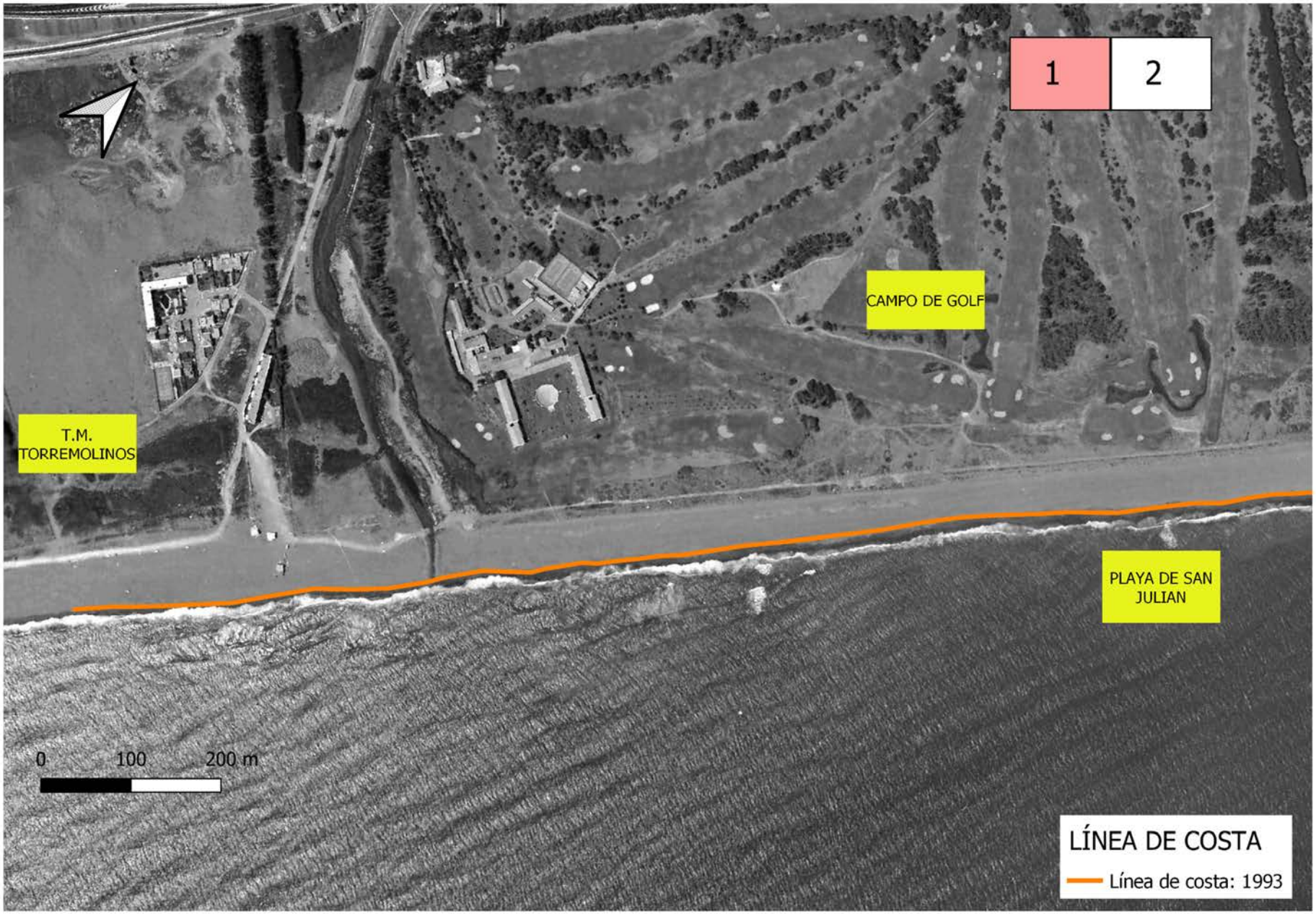

1
2
URB.
GUADALMAR
PLAYA SAN
JULIAN
PLAYA
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RIO
GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1985

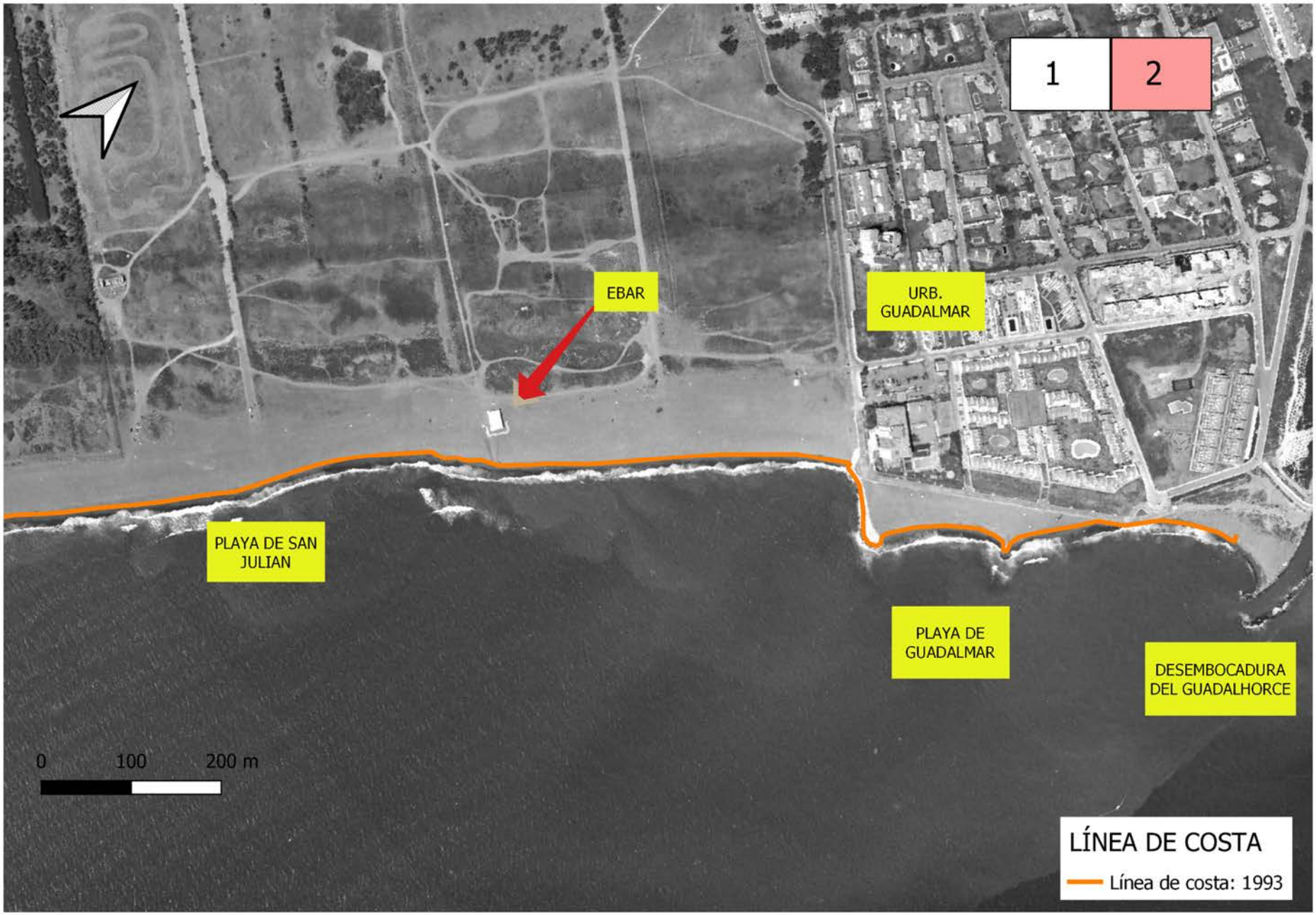
1
2
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN
JULIAN
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1987

1
2
URB.
GUADALMAR
PLAYA SAN
JULIAN
PLAYA
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RIO
GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1987


1
2
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN
JULIAN
0
100
200
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1990


1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA SAN JULIAN
PLAYA DE GUADALMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADAHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1990


1
2
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN
JULIAN
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1993

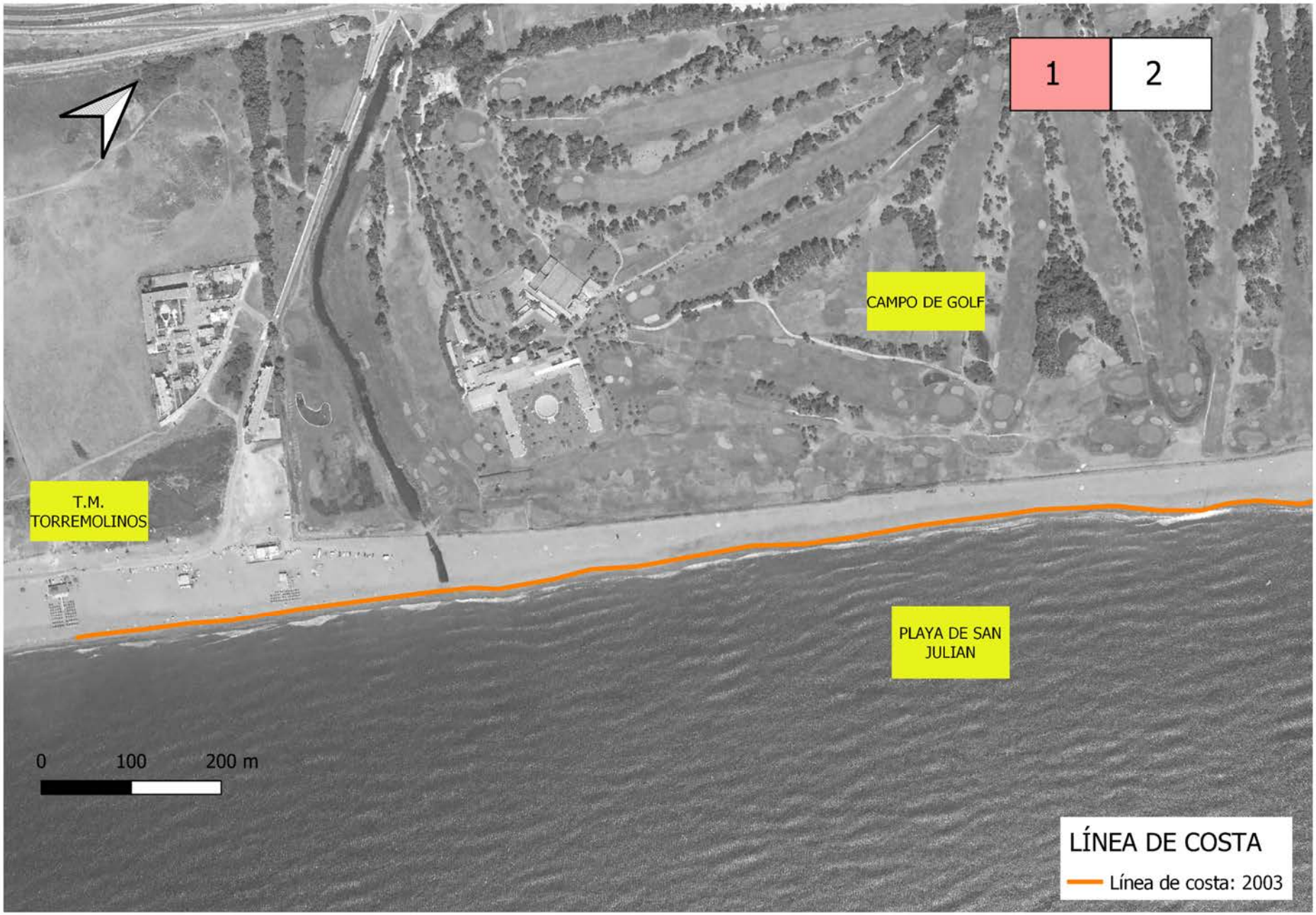

1
2
EBAR
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIAN
PLAYA DE GUADALMAR
DESEMBOCADURA DEL GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1993

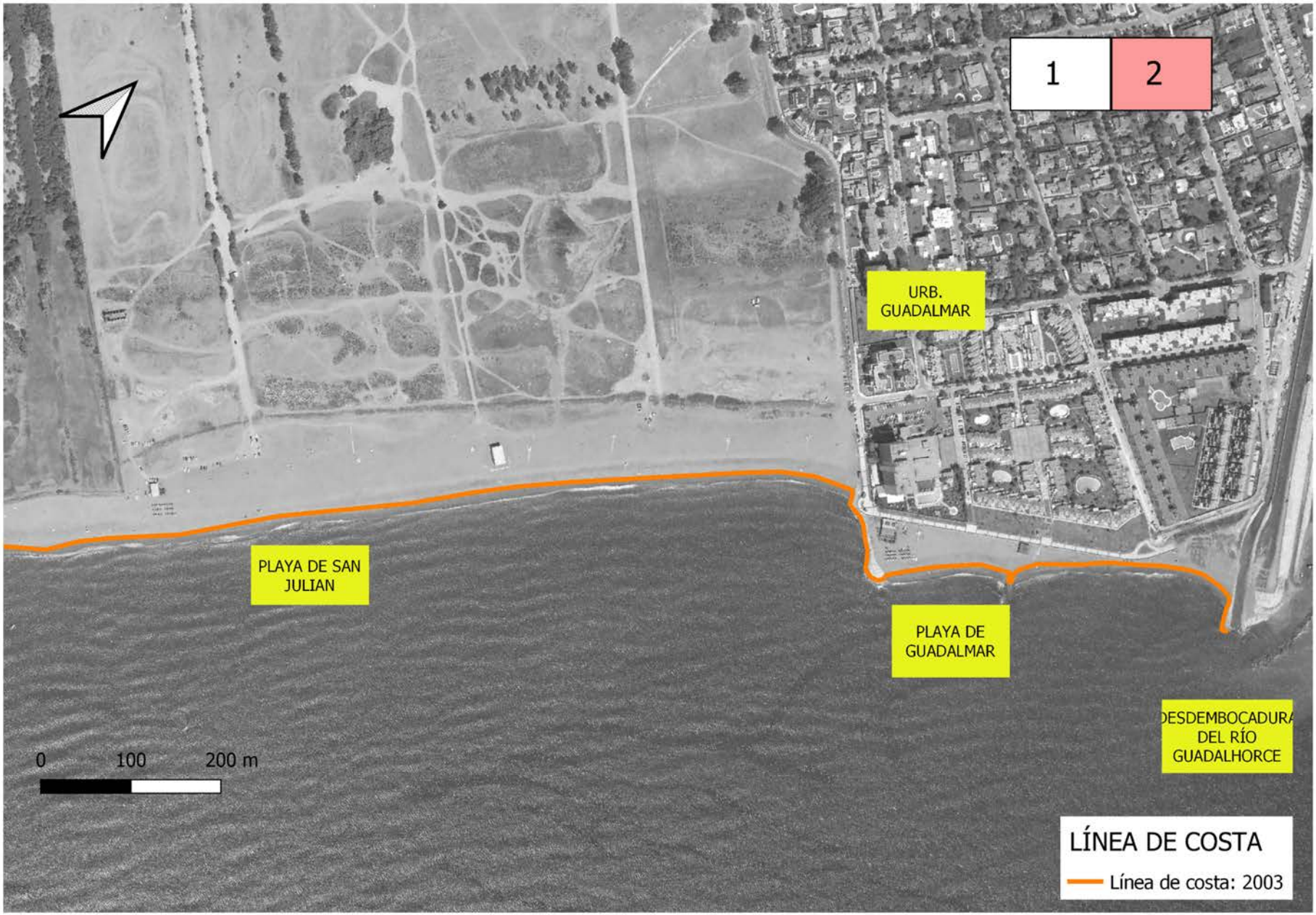
1
2
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN
JULIAN
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1995

1
2
URB.
GUADALMAR
PLAYA DE SAN
JULIAN
PLAYA DE
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RÍO
GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 1995

1
2
PLAYA DE SAN JULIÁN
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa: 2000

1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 2000


1
2
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN
JULIAN
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 2003


1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIAN
PLAYA DE GUADALMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 2003

1
2
PLAYA DE SAN JULIÁN
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa: 2004

1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 2004

1
2
N
PLAYA DE SAN JULIÁN
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa: 2006

1
2
N
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 2006

1
2
N
PLAYA DE SAN JULIÁN
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa: 2008

1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 2008

1
2
N
PLAYA DE SAN JULIÁN
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa: 2010

1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEA DE COSTA
Línea de costa: 2010

N
1
2
PLAYA DE SAN JULIÁN
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa:2012

1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa: 2012

1
2
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIÁN
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa:2016

1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa: 2016

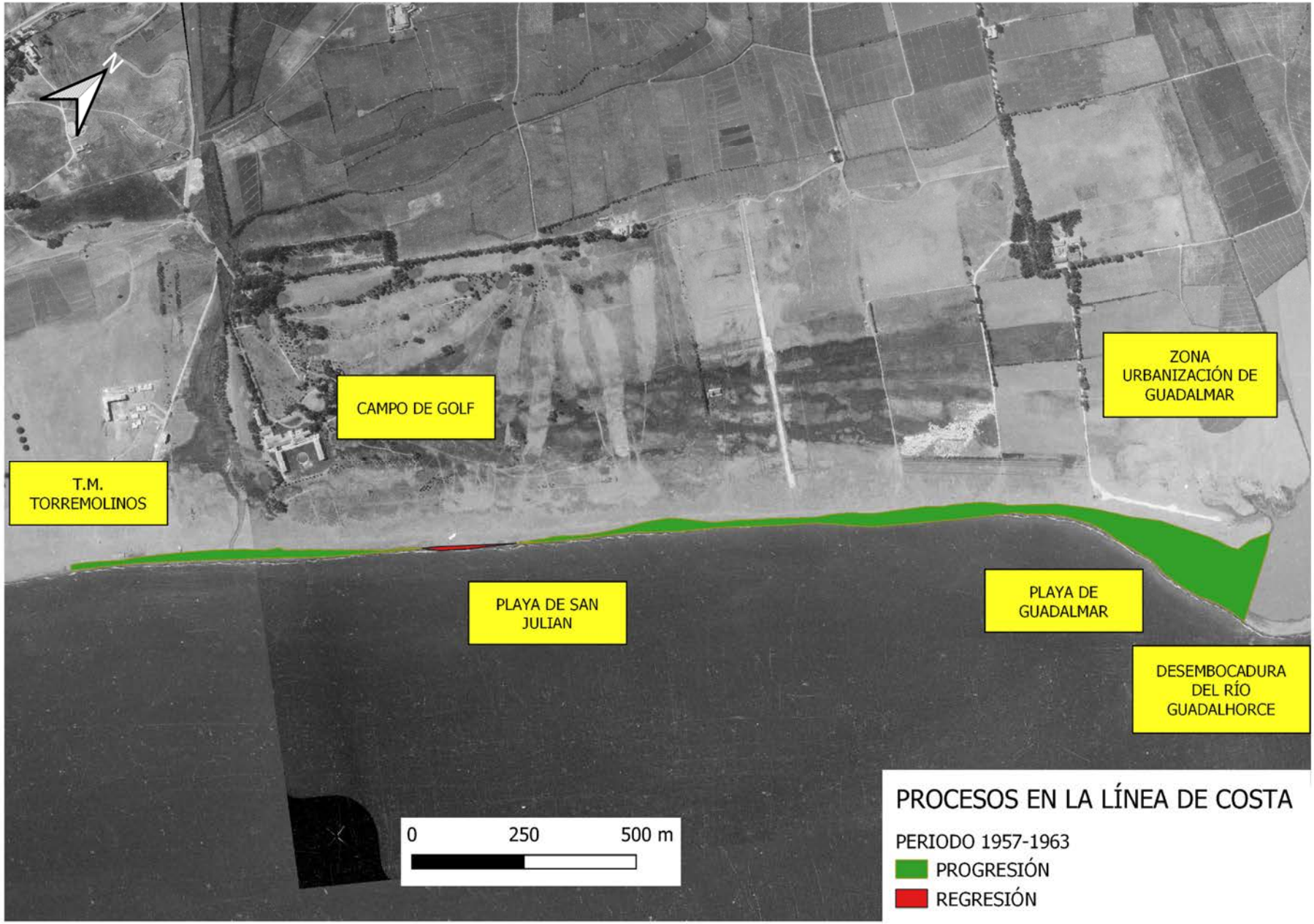
1
2
N
PLAYA DE SAN JULIÁN
T.M.
TORREMOLINOS
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa:2019

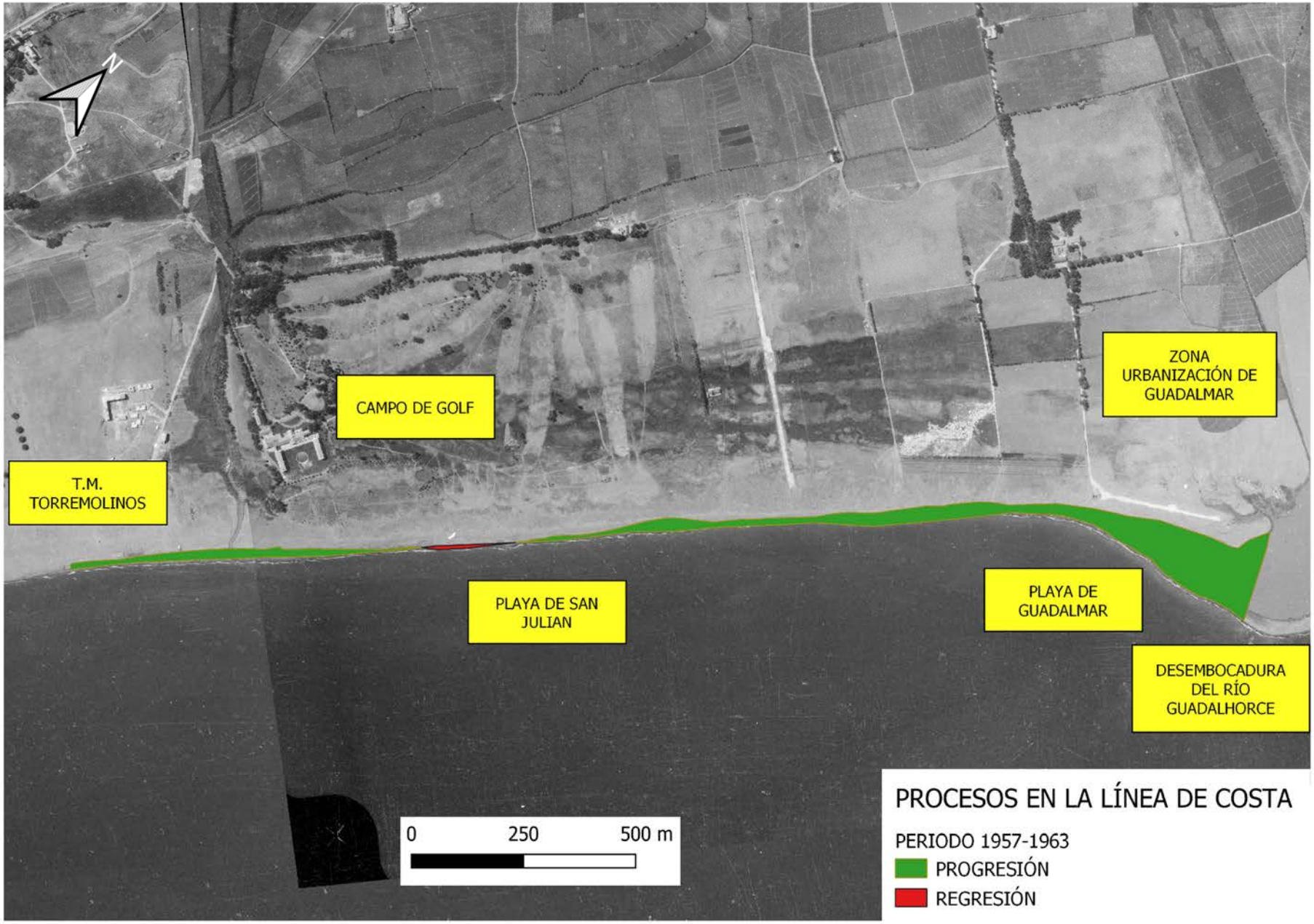
1
2
URB. GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIÁN
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa: 2019

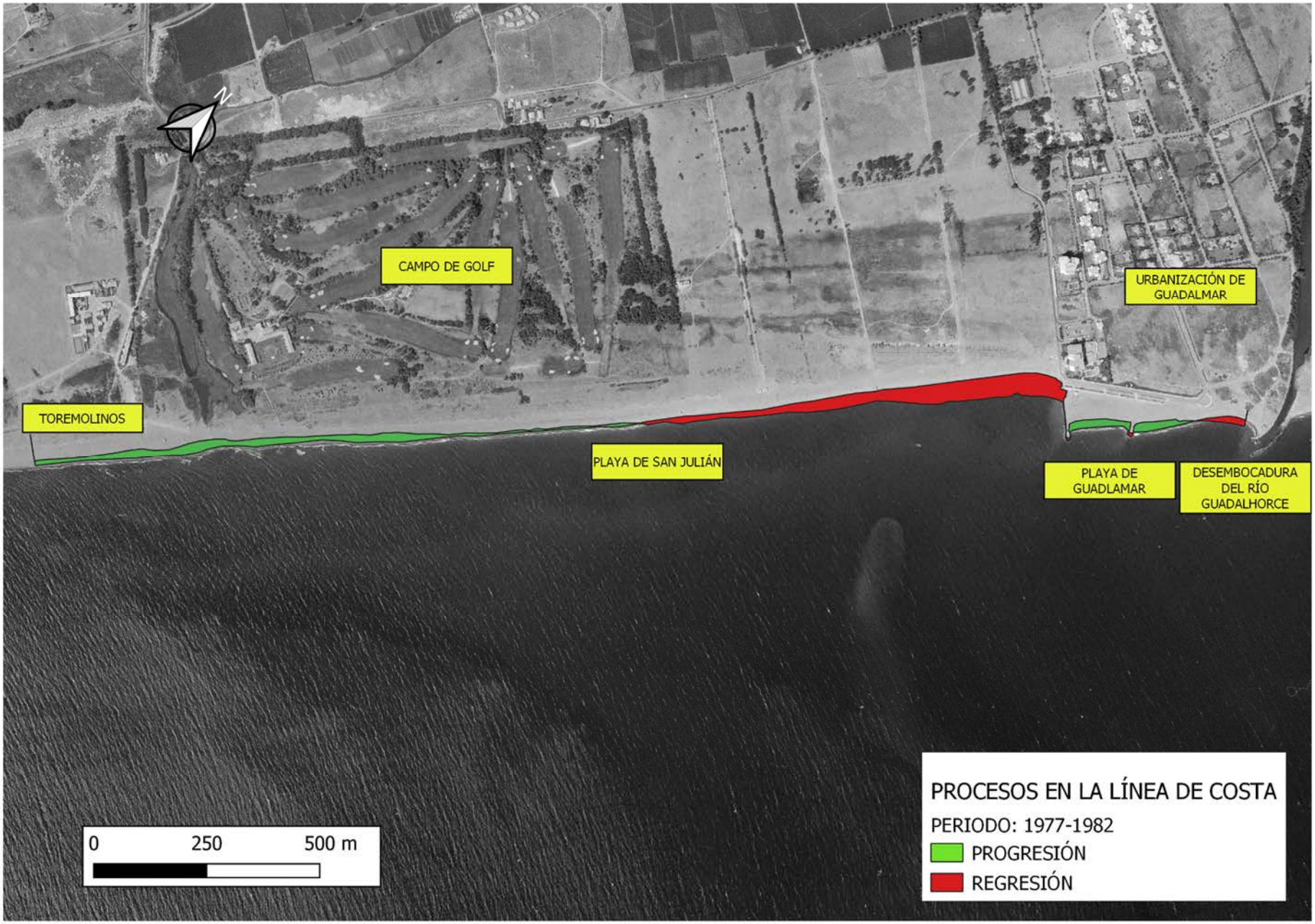
1
2
CAMPO DE GOLF
T.M.
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN
JULIAN
0
100
200 m
LÍNEAS DE COSTA
Línea de costa:: 2022

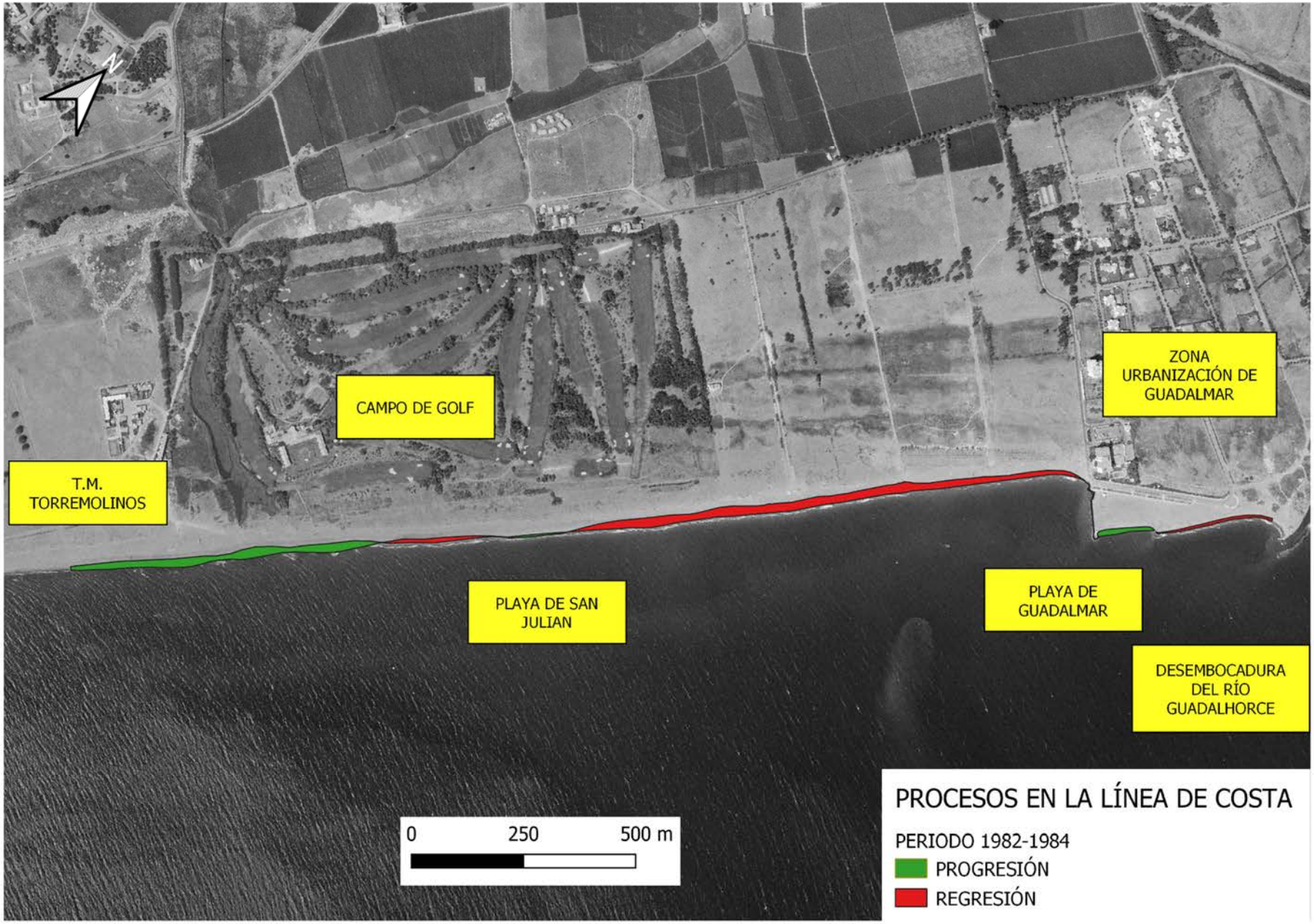
1
2
URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
PLAYA DE SAN JULIAN
PLAYA DE GUADALMAR
DESEMBOCADURA DEL RIO GUADALHORCE
0
100
200 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO: 2019-2022
PROGRESIÓN
EROSION

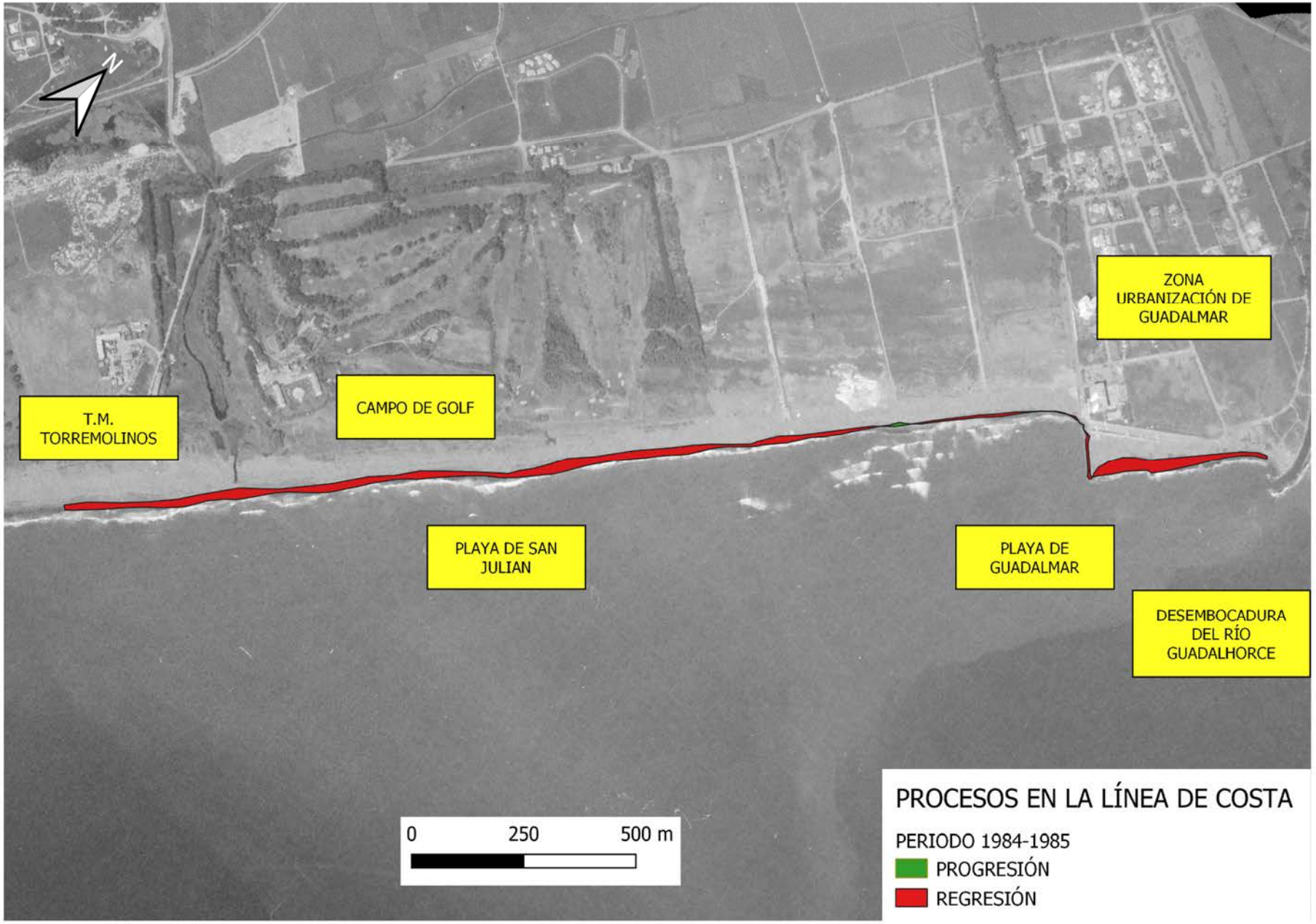
ANEXO 2: PROCESOS DE REGRESIÓN Y ACRECIÓN ENTRE 1957 Y 2022

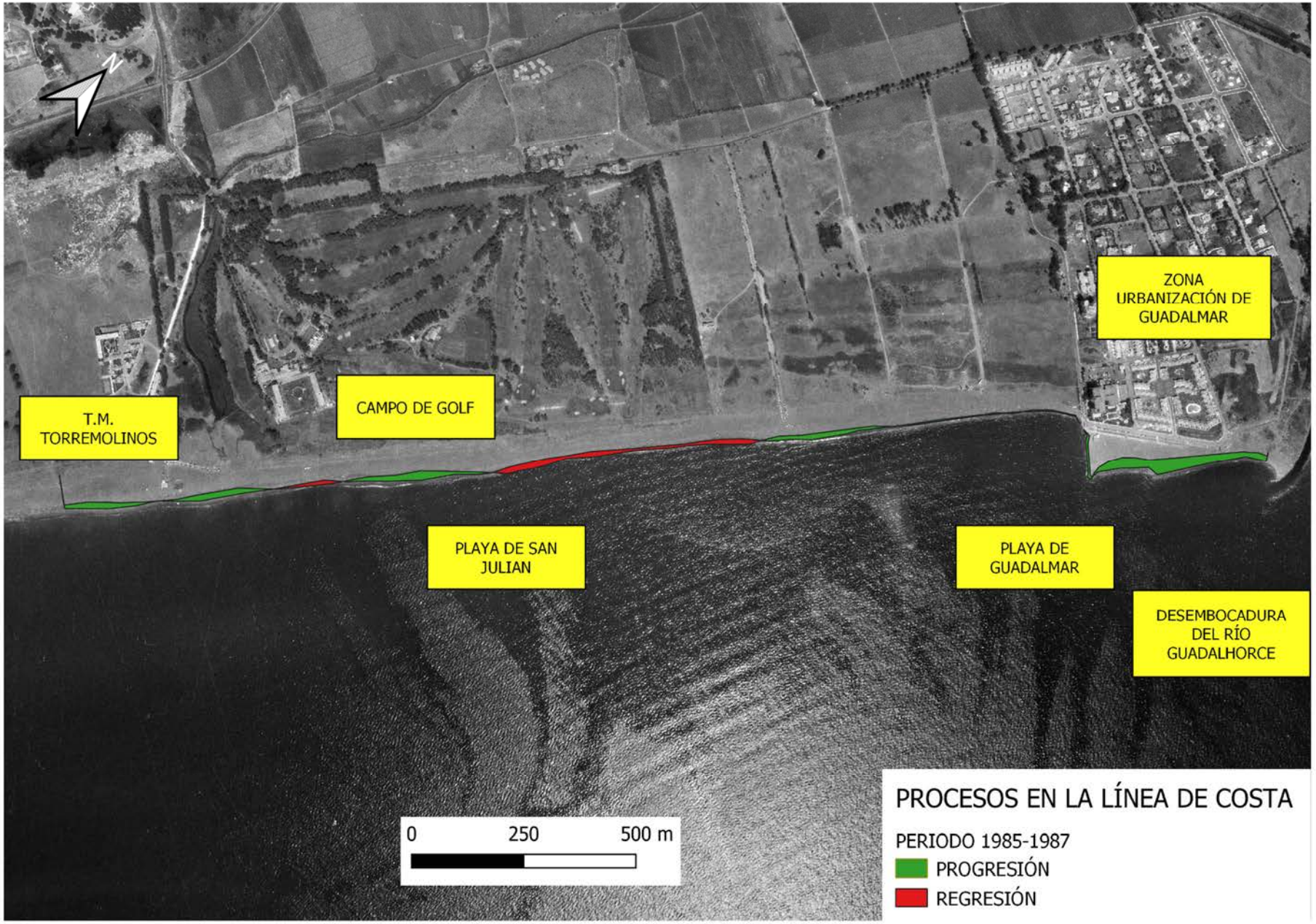

N
CAMPO DE GOLF
ZONA URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
T.M. TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIAN
PLAYA DE GUADALMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 1957-1963
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

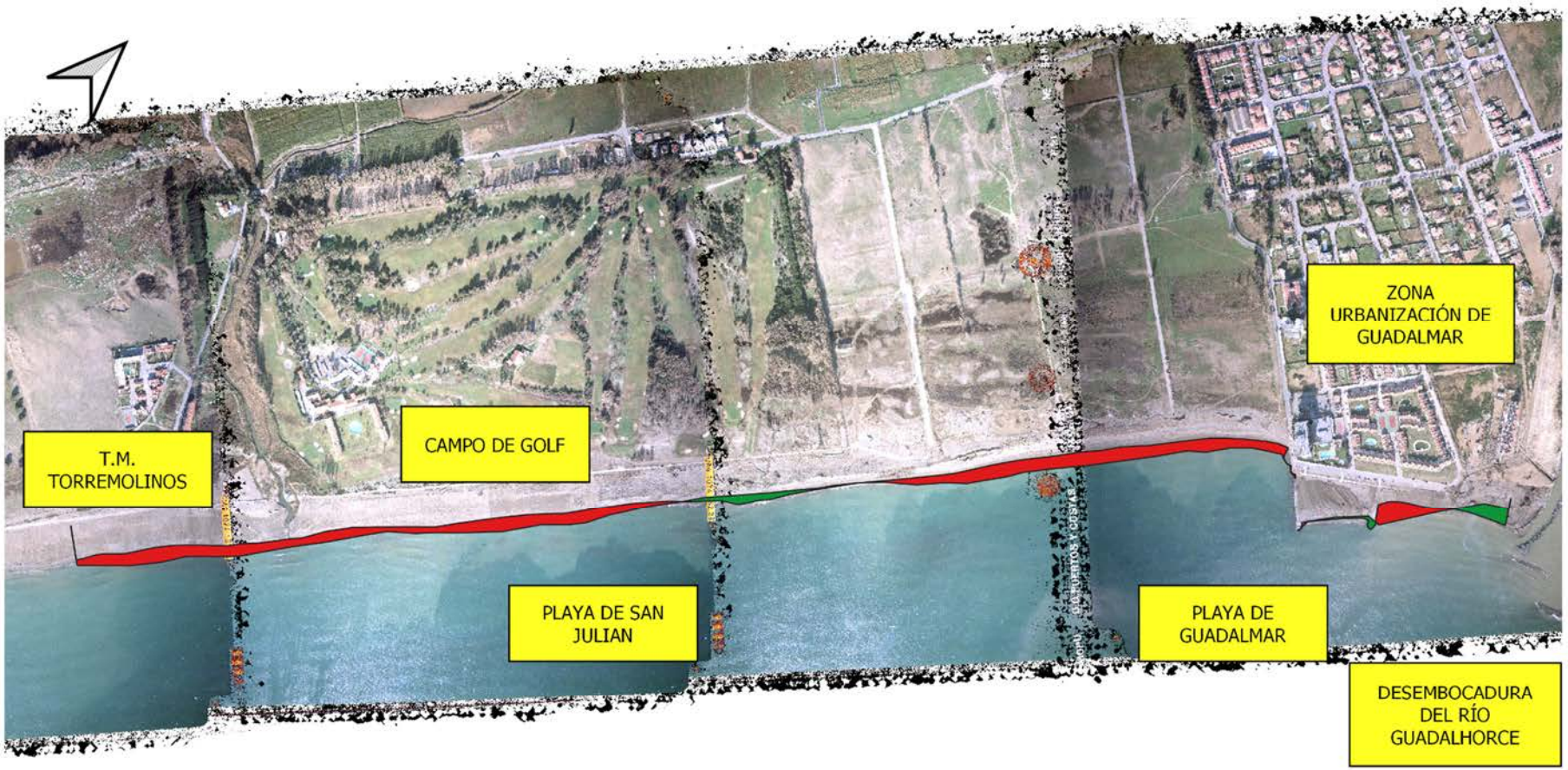

N
CAMPO DE GOLF
ZONA URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
T.M. TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIAN
PLAYA DE GUADALMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 1957-1963
PROGRESIÓN
REGRESIÓN


CAMPO DE GOLF
URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
TOREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIÁN
PLAYA DE GUADLAMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO: 1977-1982
PROGRESIÓN
REGRESIÓN


N
CAMPO DE GOLF
ZONA URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
T.M. TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIAN
PLAYA DE GUADALMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 1982-1984
PROGRESIÓN
REGRESIÓN


N
T.M.
TORREMOLINOS
CAMPO DE GOLF
ZONA
URBANIZACIÓN DE
GUADALMAR
PLAYA DE SAN
JULIAN
PLAYA DE
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RÍO
GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 1984-1985
PROGRESIÓN
REGRESIÓN


T.M.
TORREMOLINOS
CAMPO DE GOLF
ZONA
URBANIZACIÓN DE
GUADALMAR
PLAYA DE SAN
JULIAN
PLAYA DE
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RÍO
GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 1985-1987
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

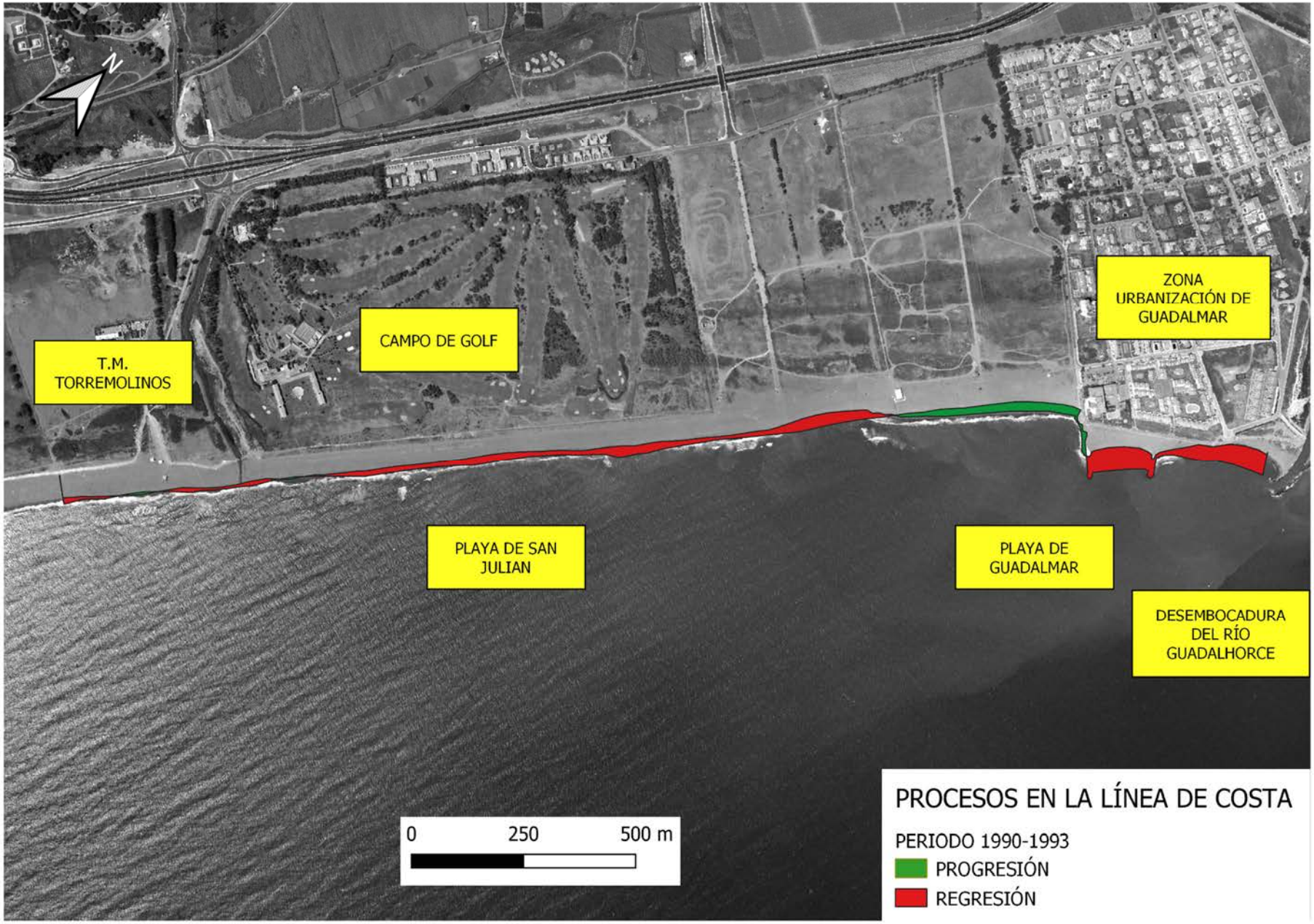


0 250 500 m

PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA

PERIODO 1987-1990

- PROGRESIÓN
- REGRESIÓN


N
T.M.
TORREMOLINOS
CAMPO DE GOLF
ZONA
URBANIZACIÓN DE
GUADALMAR
PLAYA DE SAN
JULIAN
PLAYA DE
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RÍO
GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 1990-1993
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

N
T.M.
TORREMOLINOS
CAMPO DE GOLF
ZONA
URBANIZACIÓN DE
GUADALMAR
PLAYA DE SAN
JULIAN
PLAYA DE
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RÍO
GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 1993-1995
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

T.M.
TORREMOLINOS
CAMPO DE GOLF
ZONA
URBANIZACIÓN DE
GUADALMAR
PLAYA DE SAN
JULIAN
PLAYA DE
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RÍO
GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 1995-2000
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

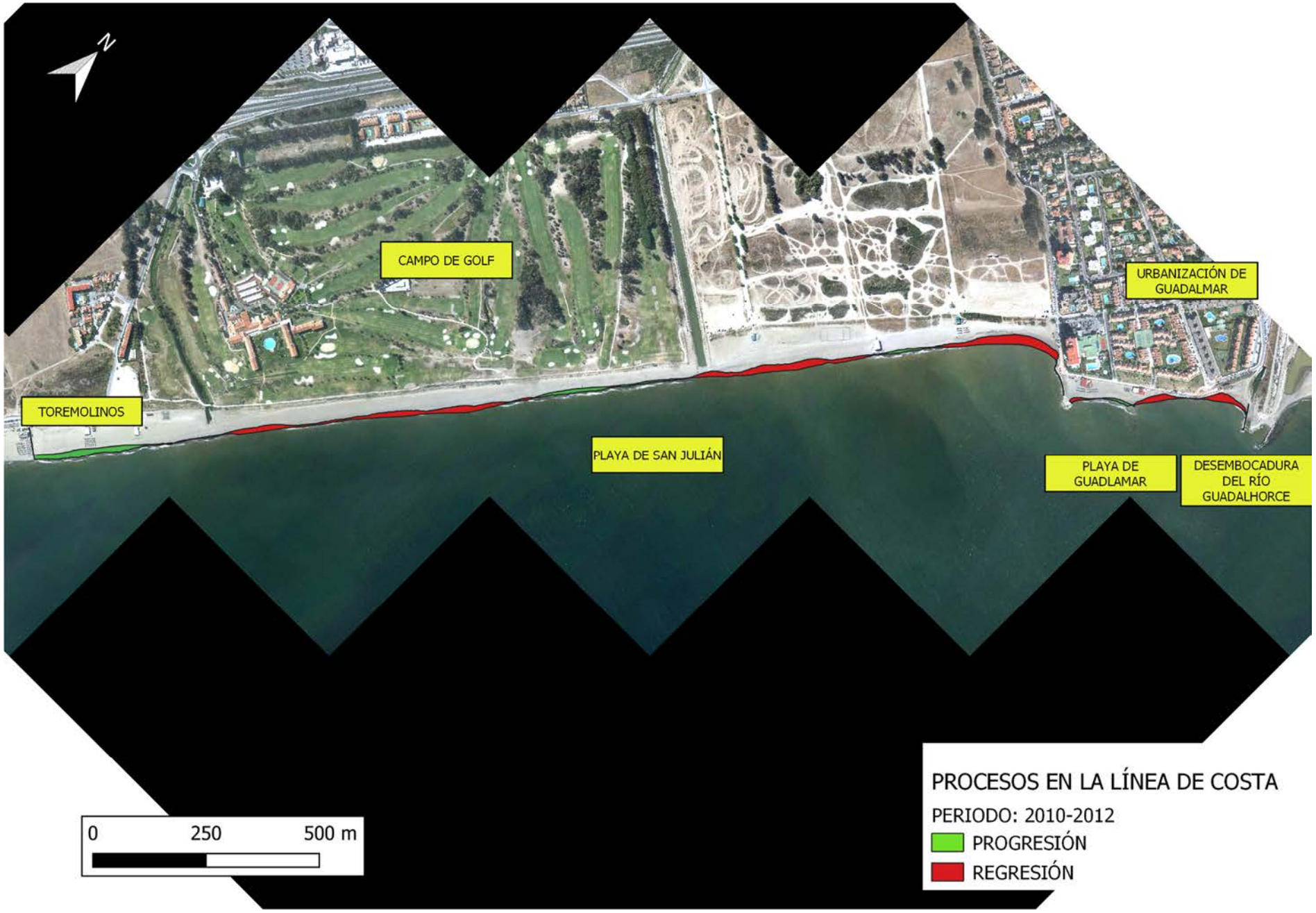
T.M.
TORREMOLINOS
CAMPO DE GOLF
ZONA
URBANIZACIÓN DE
GUADALMAR
PLAYA DE SAN
JULIAN
PLAYA DE
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RÍO
GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 2000-2003
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

T.M.
TORREMOLINOS
CAMPO DE GOLF
ZONA
URBANIZACIÓN DE
GUADALMAR
PLAYA DE SAN
JULIAN
PLAYA DE
GUADALMAR
DESEMBOCADURA
DEL RÍO
GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO 2003-2004
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

N
CAMPO DE GOLF
URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
TOREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIÁN
PLAYA DE GUADLAMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO: 2004-2006
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

N
CAMPO DE GOLF
URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
TOREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIÁN
PLAYA DE GUADLAMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO: 2006-2008
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

CAMPO DE GOLF
URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
TOREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIÁN
PLAYA DE GUADLAMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO: 2008-2010
PROGRESIÓN
REGRESIÓN


N
CAMPO DE GOLF
URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
TOREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIÁN
PLAYA DE GUADLAMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO: 2010-2012
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

CAMPO DE GOLF
URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
TOREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIÁN
PLAYA DE GUADLAMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO: 2012-2016
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

CAMPO DE GOLF
URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
TOREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIÁN
PLAYA DE GUADLAMAR
DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALHORCE
0
250
500 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO: 2016-2019
PROGRESIÓN
REGRESIÓN

CAMPO DE GOLF
URBANIZACIÓN DE GUADALMAR
TORREMOLINOS
PLAYA DE SAN JULIAN
PLAYA DE GUADALMAR
DESEMBOCADURA DEL RIO GUADALHORCE
0
100
200 m
PROCESOS EN LA LÍNEA DE COSTA
PERIODO: 2019-2022
PROGRESIÓN
EROSION

ANEXO 3 PLANOS DE DESLINDE DEL DPMT VIGENTE

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
1	1 de 1	DESLINDE VIGENTE		

HOJAS MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL 1:50.000

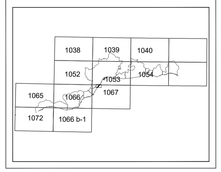
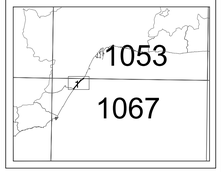


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000



EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE

Vértice	X	Y	Z

VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR

Vértice	X	Y	Z

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA:U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA
- HITOS DESLINDE
- S.U. SUELO URBANO
- S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE
- S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO
- S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRÁFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFORO / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / ROI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

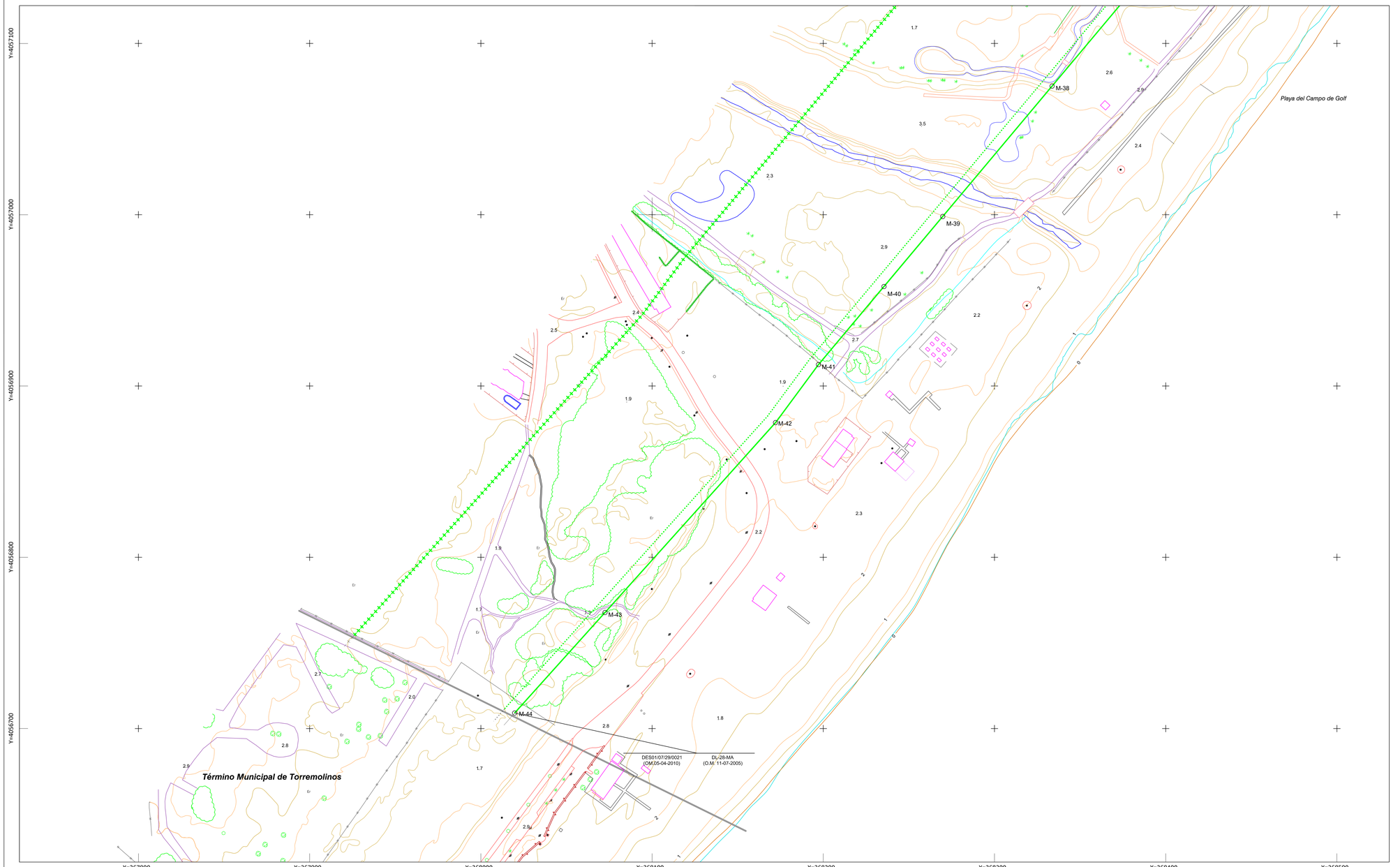
ESCALA 1 / 5.000

-50 m 0 50 100 150 200 250

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 5m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA

HITOS DESLINDE

S.U. SUELO URBANO

S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE

S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO

S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / ROI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
2	1 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

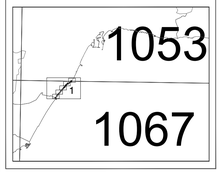
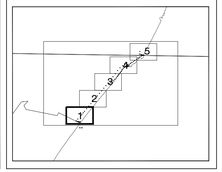


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



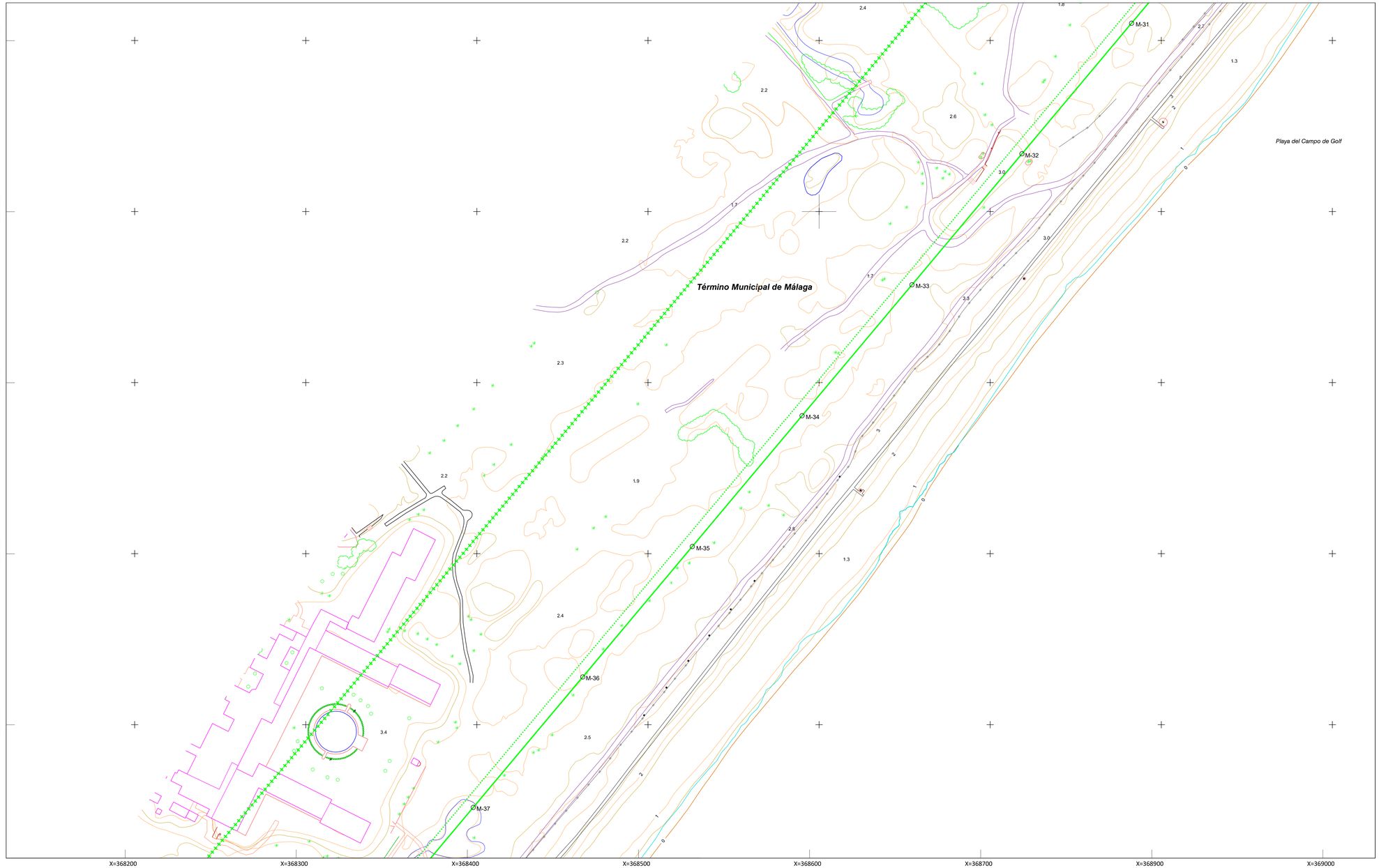
EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE			VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR		
Vértice	X	Y	Vértice	X	Y



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA
- HITOS DESLINDE
- S.U. SUELO URBANO
- S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE
- S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO
- S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / ROI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
1	2 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

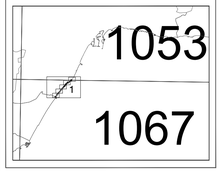
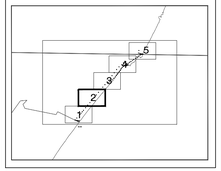


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



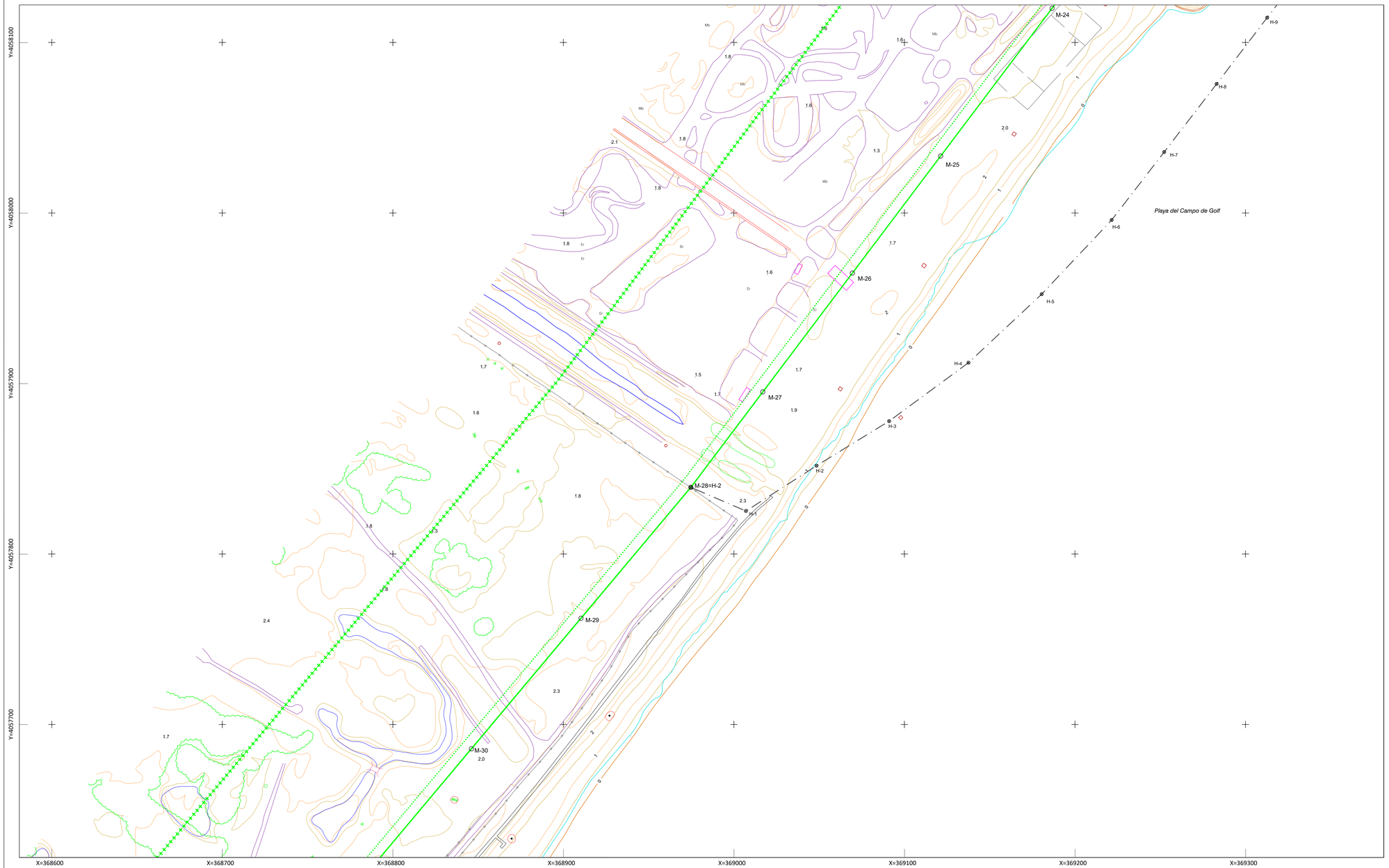
EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE			VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR		
Vértice	X	Y	Vértice	X	Y



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA

HITOS DESLINDE

S.U. SUELO URBANO

S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE

S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO

S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / ROI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
2	3 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

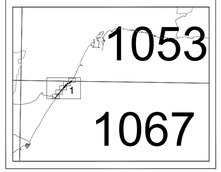
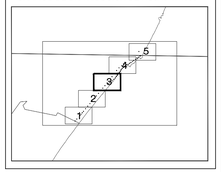


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

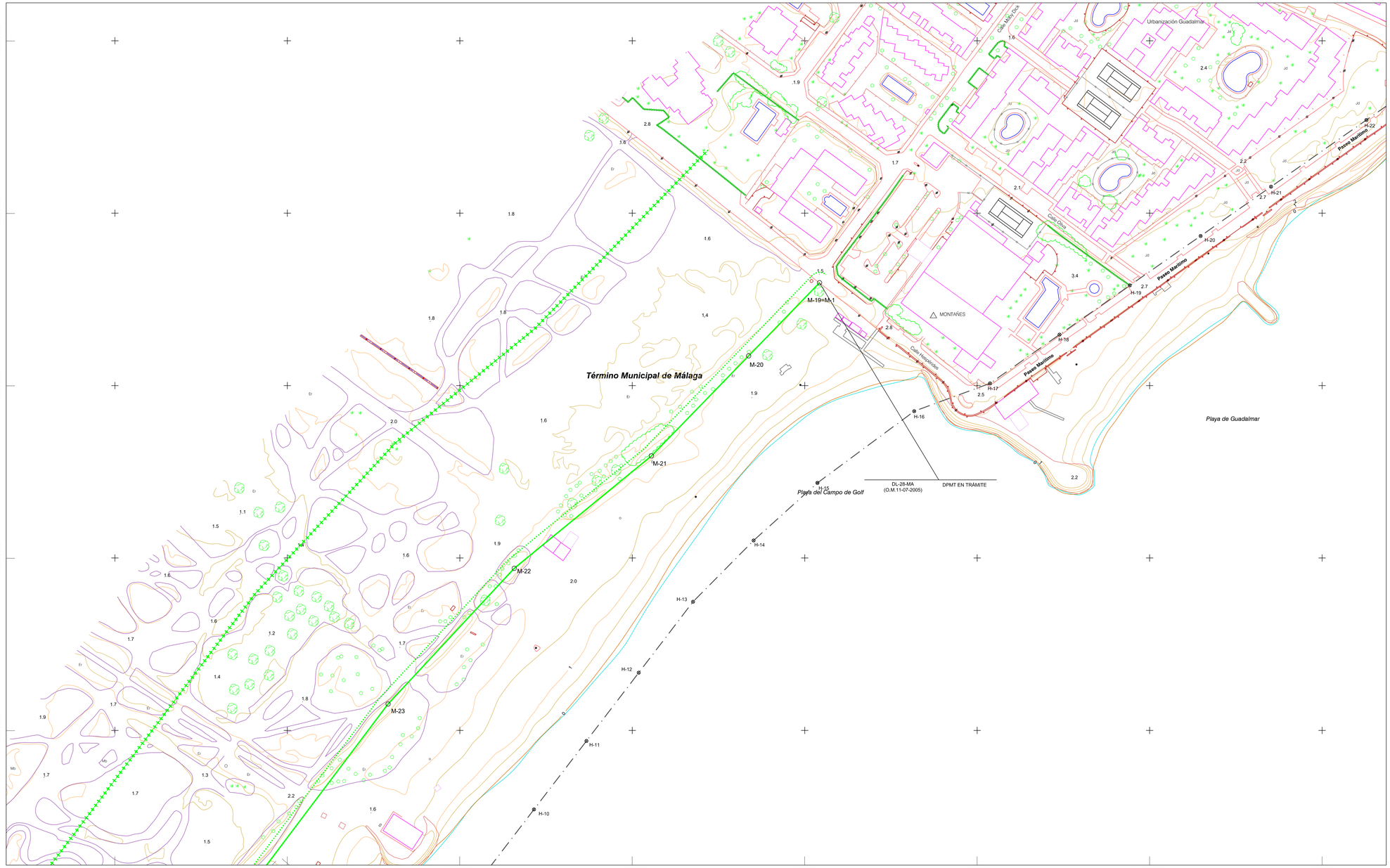
FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE

Vértice	X	Y

VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR

Vértice	X	Y



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA
- HITOS DESLINDE
- S.U. SUELO URBANO
- S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE
- S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO
- S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / ROI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
2	4 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

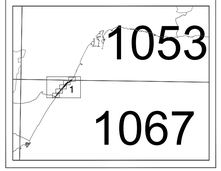
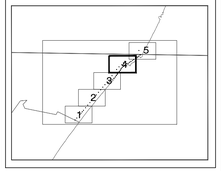


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



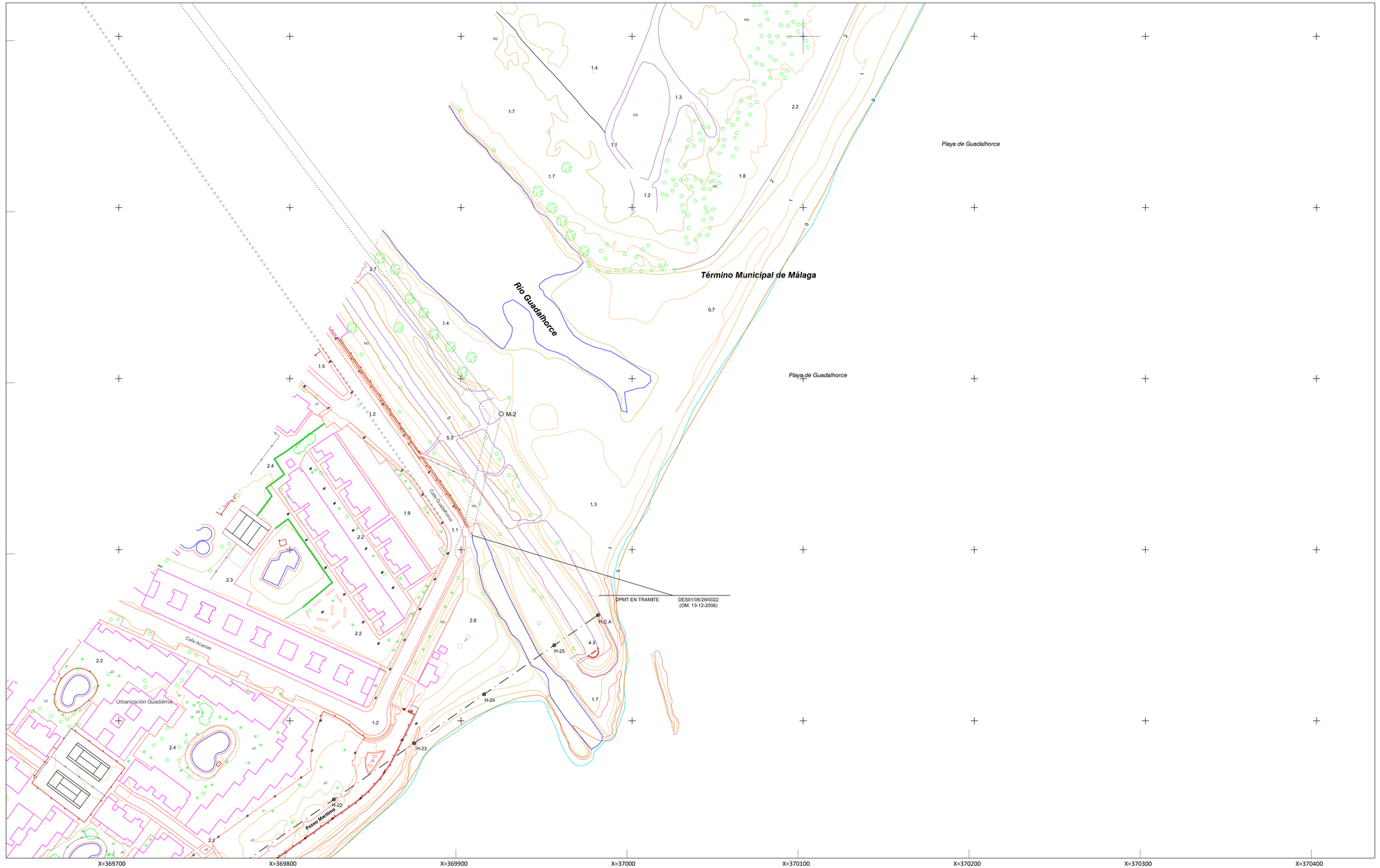
EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE			VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR		
Vértice	X	Y	Vértice	X	Y



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA

HITOS DESLINDE

S.U. SUELO URBANO

S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE

S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO

S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / ROI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
2	5 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

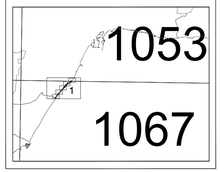
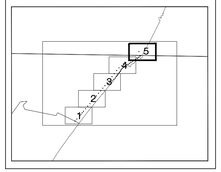


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE

Vértice	X	Y

VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR

Vértice	X	Y

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo
(Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
3	1 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

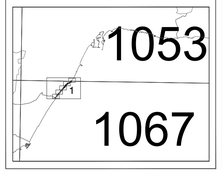
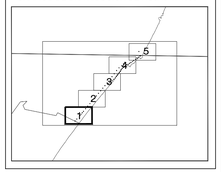


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE

Vértice	X	Y

VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR

Vértice	X	Y

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

- HITOS DESLINDE
- S.U. SUELO URBANO
- S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE
- S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO
- S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / ROI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec
Grupo Tragsa

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
3	2 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

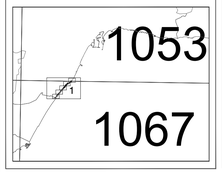
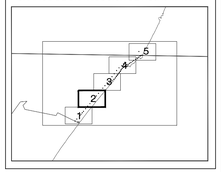


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE

Vértice	X	Y

VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR

Vértice	X	Y

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA

HITOS DESLINDE

S.U. SUELO URBANO

S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE

S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO

S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / ROI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

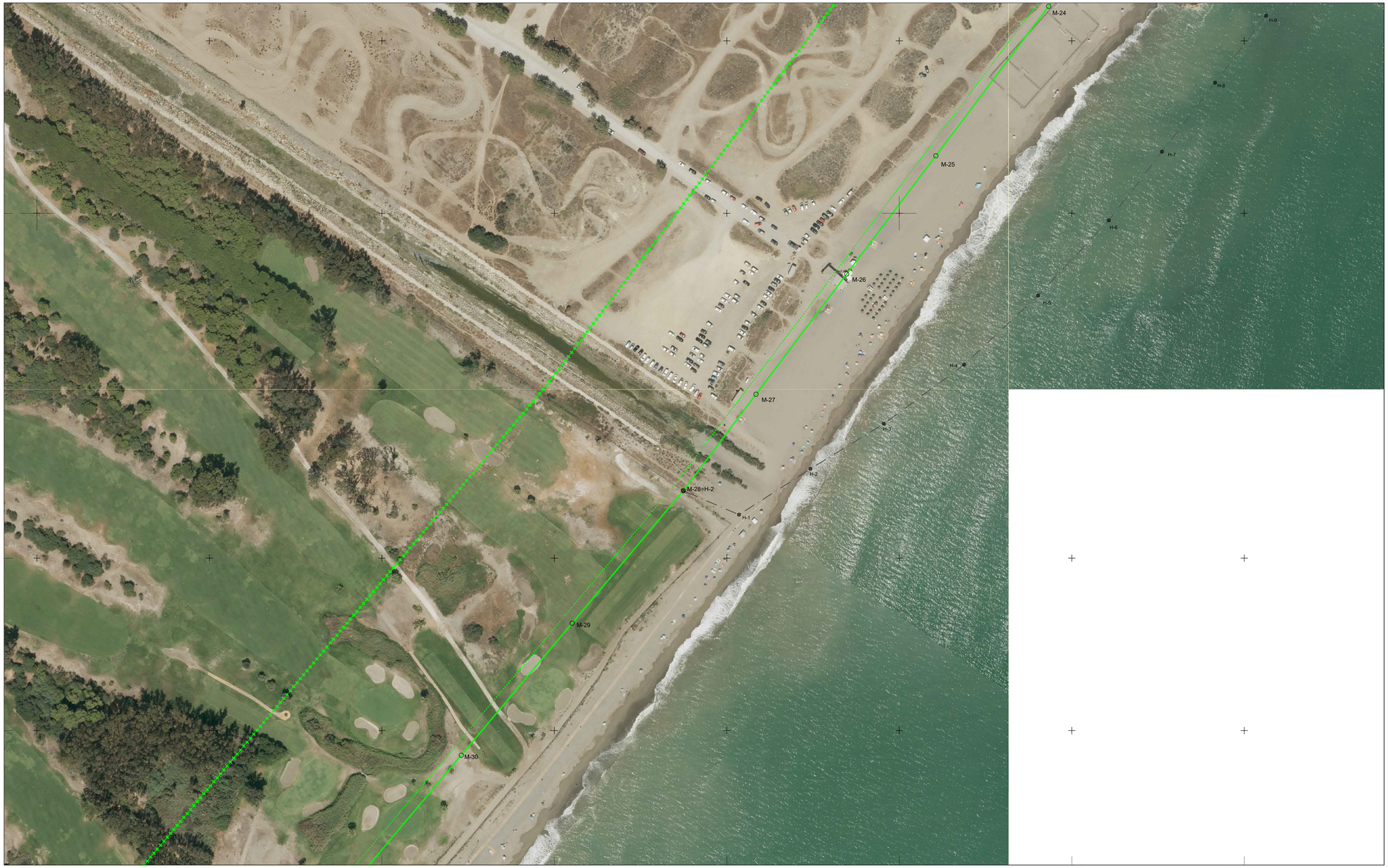
ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec
Grupo Tragsa



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA

HITOS DESLINDE

S.U.	SUELO URBANO
S.N.U.	SUELO NO URBANIZABLE
S.U.P.	SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO
S.U.N.P.	SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / RCI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec Grupo Tragsa

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
3	3 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

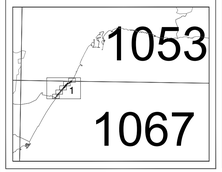
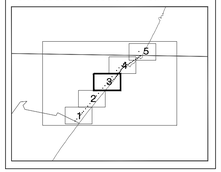


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE		
Vértice	X	Y

VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR		
Vértice	X	Y

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INMEDIATAMENTE COLINDANTES Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA

- HITOS DESLINDE
- S.U. SUELO URBANO
- S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE
- S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO
- S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / ROI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
3	4 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

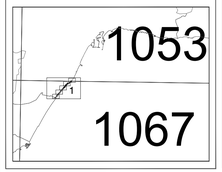
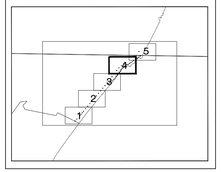


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



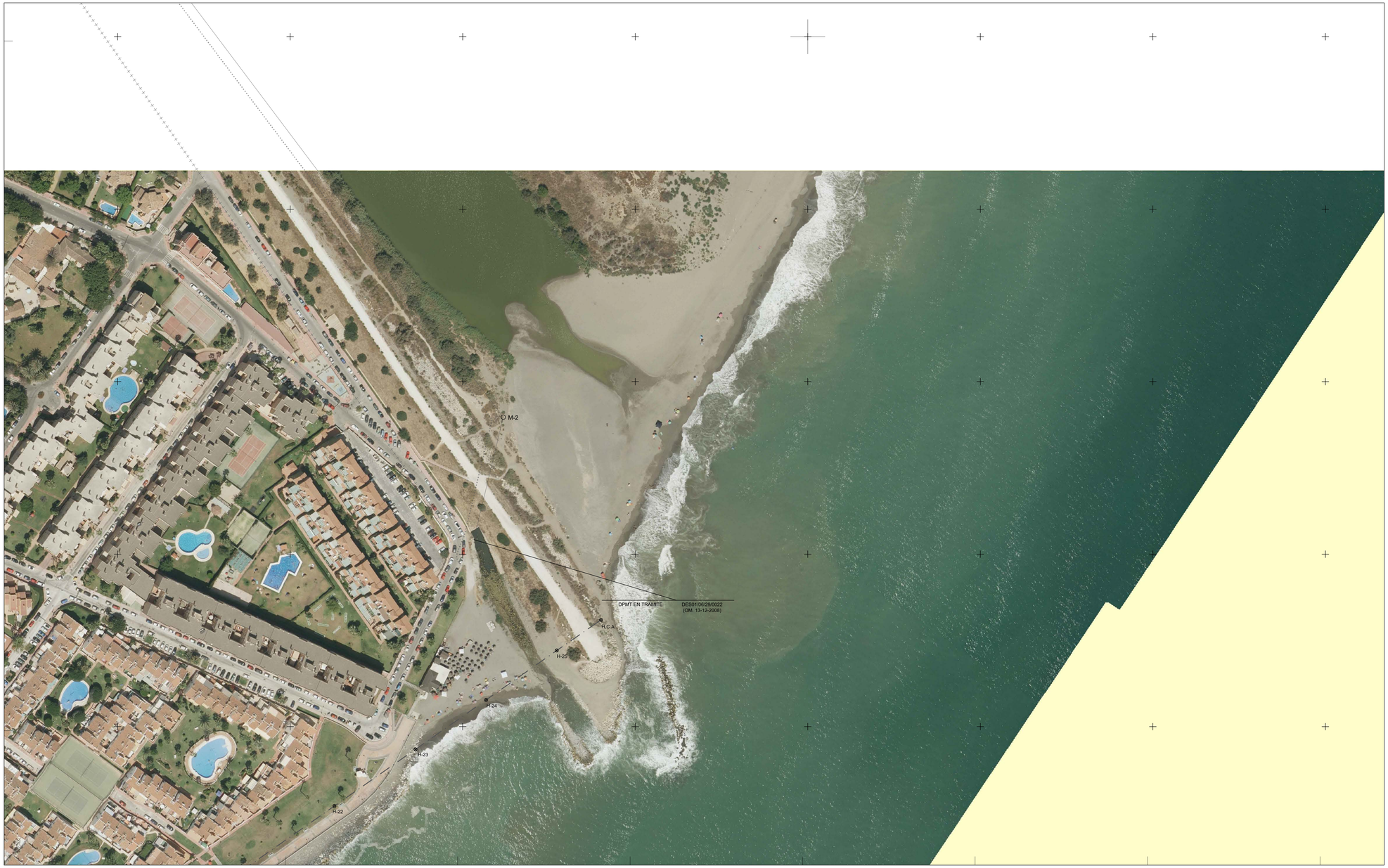
EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE			VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR		
Vértice	X	Y	Vértice	X	Y



INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA: ETRS89

SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA U.T.M. - HUSO 30 N

ORIGEN DE ALTITUDES: NIVEL MEDIO DEL MAR EN ALICANTE

COORDENADAS U.T.M. ETRS89 EN MARCO DE HOJA

VUELO FOTOGRAMÉTRICO REALIZADO EN AGOSTO DE 2017

AEROTRIANGULACIÓN PROPIA DE ESTE LEVANTAMIENTO

APOYO DE CAMPO REALIZADO EN ENERO-MAYO DE 2018

RESTITUCIÓN Y EDICIÓN REALIZADO EN SEPT 2017-MARZO 2018

SIGNOS CONVENCIONALES PARTICULARES

- LÍNEA DE AGUA
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T.
- LÍNEA DE RIBERA DEL MAR
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE TRÁNSITO
- LÍMITE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN
- POLIGONAL DEL DESLINDE DEL D.P.M.T. CONTIGUO
- LÍMITE DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN CONTIGUO
- Z.M.T.
- LÍNEA DE OTROS DESLINDES
- LÍMITE DE PARCELAS COLINDANTES
- TERRENOS INNECESARIOS Y DE POSIBLE DESAFECTACIÓN
- LÍMITE DE TÉRMINO MUNICIPAL
- LÍMITE DE PROVINCIA

HITOS DESLINDE

S.U. SUELO URBANO

S.N.U. SUELO NO URBANIZABLE

S.U.P. SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO

S.U.N.P. SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO

NOTA: SI COINCIDE LA POLIGONAL DEL DESLINDE DE DPMT CON LA LÍNEA DE R.M. SÓLO SE GRAFÍA LA PRIMERA

SIGNOS CONVENCIONALES GENERALES

- ÁRBOL / PALMERA
- BOCA HIDROGRAFICA / CASCADA / SIFÓN / SUMIDERO
- CAPTACIÓN / POZO
- FUENTE / SURGENCIA
- BUZÓN / CABINA TELEFÓNICA / BANCO
- CONTENEDOR / BOLARDO / IMBORNAL
- FAROLA / SEMÁFOR / POZO REGISTRO
- POSTE MADERA / POSTE METÁLICO / ANTENA
- PUNTO NAP / PUNTO NIVELACIÓN
- VÉRTICE REGENTE / REGIONAL / RCI
- VÉRTICE TOPOGRÁFICO / PUNTO DE APOYO

ESCALA 1 / 1.000

-10 m 0 10 20 30 40 50

EQUIDISTANCIA CURVAS DE NIVEL 1m

ASISTENCIA TÉCNICA:

Tragsatec Grupo Tragsa

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

DIRECCIÓN GENERAL DE LA COSTA Y EL MAR

Demarcación de Costas en Andalucía-Mediterráneo (Málaga)

SERVICIO DE GESTIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y DEL DPMT ACTUAL Y EN ESCENARIOS FUTUROS

LÍMITE T.M. TORREMOLINOS - MÁRGEN DERECHA RÍO GUADALHORCE

TÉRMINO MUNICIPAL: MÁLAGA

PLANO Nº	HOJA Nº	PLANO:	REFERENCIA ANTIGUA	REFERENCIA
3	5 de 5	DESLINDE VIGENTE		

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:5.000

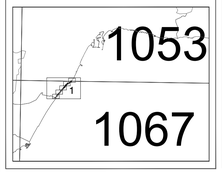
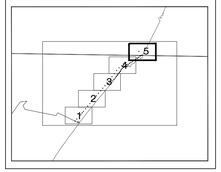


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE HOJAS 1:1.000



EXAMINADO Y CONFORME

El Jefe de Servicio: Juan José Valero Guerra

Vº Bº el Jefe de la Demarcación: Ángel González Castiñeira

FECHA: la indicada en la firma electrónica

VÉRTICES POLIGONAL DEL DESLINDE			VÉRTICES POLIGONAL DE LA RIBERA DEL MAR		
Vértice	X	Y	Vértice	X	Y