



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA INUNDACIÓN COSTERA OCASIONADO POR EL TEMPORAL MARÍTIMO 'GLORIA'

Trabajo realizado por:

Mario López Muñoz

Dirigido:

Melisa Menéndez García

Alexandra Toimil Silva

Titulación:

Máster Universitario en Costas y Puertos

Santander, septiembre de 2020

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA INUNDACIÓN COSTERA OCASIONADO POR EL TEMPORAL MARÍTIMO 'GLORIA'

Autor: Mario López Muñoz

Directoras: Melisa Menéndez García y Alexandra Toimil Silva

Convocatoria: septiembre 2020

Palabras clave: temporal, Gloria, inundación, Mar Mediterráneo, LISFLOOD-FP

RESUMEN

El 17 de enero de 2020, un sistema de bajas presiones originado en Terranova, evolucionó hacia Europa viajando por el océano Atlántico Norte. El sistema llegó al noreste de la Península Ibérica el 18 de enero y se movió hacia el Mediterráneo Occidental al día siguiente. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) denominó a este temporal Gloria, que permaneció en el sureste de la península hasta el día 20, día en el que fue absorbido por un sistema mayor localizado en el mar de Alborán. El sistema resultante estuvo activo hasta el día 26 de enero, cuando se desplazó hacia Italia y se debilitó. El objeto de este estudio es analizar el carácter extremal que este evento causó sobre las dinámicas marinas responsables de los impactos producidos por el temporal en el litoral mediterráneo y realizar un estudio de inundación costera de alta resolución en un tramo de costa afectado.

Durante el temporal se produjeron grandes inundaciones a lo largo de la cuenca mediterránea. En el Delta del Ebro el agua se adentró hasta 3 km en tierra, haciendo desaparecer playas y cultivos. En Murcia, la zona del Mar Menor fue la más afectada, produciéndose grandes inundaciones y destrozos en las zonas costeras. Numerosas playas del litoral vieron reducidas sus dimensiones debido al fuerte oleaje y todos los puertos tuvieron que cerrar sus instalaciones durante el temporal.

Las variables estudiadas han sido las relativas al oleaje (H_s , T_p y dirección), al nivel del mar (marea astronómica y marea meteorológica) y a la atmósfera (viento y presiones). Se han utilizado datos procedentes de observaciones in-situ y de simulación numérica. Los datos instrumentales son los recogidos por las boyas de Puertos del Estado y mareógrafos de Puertos del Estado y del IGN. En cuanto a los datos de simulación numérica, para el oleaje se ha utilizado la base de datos GOW2 con una resolución de 28 km x 28 km. Para la marea astronómica (GOT) se ha usado la base de datos derivada del modelo de mareas mundial TPXO en la versión TPXO8. La base de datos de marea meteorológica (GOS) utilizada ha sido generada a partir del forzamiento CFS para Europa, con una resolución de 7 km x 13 km. El viento y presiones proceden del reanálisis CFSR con resoluciones de 22 km x 22 km para el viento y 56 km x 56 km para las presiones. El modelo de inundación se ha realizado con los datos del downscaling realizado en la región de

Murcia. Para este downscaling se han utilizado las bases de datos GOW2, GOT, GOS y los vientos procedentes del reanálisis CFSR. El periodo de datos abarca de 1982-2020 y cuenta con una resolución de hasta 100 m. La batimetría utilizada ha sido elaborada a partir de las ecocartografías realizadas por el MITECO y la disponible de EMODNET.

Tanto los datos instrumentales como las bases de datos utilizadas muestran la alta excepcionalidad del evento. Según el análisis extremal de los mareógrafos, se llegaron a mareas meteorológicas con un periodo de retorno de 15 años. En el caso de las boyas, la de Valencia alcanzó su mayor valor de H_s registrado, con 8.44 m y que cuenta con un periodo de retorno de 17 años. Los resultados del análisis espacial de los valores del GOW indican que las zonas donde se alcanzaron mayores valores fueron Valencia y la costa de Cataluña. El análisis extremal realizado al GOW, que cuenta con una serie mayor a la de las boyas utilizadas, muestra que las alturas de ola alcanzadas en la zona del Cabo de la Nao tienen un periodo de retorno de casi 200 años. La MM llegó a su máximo valor en la zona de Valencia y Castellón.

A partir de este análisis, se ha evaluado el impacto de la tormenta Gloria sobre la inundación costera. Para ello se ha utilizado un índice de inundación, a partir de formulaciones previas elaboradas por IHCantabria. Los resultados de este indicador muestran que el temporal Gloria alcanzó valores inusuales con respecto a la serie histórica analizada. Los valores del indicador alcanzan los 100 años de periodo de retorno. La zona más afectada fue la Comunidad Valenciana, en especial Valencia y Cabo de la Nao. Dentro de Murcia, se produce un máximo local del indicador en toda la zona del Mar Menor.

El estudio de inundación, con alta resolución espacial en la costa, se ha realizado en la zona de Cabo de Palos (Murcia). Este estudio se ha llevado a cabo utilizando el modelo LISFLOOD-FP. Se trata de un modelo de inundación que requiere de una malla de elevaciones, la rugosidad del terreno y los máximos de las dinámicas marinas en los contornos, obtenidos a partir de la serie temporal de la Cota de Inundación reconstruida. Los resultados muestran como el agua inundó la zona del puerto deportivo del municipio, anegando los alrededores con una lámina de agua que alcanzó los 0.20 m. Las diferencias en los resultados de esta simulación de inundación para algunos tramos costeros de zonas urbanizadas y las imágenes de los daños en la zona se atribuyen a la componente runup del oleaje u otras incertidumbres (los máximos de las dinámicas marinas utilizadas como forzamiento o la información utilizada del Modelo Digital de Terreno).

ANALYSIS OF THE COASTAL FLOOD IMPACT CAUSED BY THE MARITIME STORM ‘GLORIA’

Author: Mario López Muñoz

Directors: Melisa Menéndez García y Alexandra Toimil Silva

Call: September 2020

Keywords: storm, Gloria, flood, Mediterranean Sea, LISFLOOD-FP

ABSTRACT

On 17th January 2020, a low-pressure system originated in Newfoundland evolved towards Europe traveling through the North Atlantic Ocean. The system reached the northeast of the Iberian Peninsula on 18th January and moved to the Western Mediterranean the next day. The Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) named this storm Gloria, which remained in the southeast of the peninsula until the 20th, when it was absorbed by a larger system located on the Alboran Sea. The resulting system was active until January 26th, when it moved to Italy and it weakened. The purpose of this study is to analyse the extreme nature that this event caused on the marine dynamics responsible for the impacts produced by the storm on the Mediterranean coast and to carry out a high-resolution coastal flood study in an affected stretch of coast.

During the storm, large floods occurred throughout the Mediterranean basin. In the Ebro Delta, the water reached up to 3 km on land, making beaches and crops disappear. In Murcia, the Mar Menor area was the most affected, with large flooding and damage to the coastal areas. Many coastal beaches were reduced in size due to the strong waves and all ports had to close their facilities during the storm.

The variables studied have been those related to the waves (H_s , T_p and direction), to the sea level (astronomical tide and storm surge) and to the atmosphere (wind and pressures). Data from in-situ observations and numerical simulation have been used. The instrumental data are collected by the buoys of Puertos del Estado and tide gauges of Puertos del Estado and the IGN. For waves, the GOW2 base has been used with a resolution of 28 km x 28 km. The database derived from the TPXO world tidal model in the version TPXO8 has been used for the astronomical tide (GOT). The meteorological tide database (GOS) used for this study has been generated from the CFS forcing for Europe, with a resolution of 7 km x 13 km. The wind and pressures have been obtained from the CFSR reanalysis with resolutions of 22 km x 22 km for the wind and 56 km x 56 km for the pressures. The flood model has been made with data from the downscaling carried out in the Murcia region. For this downscaling, the GOW2, GOT, GOS databases and the winds from the CFSR reanalysis have been used. The data period spans 1982-

2020 and it has a resolution up to 100m. The bathymetry used has been elaborated from the eco-cartographies carried out by MITECO and from EMODNET services.

Both the instrumental data and the databases used show the high exceptionality of the event. According to the extreme analysis of the tide gauges, meteorological tides were reached with a return period of 15 years. Regarding the buoys, the Valencia buoy recorded a significant wave height of 8.44 m, the highest value registered on the Mediterranean area so far, which has a return period of 17 years. The results from the spatial analysis of the GOW values indicate that the areas where the highest values were reached were Valencia and the coast of Catalonia. The extreme analysis carried out at the GOW, which has a series greater than the buoys used, shows that the wave heights reached in the Cabo de la Nao area have a return period of almost 200 years. The storm surge reached its maximum value in the Valencia and Castellón area.

Based on this analysis, the impact of Storm Gloria on coastal flooding has been evaluated. A flood index has been used, based on previous formulations made by IHCantabria. The results of this indicator show that the Gloria storm reached unusual values with respect to the historical series analysed. The values of the indicator reach a 100 year return period. The most affected area was the Comunidad Valenciana, especially Valencia and Cabo de la Nao. Within Murcia, a local maximum of the indicator occurs in the entire Mar Menor area.

The flood study, with high spatial resolution on the coast, has been carried out in the Cabo de Palos area (Murcia). This study has been undertaken using the LISFLOOD-FP model. It is a flood model that requires a mesh of elevations, the roughness of the terrain and the maximums of the marine dynamics in the contours, obtained from the time series of the reconstructed flood level. The results show how the water flooded the area of the municipality's marina, flooding the surroundings with a level of water that reached 0.20 m. The differences in the results of this flood simulation for some coastal stretches of urbanized areas and the images of the damage in the area are attributed to the runup component of the wave or other uncertainties (the maximums of the marine dynamics used as forcing or the information used from the Digital Terrain Model).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCION	1
2.	BASES DE DATOS Y ÁREA DE ESTUDIO	2
2.1	Área de estudio.....	2
2.2	Bases de datos instrumentales.....	3
2.2.1	Boyas	3
2.2.2	Mareógrafos.....	4
2.3	Bases de datos regionales.....	6
2.3.1	Vientos y Presión atmosférica a nivel del mar (CFSR).....	6
2.3.2	Oleaje (GOW2).....	6
2.3.3	Nivel del mar (GOS y GOT)	6
2.3.4	Validación de las bases de datos regionales	7
3.	CARACTERIZACIÓN DEL TEMPORAL GLORIA	10
3.1	Análisis en la cuenca occidental mediterránea.....	10
3.2	Downscaling en la región de Murcia.....	13
4.	IMPACTOS DERIVADOS DEL TEMPORAL.....	15
4.1	Hemeroteca	15
4.2	Análisis de las dinámicas marinas en la costa.....	18
4.3	Reconstrucción de la cota de inundación	22
4.4	Estudio de la inundación con alta resolución en un tramo de costa afectado.....	25
5.	CONCLUSIONES	30
	BIBLIOGRAFÍA	31
	APÉNDICES.....	34
A.	LISFLOOD-FP.....	34
A.1	Funcionamiento.....	34
A.2	Estructura	35
A.3	Códigos	37
B.	Análisis extremal GEV	40
C.	Mareógrafos	41
C.1	Descarga de datos de Puertos del Estado	41
D.	Videos	44
E.	Periodo de retorno de los extremos durante Gloria en los puntos de estudio.....	47
F.	Índice de inundación	49
F.1	Cálculo de pendiente.....	49
F.2	Cálculo del índice	52
F.3	Cálculo de la rugosidad de Manning	56
G.	Hemeroteca	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Zona de estudio.....	2
Figura 2 - Serie temporal de las boyas durante la borrasca Gloria	4
Figura 3 - Serie temporal de los mareógrafos durante la borrasca Gloria	5
Figura 4 - Correlación de las bases de datos GOT (a.) y GOS (b.) con el mareógrafo de Cartagena.....	7
Figura 5 - Serie temporal de marea astronómica y meteorológica en el mareógrafo de Cartagena durante Gloria	8
Figura 6 - Correlación de las base de dato GOW con la boya de Valencia	8
Figura 7 - Serie temporal de oleaje en la boya de Valencia durante Gloria.....	9
Figura 8 - Mapas de Hs (a.), Tp (b.), MM (c.) y viento y presiones (en hPa) (d.) para el día 19 de enero a las 16:00.....	10
Figura 9 - Mapas de Hs (a.), Tp (b.), MM (c.) y viento y presiones (en hPa) para el día 20 de enero a las 01:00	11
Figura 10 - Mapas de Hs (a.), Tp (b.), MM (c.) y viento y presiones (en hPa) (d.) para el día 20 de enero a las 15:00.....	12
Figura 11 - Mallas y puntos de cálculos empleados en el downscaling	13
Figura 12 - Validación del downscaling utilizando datos instrumentales (a.) y batimetría utilizada (b.)...	14
Figura 13-Mapas de Hs (a.), Tp (b.) para el día 20 de enero a las 02:00.....	14
Figura 14 - Imágenes de Jávea (Alicante) y Pérdida media de playa en la Com. Valenciana (b.) (Universitat Politècnica de València, 2020)	15
Figura 15 - Puerto de Barcelona durante Gloria.....	15
Figura 16 - Comparación de imágenes del satélite SENTINEL I de Copernicus antes y después de Gloria (COPERNICUS, 2020).....	16
Figura 17 - Inundación ocurrida en Cabo de Palos.....	16
Figura 18 - Impactos ocasionados por el temporal Gloria.....	17
Figura 19 - Pérdidas económicas ocasionadas por Gloria (Ministerio para la Transición Ecológica, 2020)	18
Figura 20 - Régimen extremal de las boyas de Cabo de Palos (a.) y Valencia (b.)	18
Figura 21 - Régimen extremal de los mareógrafos de Cartagena (a.), Alicante 2(b.), Gandía (c.), Mallorca (d.), Tarragona (e.), Valencia 3 (f.).....	19
Figura 22 - Puntos de cálculo	20
Figura 23 - Percentil del 95% de las variables Hs (a.) y marea meteorológica (b.) en los puntos de estudio	20
Figura 24 - Valores máximos de Hs durante Gloria (a.) y periodo de retorno de esos valores según el análisis GEV (b.).....	21
Figura 25 - Valores máximos de marea met. durante Gloria (a.) y periodo de retorno de esos valores según análisis GEV (b.)	22
Figura 26 - Serie temporal de las condiciones de oleaje durante Gloria en tres localizaciones distintas ...	23
Figura 27 - <i>CIFlood Index</i> con el pico con Hs (a.) y periodo de retorno del índice (b.)	24
Figura 28 - <i>CIFlood Index</i> con el pico con Marea Met. (a.) y periodo de retorno del índice (b.)	24
Figura 29 - <i>CIFlood Index</i> con el pico con el máximo de Hs y Marea Met. (a.) y periodo de retorno del índice (b.).....	25

Figura 30 - Delimitación del dominio del modelo y puntos utilizados del downscaling.....	25
Figura 31 - Serie temporal de uno de los puntos utilizados en el modelo	26
Figura 32 – MDT sin modificar discretizado entre -2.00 y 1.00 m (a.) y MDT modificado (b.)	27
Figura 33 - Rugosidad de Manning en la zona de estudio.....	27
Figura 34 - Máxima elevación de agua.....	28
Figura 35 - Máxima elevación de la cota de agua al sur del modelo (a.) y al norte (b.).....	29
Figura 36 - Funcionamiento de llenado de celdas en LISFLOOD-FP (University of Bristol, 2020)	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Características de las boyas.....	3
Tabla 2 - Características de los mareógrafos.....	5
Tabla 3 - Parámetros básicos utilizados en el modelo LISFLOOD-FP	35
Tabla 4 - Tipos de condiciones de contorno.....	36
Tabla 5 - Asignación de rugosidades de Manning.....	57
Tabla 6 - Hemeroteca del temporal Gloria	62

1. INTRODUCCION

El 17 de enero de 2020, un sistema de bajas presiones originado en Terranova, en el Atlántico Norte, evolucionó hacia Europa registrando valores récords de presión. El sistema llegó al noreste de la Península Ibérica el 18 de enero y se movió hacia el Mediterráneo Occidental al día siguiente. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) denominó a este temporal Gloria, que permaneció en el sureste de la península hasta el día 20, día en el que fue absorbido por un sistema mayor localizado en el mar de Alborán. El sistema resultante estuvo activo hasta el día 26 de enero, cuando se desplazó hacia Italia y se debilitó.

La actividad más intensa del temporal se produjo entre los días 20 y 23 de enero. Las condiciones de oleaje, viento y temperaturas ocasionaron grandes destrozos a lo largo de la cuenca mediterránea. El aumento del nivel del mar, provocado por la marea meteorológica asociada a las bajas presiones, y las grandes olas erosionaron numerosas zonas del litoral. Áreas como el Delta del Ebro resultaron totalmente anegadas debido a las inundaciones durante el temporal. Los valores extremales de oleaje, viento y presión hicieron que la borrasca Gloria resultase una de las más dañinas de los últimos años. En la boya de Valencia se alcanzaron los 8.44 m de altura de ola significativa (H_s), el mayor registro hasta la fecha del Mediterráneo Occidental.

Los valores inusuales en las variables meteorológicas y sus graves consecuencias en el litoral confieren al temporal Gloria una singularidad dentro de los temporales marítimos. En el presente documento se analizan los impactos producidos durante la borrasca en la cuenca mediterránea y se aplica un modelo de inundación bidimensional de alta resolución en la zona del Mar Menor. Se plantean los siguientes objetivos:

- (1) Recopilar la información de los impactos producidos por el temporal Gloria en el litoral mediterráneo (hemeroteca).
- (2) Analizar el carácter extremal de los sucesos ocurridos.
- (3) Estudiar la inundación en un tramo de costa en la región de Murcia con alta resolución.

El presente trabajo está compuesto por cuatro apartados principales. En el primero de ellos se introduce el área de estudio, describiendo la costa y clima mediterráneo. Además, se presentan las bases de datos regionales que han sido utilizadas para el análisis del temporal. En la siguiente sección se caracteriza el temporal analizando las variables de oleaje, viento y presión durante éste. Adicionalmente, se describe el downscaling realizado en la región de Murcia y que ha sido utilizado en el modelo de inundación.

En la primera sección del tercer apartado se describen los impactos ocasionados por el temporal en la cuenca mediterránea. Posteriormente, se analizan las dinámicas marinas presentes en la costa y se reconstruye la cota de inundación alcanzada durante el temporal. Este apartado concluye con los resultados del modelado de inundación de alta resolución. Finalmente, en el último apartado se presentan las conclusiones del estudio realizado. Se ha añadido un apartado de apéndices en el que principalmente se presentan los códigos de Matlab utilizados en la elaboración de este trabajo.

2. BASES DE DATOS Y ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Área de estudio

La zona de estudio se sitúa en la parte occidental del Mediterráneo. Está delimitada al norte con la provincia de Girona, limítrofe con Francia, al este por la isla de Mallorca y al sur por Almería. La zona norte (mar Balear) está dominada por una amplia plataforma cerca de la costa, entre 0 y 400 m de profundidad, alcanzando en su parte más oriental mayores profundidades, cercanas de los 2000 m. Entre la isla de Mallorca e Ibiza se sitúa el Canal de Mallorca, una depresión de 1000 m de profundidad. A medida que nos desplazamos hacia el sur la anchura de la plataforma se va reduciendo y se alcanzan profundidades de hasta 2800 metros.

El Mediterráneo es un mar semicerrado en el que hay unas condiciones de oleaje moderadas. Durante el verano, la zona occidental se sitúa al este del anticiclón atlántico de las Azores. Sin embargo, en invierno el clima está caracterizado por la actividad ciclónica. El clima en general es templado, con veranos calurosos y secos e inviernos lluviosos. La zona occidental está modulada la mayor parte del año por vientos procedentes del norte. Estos vientos se denominan de Tramontana y Mistral, proceden del norte y noroeste respectivamente y su origen es el resultado de los vendavales que se desarrollan en el Golfo de Génova y Golfo de Leones. La mayor parte de las tormentas marinas a lo largo de la zona del Mediterráneo Occidental se generan debido a estos vientos, y se caracterizan por alturas de ola significantes entre 0.1 - 1 m y periodos pico entre 3-6 s. En comparación con el norte de Europa, los eventos producidos en esta área son más cortos y menos intensos. La variabilidad en las condiciones de orografía, humedad y profundidad, unido a la reducida escala hacen que sea difícil establecer un patrón general del clima del Mediterráneo Occidental.



Figura 1 - Zona de estudio

Las temperaturas moderadas y una topografía en general caracterizada por grandes playas hacen de esta zona un importante punto socioeconómico. El turismo asociado a la costa

se ha convertido en un potente motor económico del lugar, y ha propiciado una transformación en torno a esta. Además de los numerosos puertos deportivos, a lo largo de la zona de estudio se distribuyen los puertos comerciales de Barcelona, Tarragona, Castellón, Valencia, Alicante, Cartagena, Almería y Baleares.

2.2 Bases de datos instrumentales

Los datos instrumentales utilizados en este estudio provienen de las boyas y mareógrafos instalados a lo largo de la cuenca Mediterránea. Estos datos han sido utilizados como validación del hindcast que se usará en el modelo.

2.2.1 Boyas

Se han utilizado los datos de boyas proporcionados por Puertos del Estado. El organismo clasifica las boyas según su ubicación, distinguiendo:

- REDEXT: Se trata de la Red de Boyas de Aguas Profundas. Las boyas de esta red están fondeadas lejos de la línea de costa a gran profundidad (al menos 200 metros), por lo que sus medidas no están limitadas por condicionantes locales. Representan observaciones representativas del oleaje en un tramo de costa.
- REDCOS: Es la Red de Boyas Costeras. Estas boyas se colocan a menos de 100 metros de profundidad, cerca de la costa. Están afectadas por el perfil de costa cercano, así como por los efectos del fondo sobre el oleaje, por lo que sólo son representativas de las proximidades de la boya.

Las boyas disponibles para el estudio han sido las de Cabo de Palos, Barcelona y Valencia. De Cabo de Palos se dispone de la boya costera y exterior, aunque la costera no alcanza al periodo de estudio de este análisis. Las boyas de Barcelona y Valencia corresponden a la red de boyas costera y exterior respectivamente, aunque para la de Barcelona no se dispone de datos durante la duración de Gloria. En la Tabla 1 se resumen las características de las boyas utilizadas. Todas son direccionales y se disponen unos 15 años de datos de cada una.

Boya	Servicio	Red	Coordenadas [lon,lat]	Profundidad	Fechas	Tipo
Barcelona	Puertos del Estado	Costera	[41.32° N, 2.20° E]	68 m	03/2004-08/2020	Direccional
Valencia	Puertos del Estado	Exterior	[39.52° N, 0.20° E]	260 m	09/2005-08/2020	Direccional
Cabo de Palos	Puertos del Estado	Exterior	[37.65° N, 0.33° W]	230 m	07/2006-08/2020	Direccional

Tabla 1 - Características de las boyas

En la Figura 2 se representa la serie temporal de H_s , T_p y dirección de propagación del oleaje registrado durante Gloria en las boyas de Valencia y Cabo de Palos. Se puede apreciar como desde el día 18 de enero, las condiciones del oleaje se van haciendo más extremas, alcanzando su máximo el 20 de enero. En esta fecha, en Cabo de Palos se registró la mayor altura de ola significativa, de casi 6 m. La boya de Valencia también registra su máximo durante esta jornada, llegando a los 8 m.

Al igual que H_s , el periodo pico del oleaje también aumentó desde el 18 de enero, oscilando durante los días 20 y 21 alrededor de los 13 s. En los días consecutivos, tanto la altura del oleaje como el periodo de este van disminuyendo, volviendo a los valores previos a la borrasca.

En cuanto a la dirección del oleaje, esta cambia radicalmente al llegar la tormenta a la cornisa mediterránea. Tanto en la boya de Cabo de Palos como en la de Valencia, el oleaje comienza a llegar desde el Norte (0°) a partir del día 19 de enero. En los siguientes días, a medida que la borrasca se va moviendo, cambia la dirección del oleaje, llegando a los 90° con respecto al norte al final de la tormenta.

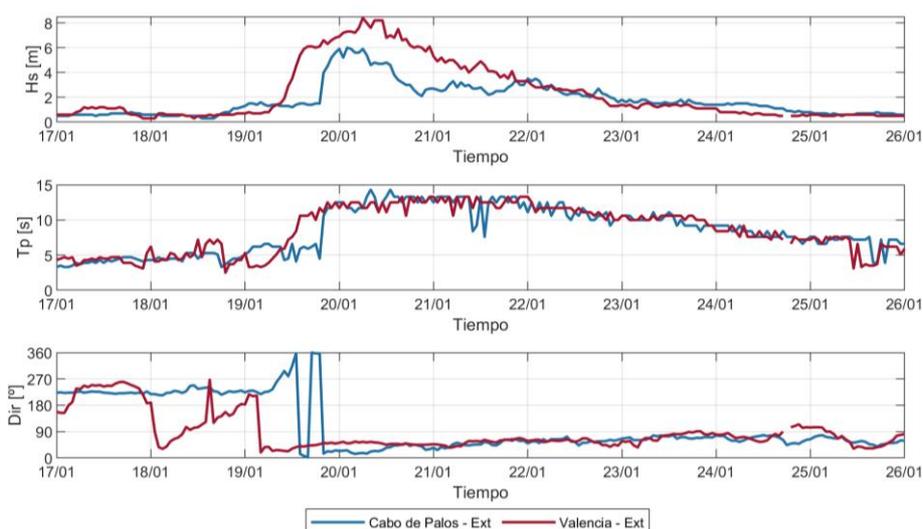


Figura 2 - Serie temporal de las boyas durante la borrasca Gloria

2.2.2 Mareógrafos

Los mareógrafos utilizados en este estudio corresponden tanto a Puertos del Estado (REDMAR) como al Instituto Geográfico Nacional (IGN). La frecuencia de muestreo de datos varía entre los mareógrafos, los organismos y a lo largo de los años. Es por ello por lo que se han unificado todas estas medidas en una escala horaria y referidos al nivel medio local.

En la Tabla 2 se resumen las características de los mareógrafos considerados. Se han utilizado las estaciones ubicadas a lo largo de toda la cuenca mediterránea y una en las Islas Baleares. El que tiene mayor cantidad de datos es el de Valencia, con 28 años de medidas. Los mareógrafos del IGN (Cartagena y Alicante) tienen una serie temporal que abarca en algunos casos desde 1970, pero debido a la calidad de los datos se ha reducido esta serie. En el caso del mareógrafo de Gandía, no hay datos durante el día 20 de enero. Aun así, se ha considerado dentro de la serie de estudio.

Mareógrafo	Acronimo	Servicio	Coordenadas [lon,lat]	Fechas
Cartagena	MUR2	IGN	[37.60° N, 0.97° O]	05/2005-08/2020
Alicante	ALAC2	IGN	[38.34° N, 0.48° O]	01/2000-08/2020
Gandía	GAN	Puertos del Estado	[39.00° N, 0.15° W]	09/2007-08/2020

Valencia	VAL3	Puertos del Estado	[39.44° N, 0.31° W]	10/1992-08/2020
Mallorca	MALL	Puertos del Estado	[39.56° N, 2.64° E]	09/2009-08/2020
Tarragona	TAR	Puertos del Estado	[41.08° N, 1.21° E]	05/2011-08/2020

Tabla 2 - Características de los mareógrafos

En la Figura 3 se representa la serie temporal de nivel del mar en los mareógrafos considerados. También se presenta la marea astronómica y residuo meteorológico calculados a partir del análisis armónico del nivel del mar total utilizando la herramienta UTide. En este estudio se ha configurado el algoritmo del programa UTide para realizar un análisis del nivel total del mar durante periodos de 2 años con el fin de obtener las componentes astronómica y meteorológica separadas para bloques temporales de un 1 año. Para tener en cuenta los datos previos y posteriores al año considerado, añade al análisis los 6 meses previos al año estudiado y los 6 meses posteriores, obteniendo las componentes armónicas de la marea durante este periodo. Este análisis permite estudiar el aumento del nivel del mar de marea meteorológica provocado por la borrasca Gloria.

En el primer gráfico de la Figura 3 se puede apreciar el aumento del nivel del mar durante Gloria. Al igual que en la Figura 2, las condiciones comienzan a ser más extremas a partir del día 18 de enero. El mayor nivel del mar se produce durante el 21 de enero, a diferencia de la altura de ola H_s , que se producía el 20. En Gandía y Valencia se llegan a alcanzar 0.6 m de marea con respecto al nivel medio, mientras que en Mallorca apenas sube el nivel del mar durante la borrasca. Este nivel más bajo con respecto al resto de mareógrafos puede deberse a que en esta localización las condiciones de la borrasca fueron menores o también puede deberse a que geográficamente el punto está resguardado. En puntos como Cartagena o Tarragona el máximo marea total llega a alcanzar los 0.3 m.

En la segunda parte del gráfico se observa como la marea astronómica es similar en todas las localizaciones, variando entre -0.1 m y 0.1 m. En la última parte del gráfico se observan resultados similares a la primera; en Gandía, Alicante y Valencia se produjeron los mayores niveles de residuo meteorológico, mientras que en Mallorca fue casi cero. En Cartagena y Alicante se alcanzó 0.2 m de residuo meteorológico durante el 21 de enero.

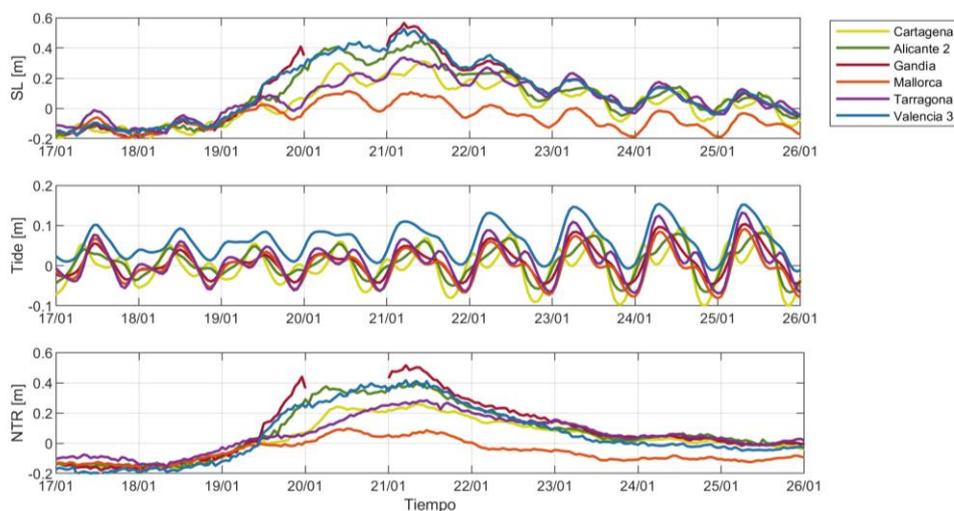


Figura 3 - Serie temporal de los mareógrafos durante la borrasca Gloria

2.3 Bases de datos regionales

2.3.1 Vientos y Presión atmosférica a nivel del mar (CFSR)

Las variables de viento y presión atmosférica se han obtenido a partir del reanálisis 'Climate Forecast System Reanalysis' (CFSR) elaborado conjuntamente por los organismos 'National Centers for Environmental Prediction' (NCEP) y 'National Center for Atmospheric Research' (NCAR). La primera versión del CFSR tiene una alta resolución espacial y abarca desde 1979 a 2009. Posteriormente se ejecutó la segunda versión desde 2009 hasta la actualidad (CFSv2), con una resolución espacial mayor. Las bases de datos de viento tienen una resolución espacial de $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ para la primera versión, y de $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ para la segunda. En el caso de la presión, su resolución espacial es homogénea para ambas versiones y es de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$.

2.3.2 Oleaje (GOW2)

El Hindcast de oleaje GOW2 (Global Ocean Waves), desarrollado por IHCantabria es una reconstrucción histórica realizadas a partir del modelo numérico WaveWatchIII (WWIII, Tolman, 1991). Este es un modelo espectral en el que se asume que las propiedades del medio y del campo de oleaje varían en el espacio y el tiempo a escalas mucho mayores que una longitud de onda, por lo que no se aconseja utilizar en la zona costera de rompientes con muy alta resolución. GOW2 (Perez, Menendez, & Losada, 2017) contiene información desde 1979. La última actualización de la base de datos alcanza hasta fin de febrero de 2020. Los forzamientos de GOW2 proceden del reanálisis global CFSR y de su continuación CFSv2. Se dispone de una malla global de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ con otra anidada de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ que sólo cubre zonas próximas a costa o a profundidades menores a 200 metros. GOW2 proporciona información de diferentes parámetros del estado de mar con resolución horaria.

2.3.3 Nivel del mar (GOS y GOT)

El nivel del mar viene se determina en base al conjunto de reconstrucciones históricas de la marea astronómica GOT (Global Ocean Tide) y de la marea meteorológica GOS (Global Ocean Surge).

La reconstrucción histórica GOS está generado por el modelo numéricos ROMS (Regional Ocean Model System) desarrollado por Rutgers (Shchepetkin & McWilliams, 2005). Se trata de un modelo oceánico tridimensional que resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas por Reynolds utilizando la aproximación de Boussinesq. Los forzamientos utilizados proceden del reanálisis atmosférico con cobertura global o de downscalings atmosféricos realizados a partir de los reanálisis globales. La base de datos GOS utilizada ha sido generada a partir del forzamiento CFS para Europa, con una resolución de $0.064^\circ \times 0.114^\circ$.

La base de datos GOT proporciona series horarias de marea astronómica a escala global. Se ha generado a partir de constantes armónicas derivadas del modelo de mareas mundial TPXO, desarrollado por la Universidad Estatal de Oregón, en sus diferentes versiones. El modelo busca el mejor ajuste, en mínimos cuadrados, a las ecuaciones de Laplace y a los datos promediados a lo largo de los tracks de TOPEX/Poseidon y Jason (mismos tracks que TOPEX / Poseidon, desde 2002). La base de datos incluye ocho constantes primarias

(M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1), dos largos períodos constituyentes (Mf, Mm) y 3 constituyentes armónicas no lineales (M4, MS4, MN4). A partir de esta información se reconstruye las series temporales horarias de marea en cualquier lugar del mundo utilizando la herramienta TMD. La versión del modelo usada es la TPX08 con 1/6 de grado de resolución.

Ambas bases de datos, GOT y GOS, vienen referidas al nivel medio del mar local. Al ser tan extensa la zona de estudio, este nivel medio puede variar a lo largo de esta. Usando los datos de referencia de los mareógrafos utilizados, las bases de datos GOT y GOS se han referido al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA).

2.3.4 Validación de las bases de datos regionales

En este estudio se usarán las bases de datos de las dinámicas marinas GOW, GOS y GOT para realizar el análisis del temporal Gloria. A continuación, se describe la validación realizada entre estas bases de datos y los datos instrumentales disponibles.

En el caso del nivel del mar, las bases de datos GOT y GOS se han validado con las mediciones tomadas en el mareógrafo de Cartagena, proporcionados por el IGN. Se ha realizado un análisis armónico de los datos instrumentales del mareógrafo de manera anual, como se ha explicado en el apartado 2.2.2. De esta forma, se ha podido extraer de estas mediciones la marea astronómica (TIDE) y residuo meteorológico (NTR). En la Figura 4 se presentan los errores entre las bases de datos y los datos instrumentales.

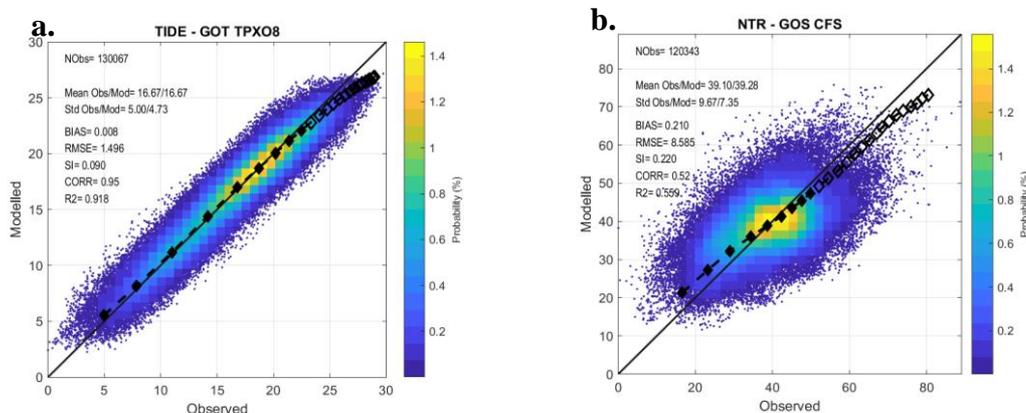


Figura 4 - Correlación de las bases de datos GOT (a.) y GOS (b.) con el mareógrafo de Cartagena

El presente estudio se ha realizado con la versión TPX08 de GOT con una resolución de 1/6 de grado. El error entre la base de datos GOT y la marea astronómica registrada por el mareógrafo es casi despreciable, cercano a 1.5 cm. La correspondencia entre los datos modelados y observados es alta, por lo que se considera adecuada la base de datos GOT.

En cuando al residuo meteorológico, el error entre la base de datos GOS y la marea meteorológica calculada a partir del análisis armónico es del orden de los 8 cm. La correlación también es baja en comparación con la base de datos GOT. Estos resultados pueden deberse a que durante los fenómenos extremales las diferencias entre el modelo y los datos observados se hacen más grandes. Como se puede apreciar en la Figura 5 en la que se presenta la serie temporal de las bases de datos y los datos instrumentales durante

Gloria, la base de datos GOS sigue la tendencia de los datos registrados los días previos al pico del temporal. Cuando la marea meteorológica llegó a su valor más alto, la base de datos subestima su valor con una diferencia de casi 10 cm. Por otro lado, en la misma figura, se observa como durante todo el temporal la diferencia entre la base de datos GOT y el registro del mareógrafo es muy pequeña.

La baja correlación entre los datos instrumentales y la base de datos GOS puede deberse también a la resolución de estas. En el caso del GOS, su resolución es de casi 8 km, mientras que los datos del mareógrafo aportan información muy local situada dentro del puerto.

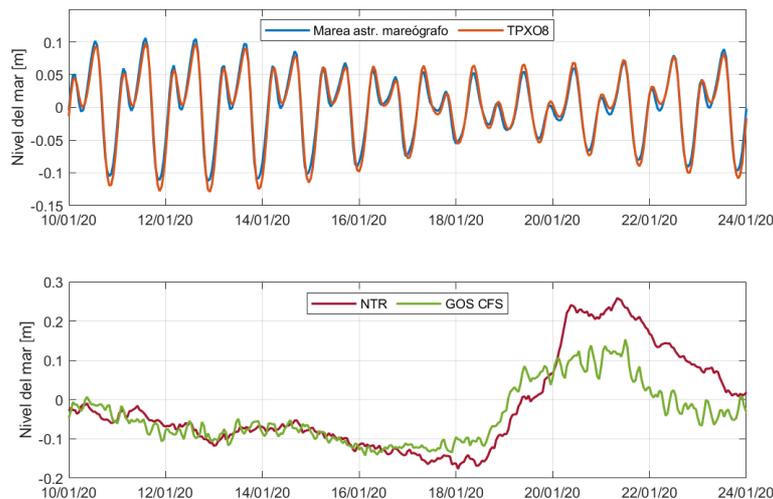


Figura 5 - Serie temporal de marea astronómica y meteorológica en el mareógrafo de Cartagena durante Gloria

La base de datos GOW se ha validado con el registro de la boya de Valencia. Como se comentó en el apartado 2.2.1, el registro de esta boya abarca desde 2005 hasta 2020. En la Figura 6 se presentan los errores y correlación para las variables H_s y T_p . En el caso de H_s , el error es de casi 30 cm, con una correlación cercana a 0.80. Para la variable del periodo pico, la correspondencia baja hasta casi el 0.60, siendo aun así un valor adecuado.

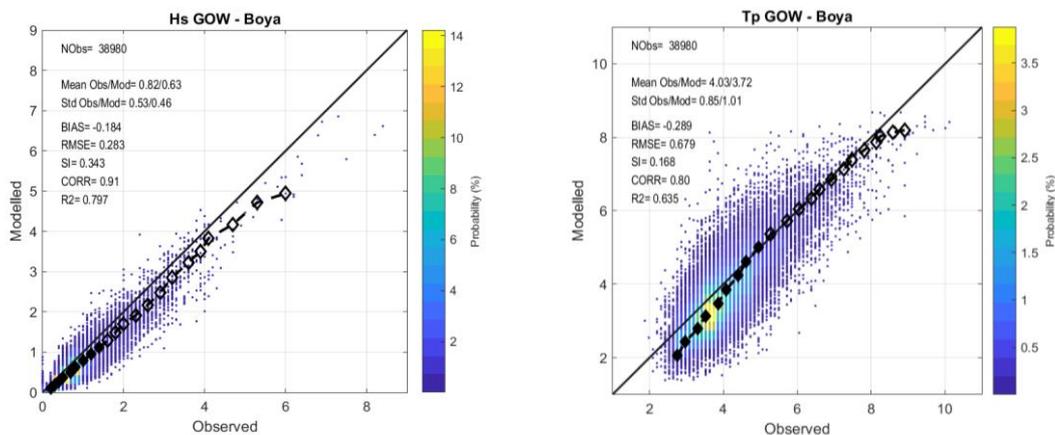


Figura 6 - Correlación de las base de dato GOW con la boya de Valencia

En la Figura 7 se grafica la serie temporal de la base de datos GOW y el registro de la boya de Valencia durante Gloria. En el caso de H_s , tanto los datos del modelo como los

observados son muy parecidos los días previos al pico del temporal. Durante el día 20 de enero hay una diferencia de 1.5 m entre las bases de datos. La variable T_p sigue la misma tendencia que H_s durante los días previos al pico del temporal, y durante este se alcanza una diferencia de casi 2.5 s entre la base de datos GOW y la boya. Aunque el modelo subestime los valores extremales para ambas variables, la base de datos se considera adecuada para este estudio. Por último, en cuanto a las direcciones, los datos modelados y observados son muy parecidos, existiendo algunas diferencias puntuales.

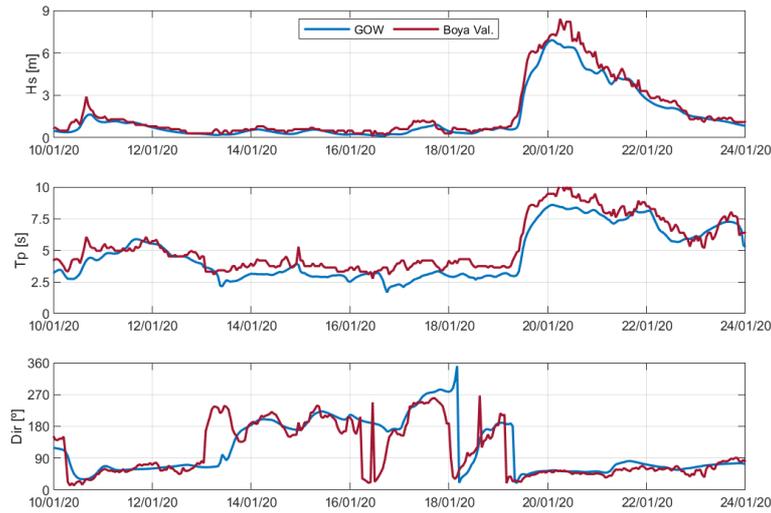


Figura 7 - Serie temporal de oleaje en la boya de Valencia durante Gloria

3. CARACTERIZACIÓN DEL TEMPORAL GLORIA

3.1 Análisis en la cuenca occidental mediterránea

El temporal Gloria se originó a partir de un sistema de bajas presiones procedente del Atlántico norte. Este sistema se formó el 17 de enero cerca de Terranova y se movió rápidamente hacia Europa el mismo día, registrando valores de presión récord de 1050 hPa (valor de presión más alto registrado en MetOffice desde 1957). El día 18 de enero tocó tierra en el noroeste de la Península Ibérica y se fue desplazando hacia el sureste llegando al Mediterráneo Occidental al día siguiente. En ese momento, el sistema aumentó su intensidad y se convirtió en borrasca. La existencia de un gran anticiclón en Gran Bretaña potenció un gradiente de presiones desde el sur de Francia hacia Baleares, lo que provocó fuertes vientos y oleaje. El día 20, el temporal fue absorbido por un sistema mayor de bajas presiones situado en ese momento en el mar de Alborán y que alcanzaba el sur de la península y gran parte de Marruecos. El sistema estuvo activo hasta el día 26 de enero, cuando se desplazó hacia en dirección Italia y se debilitó.

A continuación, se analizan las condiciones de oleaje, marea meteorológica, viento y presiones en tres instantes distintos del temporal. Estos instantes corresponden al 19 de enero a las 16:00 (Figura 8), al 19 de enero a las 01:00 (Figura 9) y al 20 de enero a las 15:00 (Figura 10).

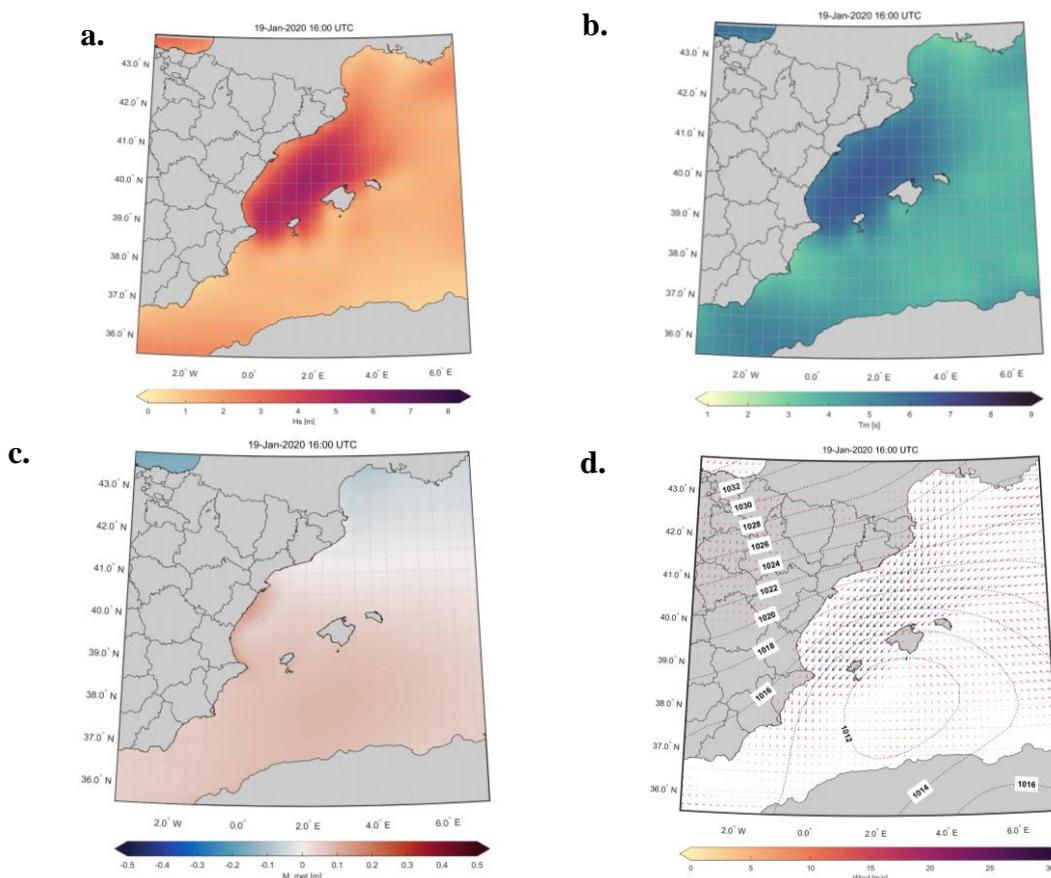


Figura 8 - Mapas de Hs (a.), Tp (b.), MM (c.) y viento y presiones (en hPa) (d.) para el día 19 de enero a las 16:00

El día 19 de enero a las 16:00 las condiciones de oleaje comenzaban a aumentar en la costa valenciana (Figura 8). El centro de bajas presiones estaba situado al sur de Mallorca (Figura 8d). En la zona sur, en la zona de Murcia, las condiciones de oleaje eran relativamente bajas, entre 1-2 m. La MM tenía valores relativamente pequeños, cercanos a 0.10 m en la zona del Delta del Ebro.

Unas horas después, el sistema había evolucionado y las condiciones de oleaje, marea y viento se amplificaron llegando a la zona sur del dominio (Figura 9). Los valores más altos de H_s estaban en el Cabo de la Nao. Una hora después, se llegó alcanzar el valor máximo de H_s durante temporal cerca de Valencia, con 8.32 metros. Esto se sumó a unas rachas de viento en dirección SO de alrededor de 26 m/s y un periodo T_m de 8.50 s. La MM llegó en algunos puntos a valores cercanos a 0.40 m.

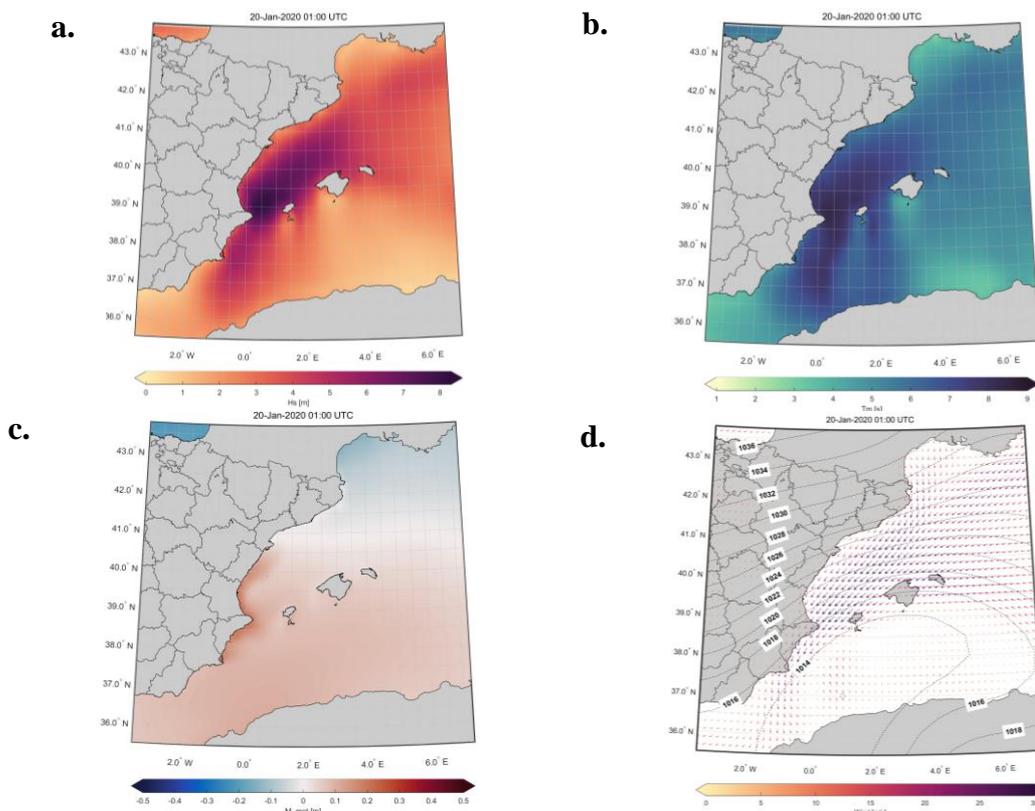


Figura 9 - Mapas de H_s (a.), T_p (b.), MM (c.) y viento y presiones (en hPa) para el día 20 de enero a las 01:00

El mismo día 20, las condiciones de oleaje en la zona de Murcia se redujeron, pasando a los 2-3 m de H_s (Figura 10). Durante estas horas se produjeron las máximas alturas de ola significativa en la zona norte de estudio (costa de Cataluña). La marea meteorológica alcanzó sus máximos valores, cerca de 0.5 m en puntos de Valencia y el viento soplaba en dirección SO.

El sistema se fue debilitando a medida que el centro de bajas presiones se desplazó hacia el oeste. Durante los días que duró el temporal, se registraron numerosos eventos de nieve, lluvias e inundaciones costeras. Las rachas de viento alcanzaron sus valores máximos los días 19 y 20, llegando en Valencia a velocidades de 115 km/h. Las ayudas proporcionadas por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico suman 19.75 millones

de euros de los cuales 9.6 fueron destinados a la Comunidad Valenciana, 5.75 a Cataluña y 4.4 a las Islas Baleares.

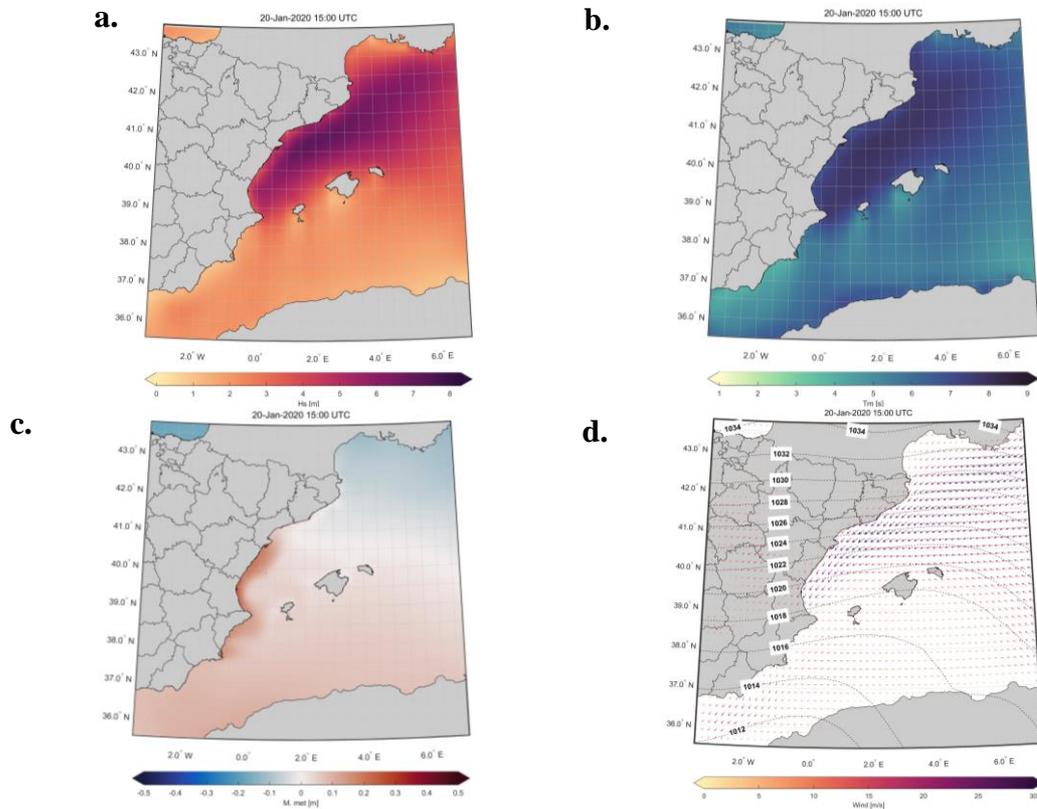


Figura 10 - Mapas de Hs (a.), Tp (b.), MM (c.) y viento y presiones (en hPa) (d.) para el día 20 de enero a las 15:00

3.2 Downscaling en la región de Murcia

El estudio en detalle de la inundación ocurrida en Murcia durante el temporal Gloria se ha basado del downscaling realizado en esta región. Se trata de un ROW (Reanalysis Ocean Waves), un hindcast de oleaje generado a partir de un downscaling dinámico, modelado numéricamente con un modelo SWAN (Simulating WAVes Nearshore). El modelo SWAN fue desarrollado por Delft University of Technology y está basado en la ecuación de acción de onda que promedia la fase, lo que permite simular adecuadamente los procesos de refracción, asomeramiento, disipación con el fondo, rotura, interacciones no lineales y generación de oleaje por viento.

Este cuenta con puntos de reanálisis con una resolución de $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ distribuidos en dos mallas que cubren toda la zona costera de Murcia (Figura 11). La elección de estas dos mallas se ha basado en la orientación de la costa y en cuestiones computacionales. Ambos dominios albergan una zona común, delimitada entre Cartagena y Calabardina.

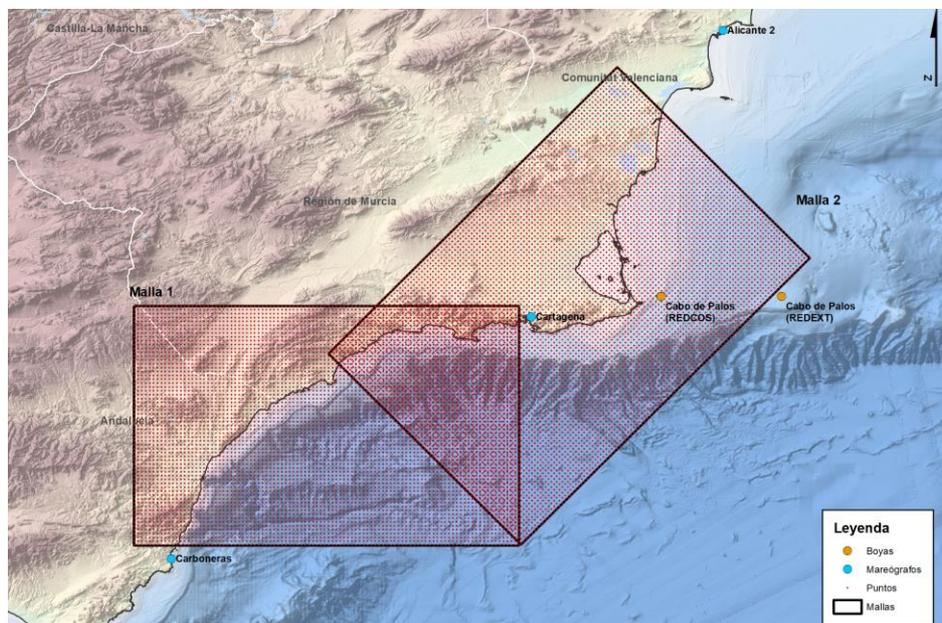


Figura 11 - Mallas y puntos de cálculos empleados en el downscaling

Los contornos del modelo han sido forzados con datos espectrales de GOW2 calibrados con datos de boyas del lugar (Figura 12a). Para la marea astronómica y meteorológica se han usado los datos del reanálisis GOT y GOS respectivamente. Para la calibración de estos datos de reanálisis se han empleado los mareógrafos ubicados en la zona de estudio. Se ha realizado un análisis armónico del nivel registrado por el mareógrafo para desagregar la marea astronómica de la meteorológica. Se han utilizado los vientos procedentes del reanálisis CFSR y no se ha realizado downscaling de vientos. El periodo de datos de oleaje obtenidos del downscaling abarca desde 1982 a 2020.

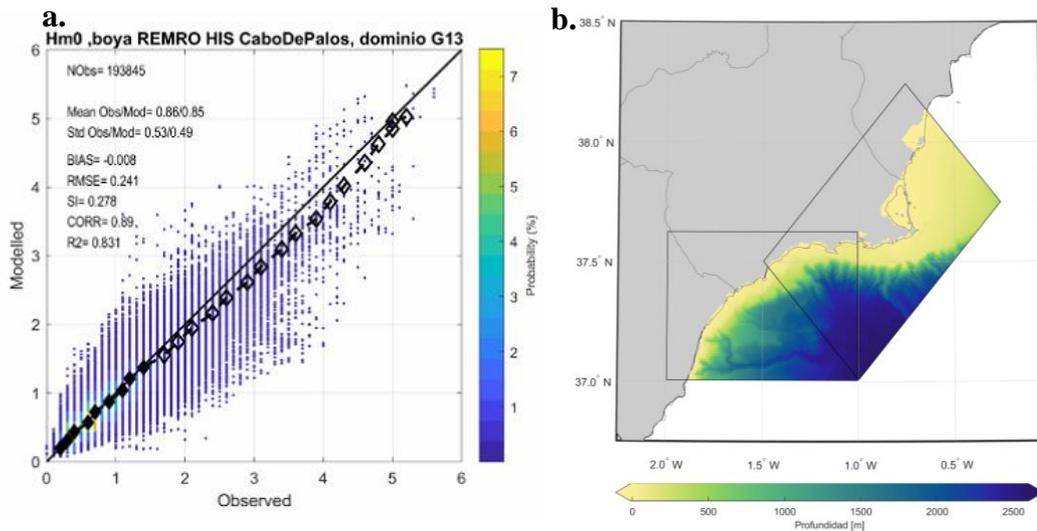


Figura 12 - Validación del downscaling utilizando datos instrumentales (a.) y batimetría utilizada (b.)

La batimetría usada es la proporcionada por EMODNET (EMODNET, 2020) y ecocartografías en detalle (Ministerio para la Transición Ecológica, 2020). Estas últimas abarcan 300 metros de anchura en costa y llegan hasta la isobata de 40 metros. Se ha realizado una composición a partir de estos datos para la zona más próxima a costa y para el resto de áreas se ha utilizado los datos de EMODNET, que tienen una resolución de 115 x 115 m (Figura 12b) Aquellas áreas dentro de la franja de 300 m cerca de costa en las que la ecocartografía no tuviese datos se han completado con la batimetría de EMODNET.

En la Figura 13 se presentan los mapas de las variables H_s y T_p de la malla 2 durante el pico del temporal Gloria. Se puede apreciar como en Murcia se alcanzaron los 6 m de altura de ola significativa en la zona de Cabo de Palos. El área más occidental del modelo se encuentra más protegida del centro del temporal, por lo que está dominado por olas de menor valor.. El durante el máximo del temporal, el periodo en la malla 2 permaneció casi constante, cercano a los 10 s. En la zona occidental su valor aumentó ligeramente hasta los 13 s.

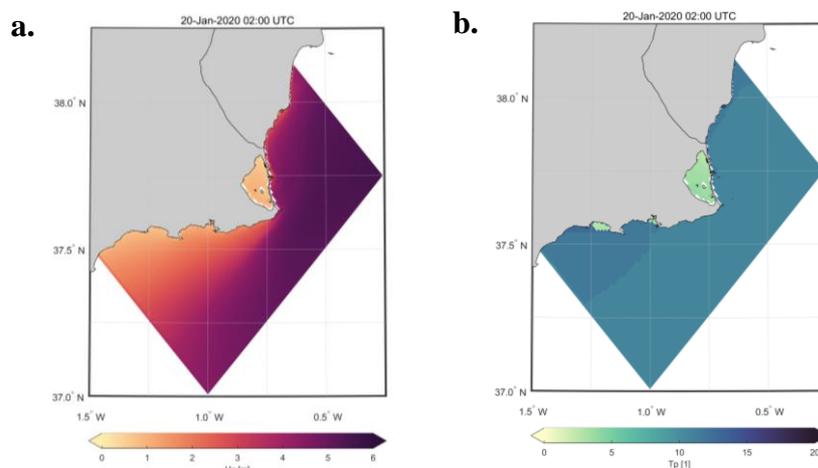


Figura 13-Mapas de H_s (a.), T_p (b.) para el día 20 de enero a las 02:00

4. IMPACTOS DERIVADOS DEL TEMPORAL

4.1 Hemeroteca

El temporal Gloria llegó al noroeste de península el 18 de enero de 2020. El sistema alcanzó la cuenca mediterránea el día 19, llegando el pico del temporal al día siguiente (Figura 9). Cataluña, Comunidad Valenciana, Islas Baleares y Murcia permanecieron en alerta por oleaje y viento durante el día 20 por la Agencia Estatal de Meteorología, rebajando la alerta el día 21. Una de las zonas más afectadas fue la Comunidad Valenciana, donde se llegó a registrar una altura de ola significativa de 8.44 m en la boya de Valencia. Uno de los municipios más afectados fue Jávea, donde el oleaje irrumpió en esta localidad alicantina causando graves destrozos en comercios y viviendas del municipio, como se aprecia en la Figura 14a.

a.



b.

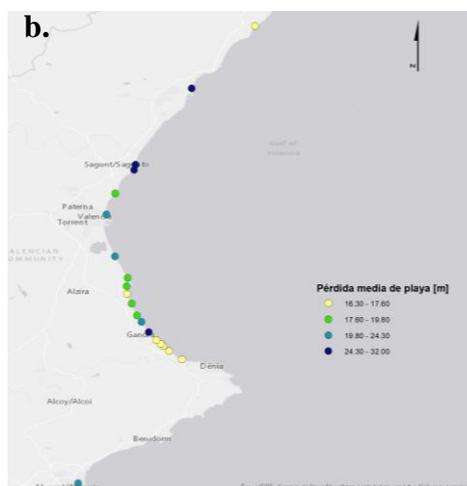


Figura 14 - Imágenes de Jávea (Alicante) y Pérdida media de playa en la Com. Valenciana (b.) (Universitat Politècnica de València, 2020)

La pérdida de playa por el temporal alcanzó como mínimo de media 16.30 m, según una publicación de la Universidad Politécnica de Valencia. Este estudio analizó la línea de costa a lo largo de 200 km entre Vinarós y Dénia utilizando imágenes del satélite Sentinel 2 antes y después del temporal, con una precisión cercana a los 4 m. Sus resultados se muestran en la Figura 14b. Se puede observar cómo, aun para los valores mínimos, se produce un gran retroceso de la línea de costa tras Gloria. En localidades como Gandía, Sagunto o Valencia, la línea de costa llega a retroceder más de 24 metros. Sólo en la ciudad de Valencia, el ayuntamiento cifra los destrozos en casi 1.4M €.



Figura 15 - Puerto de Barcelona durante Gloria

En Barcelona se produjeron grandes inundaciones en sus calles y en las playas, con las consecuentes pérdidas de arena. Los diques de contención provisionales instalados por las autoridades no fueron suficiente para evitar los desperfectos ocasionados por el temporal. El puerto de la ciudad tuvo que ser cerrado y las embarcaciones se vieron afectadas por el gran rebase (Figura 15). En Tossa de Mar hubo también grandes inundaciones que se sumaron al desbordamiento de un arroyo cercano.

La zona del Delta del Ebro también sufrió grandes inundaciones durante la borrasca, como se muestra en la Figura 16. Se presentan las imágenes del satélite Sentinel 1 generadas por Copernicus EMS del estado previo y posterior a Gloria del Delta del Ebro. Las inundaciones llegaron a adentrarse en tierra hasta 3 km, haciendo desaparecer playas, caminos, pasarelas y cerca de 3000 hectáreas de cultivos de arrozales. Además, el fuerte oleaje hizo que se liberaran 10000 atunes enjaulados junto al Delta. Cabe destacar que no toda la inundación se debió al oleaje, se produjeron desbordamientos de ríos debido a las fuertes lluvias, por lo que no se trató de un fenómeno exclusivamente costero.

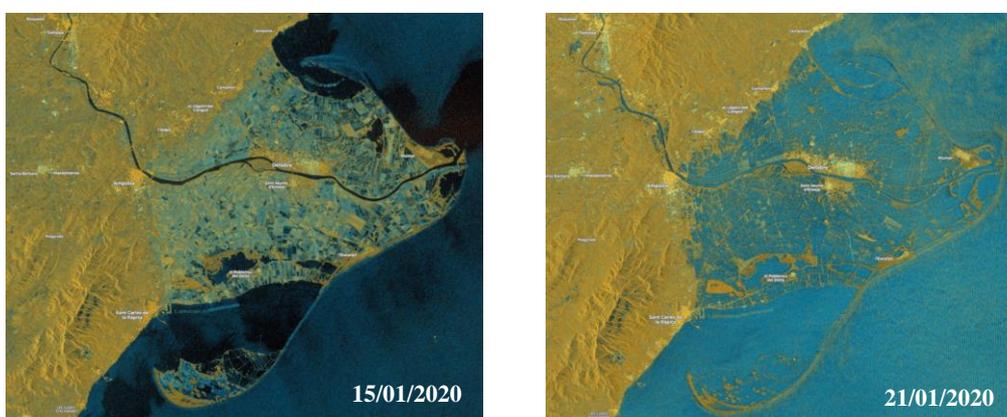


Figura 16 - Comparación de imágenes del satélite SENTINEL I de Copernicus antes y después de Gloria (COPERNICUS, 2020)

En la zona de Murcia, los mayores impactos ocurrieron en la zona del Mar Menor y Cabo de Palos. En la localidad de Los Alcázares, las fuertes lluvias unidas al aumento del nivel del mar provocaron grandes inundaciones en el paseo marítimo. Se llegó a demoler parte de un muro de protección para evitar que el agua llegara a las viviendas. En los municipios colindantes como San Javier se cortaron numerosas calles y carreteras. También se vieron afectados por inundaciones los municipios de Los Urrutias, Los Nietos y Playa Honda, todos en el interior del Mar Menor.



Figura 17 - Inundación ocurrida en Cabo de Palos

En la zona de Cabo de Palos y La Manga, el fuerte viento ocasionó numerosos destrozos a lo largo de la ciudad. Se produjo una fuerte inundación durante la madrugada del 20 de enero en la zona del puerto deportivo de Cabo de Palos y en la urbanización Las Sirenas, al norte de este (Figura 17). Las olas destrozaron varios locales del paseo marítimo y obligaron a las autoridades a realizar un pequeño dique de arena para evitar que el agua llegara a una carretera cercana. El ayuntamiento de Cartagena cifra los daños en esta zona en unos 600,000 €.

Se presenta un mapa resumen de los impactos del temporal Gloria en el litoral mediterráneo en la Figura 18. En total hubo cuatro muertes asociadas a fenómenos costeros, todas en su mayoría de personas que se cayeron al mar debido al fuerte oleaje. Todos los puertos importantes se cerraron al tráfico marítimo durante los peores días del temporal, ocasionando grandes pérdidas económicas. Aunque los impactos están repartidos a lo largo de la cuenca mediterránea, fue en la Comunidad Valenciana donde se produjeron los mayores desperfectos.

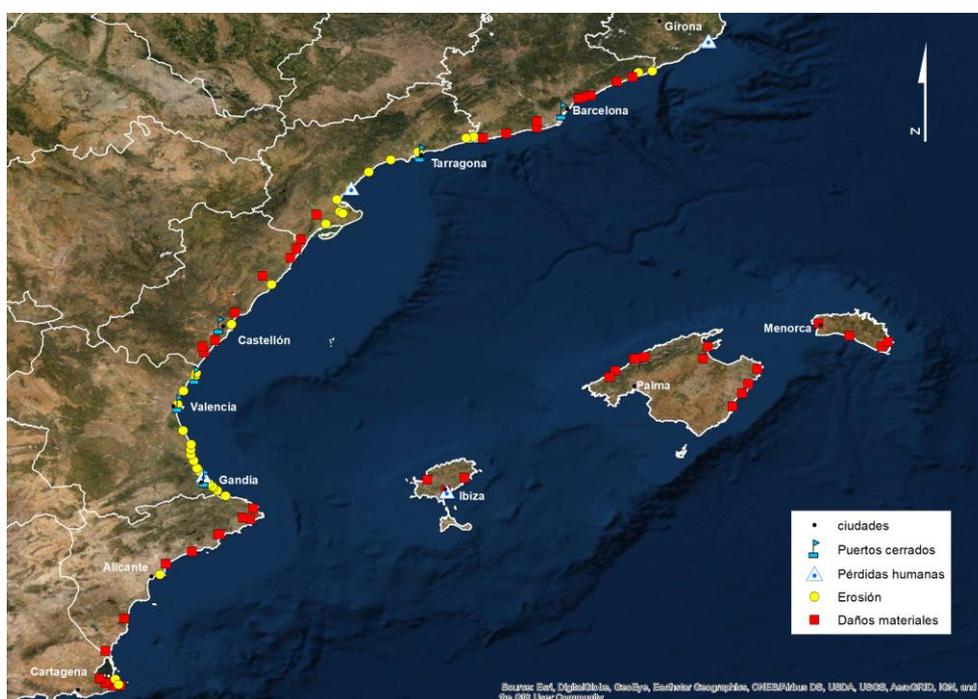


Figura 18 - Impactos ocasionados por el temporal Gloria

La base de datos de los impactos producidos que se presenta en la Figura 18 se ha realizado en base a las noticias de esos días, la hemeroteca relativa al temporal, el estudio de erosión en la Comunidad Valenciana y un informe del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico y se detallan en el apéndice G. Hemeroteca. En el informe del MITECO se enumeran y se presupuestan los desperfectos asociados a las dinámicas costeras producidos por Gloria en las comunidades autónomas afectadas (Figura 19). En las Islas Baleares los daños fueron menores como la rotura de pasarelas, acordonamientos y cartelera. Por otro lado, en Cataluña y Comunidad Valenciana, los daños fueron la pérdida de escollera en diques de protección, erosión de playas, destrucción de paseos marítimos y daños en sistemas dunares. Los daños totales ascienden a 24.25 M€, de los que 5.75 M€ se destinan a Cataluña, 9.6 M€ en la Comunidad Valenciana, 5.75 M€ en las Islas Baleares y 4.5 M€ en Murcia. Esta última comunidad no recibió ayudas directas

para los daños del temporal Gloria, sino que se destinó el dinero que previamente se había asignado para los impactos ocasionados por una DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos) ocurrida en octubre de 2019. Este fenómeno se origina por el choque de una masa de aire frío en altura con aire caliente de la superficie y es característico de la zona mediterránea durante el otoño.

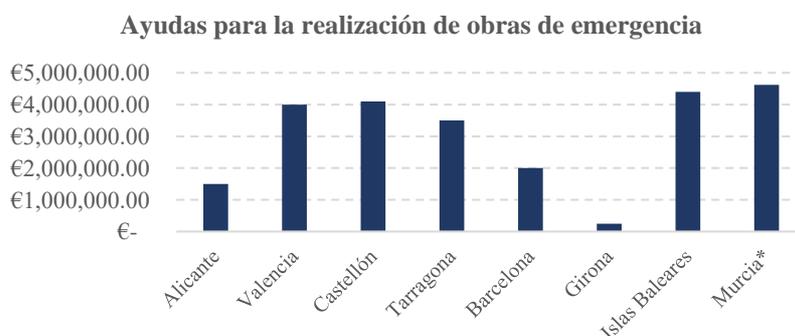


Figura 19 - Pérdidas económicas ocasionadas por Gloria (Ministerio para la Transición Ecológica, 2020)

4.2 Análisis de las dinámicas marinas en la costa

El temporal Gloria se caracterizó por los fuertes impactos ocasionados en el litoral occidental mediterráneo. Las condiciones de oleaje y meteorológicas presentes durante los días que duró el evento se caracterizaron por su alta excepcionalidad.

Se ha realizado un análisis extremal de la variable H_s medidas por las boyas de estudio que se representa en la Figura 20. En ambos casos se ha utilizado una GEV (Generalized Extreme Value distribution) de máximos anuales siguiendo la formulación descrita en el Apéndice B. El análisis en la boya de Cabo de Palos indica que el máximo producido durante la borrasca analizada tiene un periodo de retorno de 7.5 años, y se trata del segundo extremo mayor de la serie analizada. Por otra parte, del análisis de la boya de Valencia se puede observar que el extremo producido durante Gloria tiene un periodo de retorno de 17 años, el mayor de toda la serie. Aunque el registro de las dos boyas utilizadas no abarca más de 15 años, del análisis realizado se desprende la singularidad de las condiciones de oleaje durante el temporal.

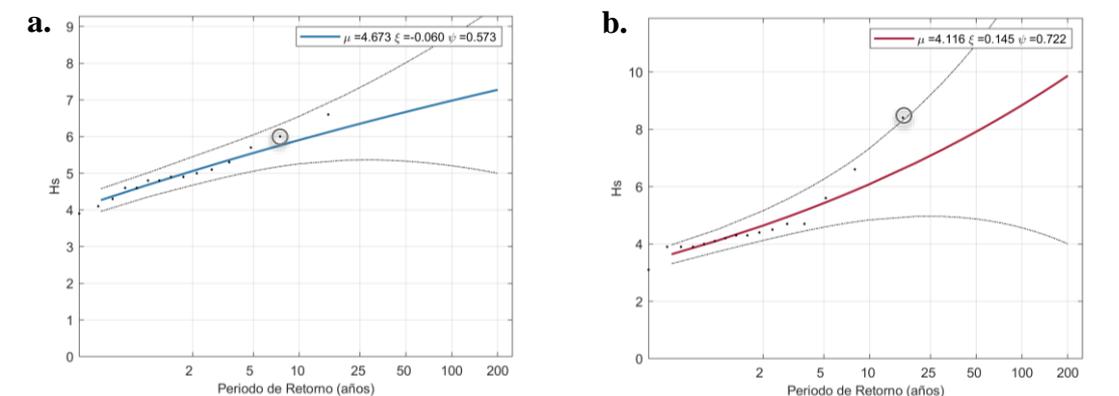


Figura 20 - Régimen extremal de las boyas de Cabo de Palos (a.) y Valencia (b.)

Se ha realizado el mismo análisis para estudiar las condiciones meteorológicas durante Gloria. Los resultados del análisis extremal del residuo meteorológico (NTR) realizado en los 6 mareógrafos de estudio se presentan en la Figura 21. Este análisis se ha realizado teniendo en cuenta toda la serie histórica de datos, que en algunos casos son casi 30 años. Según los valores máximos de la serie temporal (Figura 3) y el análisis realizado, los mayores periodos de retorno de los valores extremales durante Gloria se dan en los mareógrafos de Gandía (15 años), Valencia 3 (7 años) y Alicante 2 (3 años). Los mareógrafos de Cartagena, Mallorca y Tarragona registraron valores extremales durante la tormenta de alrededor de 1 año de periodo de retorno.

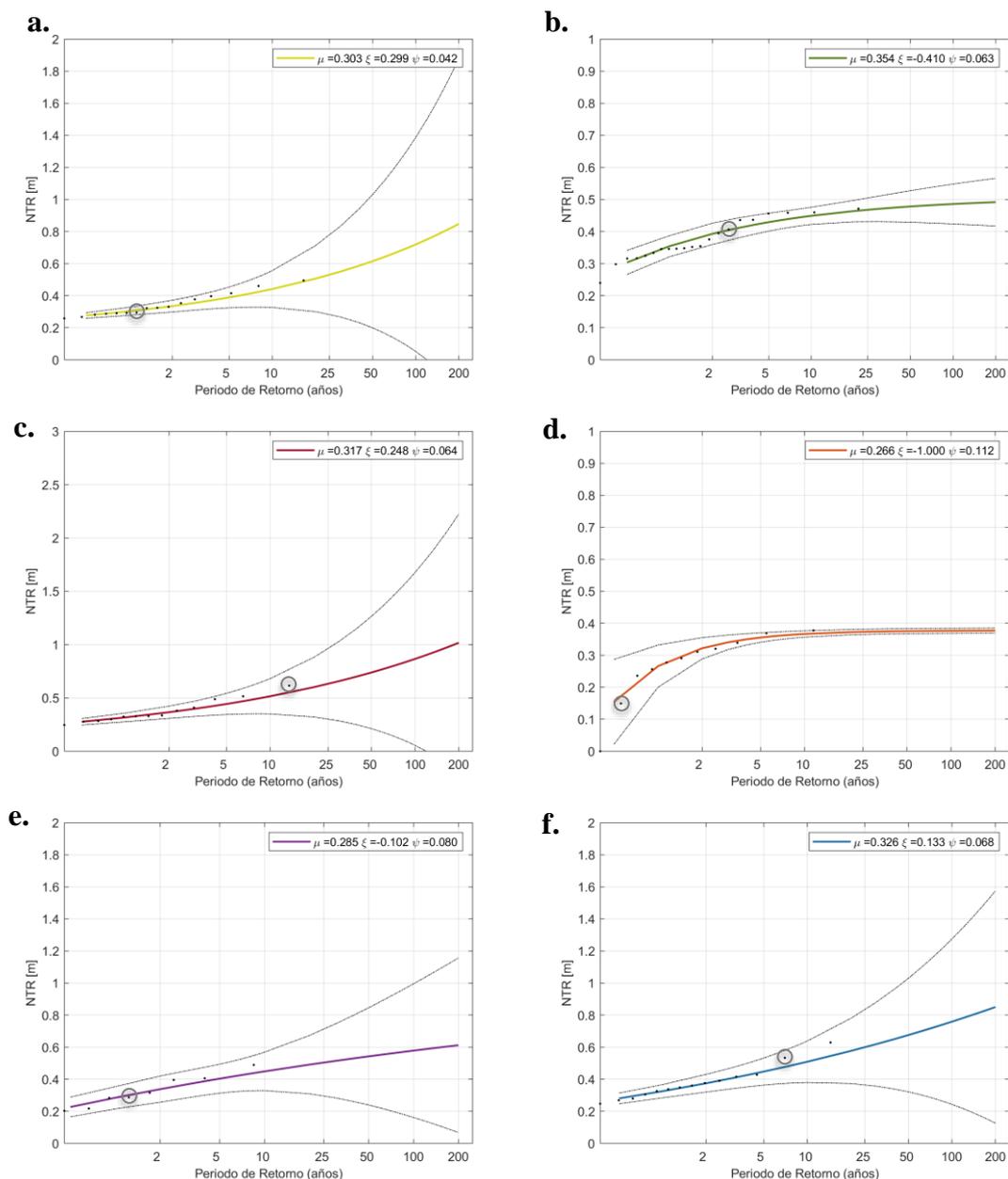


Figura 21 - Régimen extremal de los mareógrafos de Cartagena (a.), Alicante 2(b.), Gandía (c.), Mallorca (d.), Tarragona (e.), Valencia 3 (f.)

De la misma forma que para los datos instrumentales, se puede analizar el temporal utilizando las bases de datos regionales descritas en apartados anteriores. Para ello se han

utilizado una serie de puntos a lo largo del litoral mediterráneo (Figura 22). Se han usado aquellos puntos más cercanos a la línea de costa asociados a la base de datos GOS, que tienen una resolución de $0.064^\circ \times 0.114^\circ$. Para las variables de marea astronómica y oleaje, bases GOT y GOW respectivamente, se han utilizado los puntos más cercanos a cada uno de los puntos GOS escogidos. Los puntos se distribuyen desde el extremo norte de Cataluña, límite con Francia, hasta la provincia de Almería, en el sur. También cubren todo el ámbito de las Islas Baleares.



Figura 22 - Puntos de cálculo

Las condiciones características de las dinámicas marinas en estos puntos se han estudiado calculando el percentil del 95% de la altura de ola significativa H_s y marea meteorológica (Figura 23). Se puede observar que, en cuanto al oleaje, las Islas Baleares reciben mayor altura de ola en comparación con el litoral levantino. De olas que se aproximan a los 3 m en el norte de las islas, se pasa a 1.6-1.8 m entre Gandía y el Delta del Ebro. Esto se debe a que las islas protegen a la costa peninsular situada en frente de éstas, llegando olas más pequeñas a esta zona.

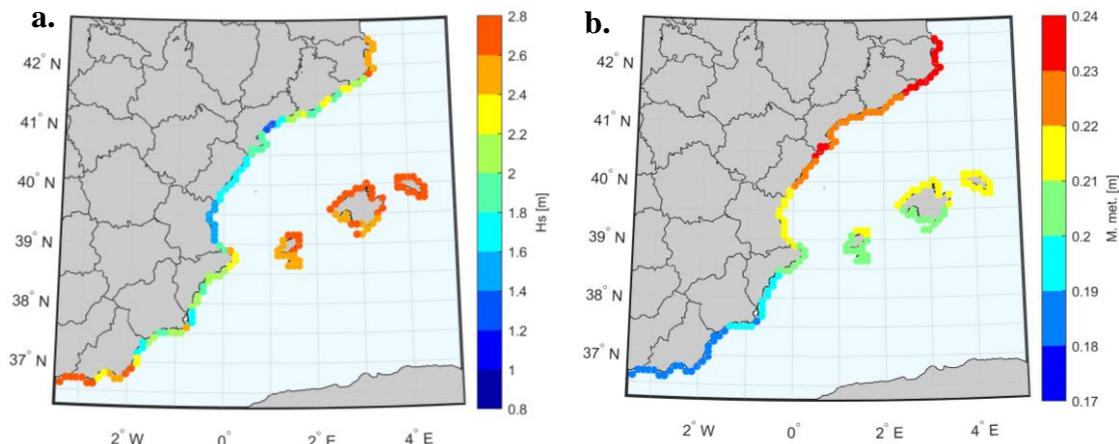


Figura 23 - Percentil del 95% de las variables H_s (a.) y marea meteorológica (b.) en los puntos de estudio

En Cabo de la Nao (frente a la isla de Ibiza), hay una mayor concentración de oleaje debido a su distribución geográfica en forma de saliente. En el resto de zonas del litoral, la altura de ola significativa permanece por debajo de los 2 m. Finalmente, en los extremos norte y sur del dominio de estudio vuelve a aumentar la altura de ola significativa del percentil del 95% hasta los 2.6-2.8 m.

Con respecto a la marea meteorológica, el percentil del 95% se sitúa en el intervalo de 0.17-0.24 m. Este se distribuye geográficamente de forma uniforme, teniendo los puntos del norte del dominio un valor mayor (cerca de 0.24 m) y bajando hasta 0.17 m conforme nos acercamos al sur de la zona de estudio.

Estas condiciones características cambiaron radicalmente durante Gloria. En la Figura 24 se presentan los máximos valores de H_s (a.) durante el temporal y su periodo de retorno asociado utilizando el análisis GEV. En este caso, las alturas de olas máximas estuvieron en la zona de Jávea (Cabo de la Nao) y norte de Ibiza. Se llegaron a alcanzar casi 9 m de altura de ola significativa, que contrastan con los 2.6 m característicos de esta zona en condiciones normales. A medida que nos alejamos de esta área hacia el sur o el norte, los valores máximos de H_s decrecen. Aun así, estos valores alcanzan en zonas como el Delta del Ebro y Barcelona los 6 m y 7 m respectivamente.

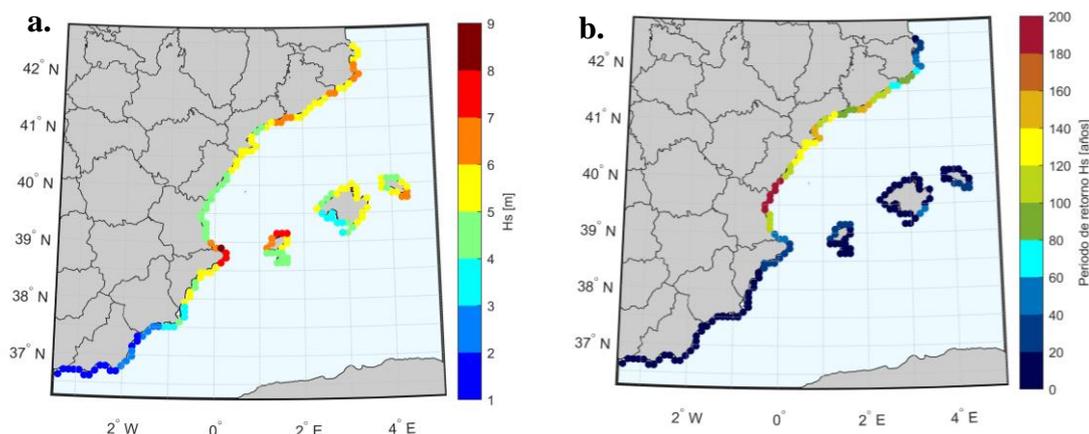


Figura 24 - Valores máximos de H_s durante Gloria (a.) y periodo de retorno de esos valores según el análisis GEV (b.)

La excepcionalidad de estos valores se puede estudiar en la Figura 24b. En general, se aprecia como las alturas de ola máximas alcanzadas son muy poco frecuentes dentro de la serie de la base de datos (1979-actualidad). En la zona de Valencia las alturas de ola máximas durante el temporal tienen un periodo de retorno de casi 200 años, el mayor de toda la zona de estudio. Los periodos de retorno más altos continúan desde esta zona hasta el sur de Girona, siendo en las islas y Murcia más bajo. Aunque la zona del Cabo de la Nao tuviese los máximos valores de H_s durante Gloria, su periodo de retorno es de 60 años, siendo aun así un valor alto.

Al igual que para H_s , en la Figura 25 se presentan los valores máximos de marea meteorológica (desacoplada de H_s) en los puntos de estudio durante Gloria y su periodo de retorno según el análisis GEV. Se conserva la misma tendencia y en la zona de Valencia y Castellón se alcanzaron los máximos valores de la zona de estudio, de hasta 0.35 m. Estos valores van decreciendo a medida que nos alejamos de esta zona, tanto hacia el sur como hacia el norte. Según el análisis extremal, estos máximos no suponen

periodos de retorno altos, como en el caso de H_s . El periodo de retorno más alto de marea meteorológica se da en Valencia y es de 2.25 años, lo que es un valor bajo.

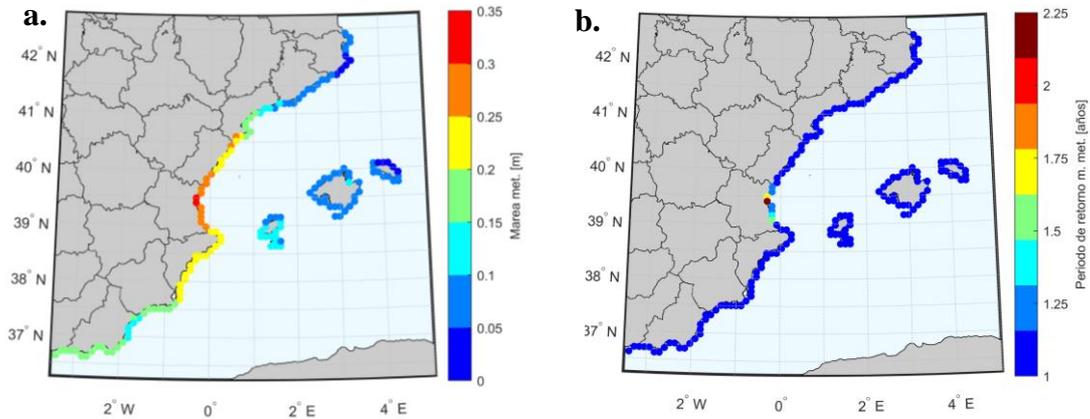


Figura 25 - Valores máximos de marea met. durante Gloria (a.) y periodo de retorno de esos valores según análisis GEV (b.)

4.3 Reconstrucción de la cota de inundación

A continuación, se realiza un estudio de la cota de inundación durante el temporal. Denominamos CI (Cota de Inundación) como el nivel máximo de agua alcanzado en cada uno de los puntos de estudio y se calcula como:

$$CI = NM + MA + MM + \eta \quad (1)$$

Con:

- NM : Referencia del nivel medio del mar. En este caso, se han referenciado todos los puntos al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA).
- MA : Marea astronómica, obtenida a partir de la base de datos GOT.
- MM : Marea meteorológica, cuyo valor proviene de la base de datos GOS.
- η : Se trata del setup, que es la sobreelevación del nivel del mar producida por la rotura del oleaje. El valor del setup η se ha calculado según la playa sea reflejante (2) o disipativa (3) (Stockdon, Holman, Howd, & Sallenger, 2006):

$$\eta = 0.38\beta_f(H_oL_o)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\eta = 0.016(H_oL_o)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Siendo H_o la altura de ola en aguas profundas, L_o la longitud de onda en aguas profundas y β_f la pendiente de la playa.

En la Figura 26 se presenta la CI calculada en tres puntos significativos de la cuenca mediterránea; en el Delta del Ebro, Jávea (Cabo de la Nao) y Cabo de Palos. También se han representado las variables que controlan CI. Estudiando estas variables se aprecia como el setup, y por consiguiente H_s , tiene más peso en CI que el resto de variables. Esto es debido a que tanto la marea astronómica como la meteorológica no alcanzan valores tan extremos como lo hace H_s . Se observa como el mayor nivel del mar de estos tres puntos se alcanzó en la zona de Jávea con 0.8 m.

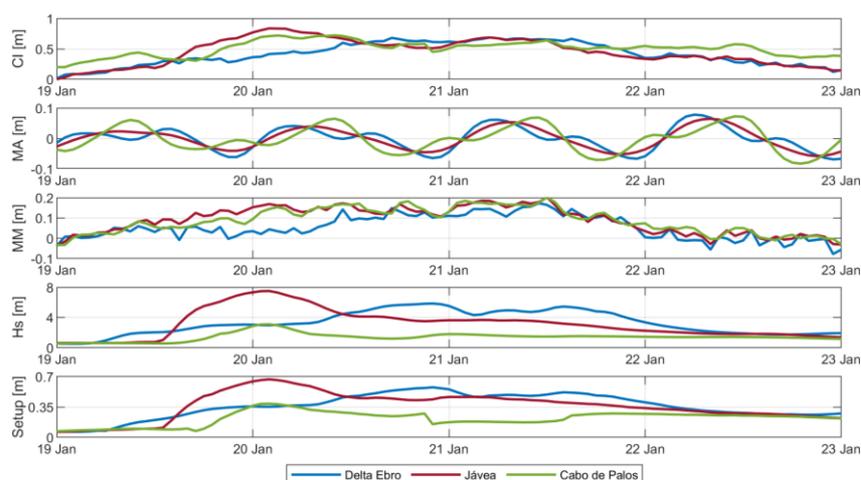


Figura 26 - Serie temporal de las condiciones de oleaje durante Gloria en tres localizaciones distintas

Utilizando información de la CI obtenida y de parámetros relacionados con el terreno, se ha calculado un Índice de cota de inundación (I_{CI}) a lo largo de todo el litoral mediterráneo como:

$$I_{CI} = n \cdot CI(\alpha_{GOS} + \alpha_{setup}) \quad (4)$$

Siendo:

- n : La rugosidad de Manning. Esta se ha calculado utilizando la capa Corine Land Cover del SIOSE como se describe en el Apéndice D.3. La rugosidad utilizada es la rugosidad media desde la línea de costa hasta llegar a la cota +10 m en tierra, ya que se asume que es la zona potencialmente inundable.
- CI : Cota de inundación, que se ha calculado según (1).
- α_{GOS} : Influencia de la marea meteorológica en la CI, que se ha calculado como el cociente entre estas variables.
- α_{setup} : Influencia del setup en la CI, que al igual que α_{GOS} , se ha calculado como el cociente entre las variables.

El I_{CI} se ha adaptado del índice elaborado por IHCantabria en el marco del proyecto europeo “Assessment of climate impacts on coastal systems in EU” financiado por el Joint Research Institute. Una vez calculado, se han escalado sus valores para que estuviera en el rango 1-4. Se ha calculado tres índices distintos en base a diferentes criterios: (1) según los valores durante el pico de H_s , (2) según los valores durante el pico de la marea meteorológica y (3) según los valores máximos de H_s y marea meteorológica (no concomitantes). Esta distinción se ha realizado a modo de análisis de sensibilidad para estudiar cómo varían los valores según los criterios seleccionados.

El primero se presenta en la Figura 27a. Se observa como los valores máximos del indicador están en la zona del Cabo de la Nao, en la zona de Jávea. El resto de valores máximos se sitúan en Delta del Ebro y norte de Cataluña, Islas Baleares y Murcia. En esta última zona, el máximo valor del índice se produce en Cabo de Palos. En la Figura 27b se ha representado el periodo de retorno de los valores de este índice durante Gloria según la serie total histórica. Los mayores periodos se sitúan en el litoral de las provincias

de Valencia y Castellón. En concreto, en Valencia se alcanza el máximo con un periodo de retorno de 100 años.

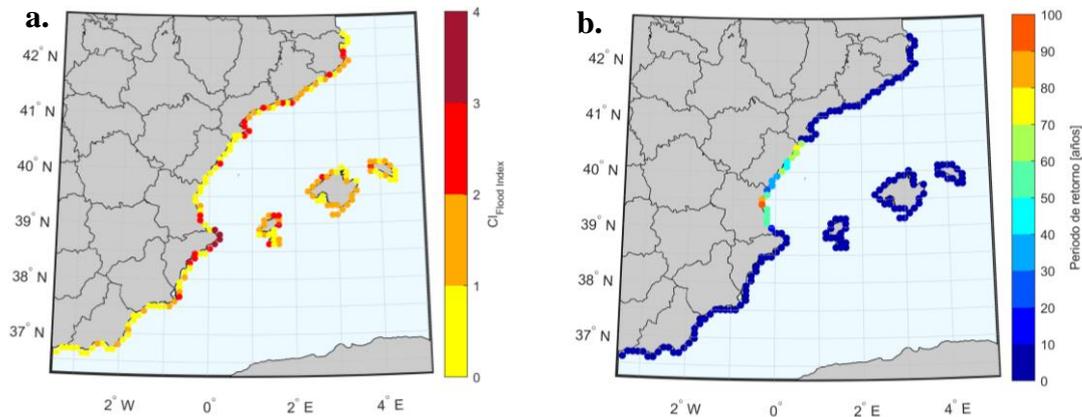


Figura 27 - $CI_{Flood Index}$ con el pico con H_s (a.) y periodo de retorno del índice (b.)

La tendencia del indicador calculado según el pico de H_s se conserva para el calculado según el pico de la marea meteorológica y el del máximo de H_s y marea meteorológica. En el del pico de marea meteorológica (Figura 28a), se conservan los valores máximos del anterior. El índice en los puntos de las provincias de Alicante y Tarragona aumentan su valor, conservándose en los puntos al sur y al norte de la zona de estudio. El periodo de retorno (Figura 28b) permanece igual.

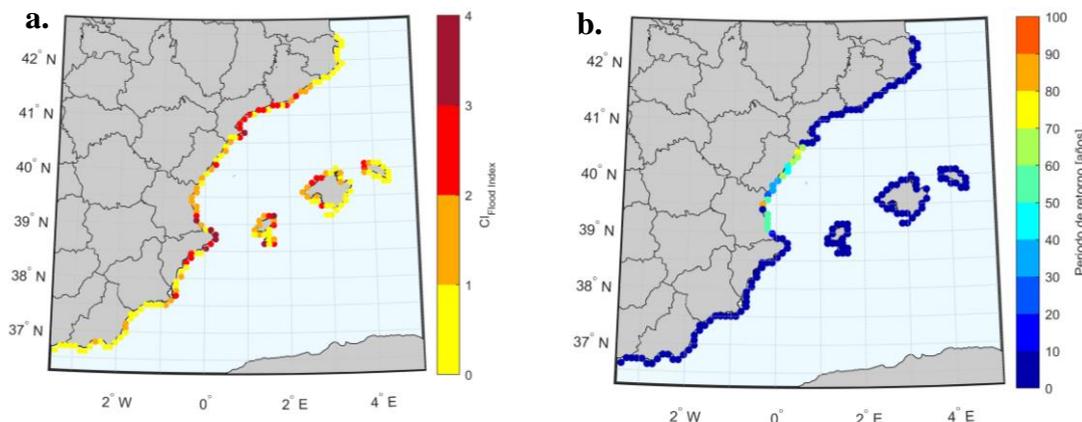


Figura 28 - $CI_{Flood Index}$ con el pico con Marea Met. (a.) y periodo de retorno del índice (b.)

El último índice se ha calculado según los máximos de H_s y la marea meteorológica (Figura 29a). La mayoría de los puntos permanecen en el mismo rango que en el gráfico inicial. En la zona de Murcia, el punto correspondiente al norte del Mar Menor aumenta su valor. De la misma forma, los valores del periodo de retorno (Figura 29b) son similares a los gráficos anteriores, con sus valores máximos en la Comunidad Valenciana.

Se puede concluir que el índice $CI_{Flood Index}$ calculado según los valores máximos de H_s y marea meteorológica (Figura 29a) ofrece los valores más desfavorables y, por tanto, más altos del índice. Aun así, los resultados son muy similares para ambas combinaciones de variables, tanto del índice como de su periodo de retorno con respecto a la serie histórica. Los bajos valores de marea meteorológica sumados a los valores extremales de H_s convierten a esta última variable en dominante en cuanto a la cota de inundación y a $CI_{Flood Index}$.

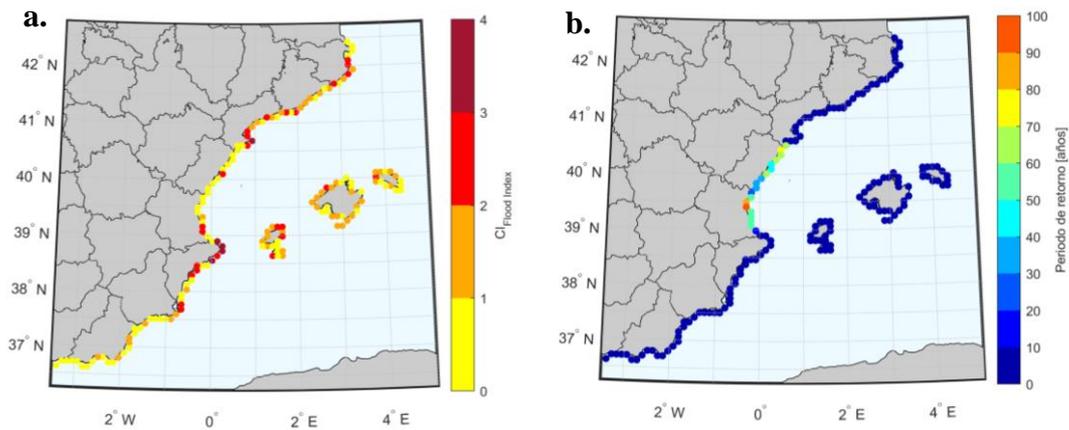


Figura 29 - $CI_{Flood Index}$ con el pico con el máximo de Hs y Marea Met. (a.) y periodo de retorno del índice (b.)

4.4 Estudio de la inundación con alta resolución en un tramo de costa afectado

En los apartados anteriores se han analizado las consecuencias del temporal a lo largo del litoral mediterráneo. A partir del índice de inundación I_{CI} se han detectado aquellas zonas donde los impactos fueron mayores. Una de esas zonas fue la situada al norte de la región de Murcia, en el Mar Menor. En el presente apartado, se ha aplicado un modelo de inundación para simular el nivel del mar total durante el pico del temporal.

El software utilizado ha sido LISFLOOD-FP. La zona de estudio se centra en Cabo de Palos, ubicado en la zona sur del Mar Menor. El dominio abarca unos 8 km de costa, desde el canal o “gola” de la Encañizada de Marchamalo en el norte hasta Cala de Flores en el sur (Figura 30). El funcionamiento del programa se describe en el Apéndice 34A. Los datos de entrada del modelo son: 1) serie temporal de CI con todos sus componentes, 2) el Modelo Digital de Terreno (MDT) de la zona de estudio y 3) la distribución espacial de la rugosidad de Manning en la zona d estudio.



Figura 30 - Delimitación del dominio del modelo y puntos utilizados del downscaling

El nivel total del mar se ha calculado como la suma de nivel medio, marea astronómica, marea meteorológica y setup siguiendo la ecuación (1). Este setup se ha calculado, utilizando la formulación de Stockdon (Stockdon, Holman, Howd, & Sallenger, 2006). El autor parametrizó el valor del setup para condiciones de oleaje presentes en la cota batimétrica -20 m. Para ello se han seleccionado los puntos del downscaling de Murcia más próximos a este nivel, siendo la separación entre cada punto de unos 200 metros.

Para el periodo de simulación se ha seleccionado el pico de cota de inundación del temporal en esta zona. En los puntos escogidos del downscaling, este pico se produjo el día 20 de enero a las 02:00 con una nivel total del mar de casi 1.5 m (Figura 31). A partir de este pico, se han cogido las 12 horas previas y las 12 horas siguientes, simulando desde las 12:00 del día 19 hasta las 12:00 del día 20. En la Figura 31 se aprecia como después del pico, la cota de inundación baja progresivamente hasta casi los 0.5 m. La altura de ola significativa llega durante el pico hasta casi los 5 m, estando al comienzo de la simulación en 0 m. El periodo pico del oleaje llega a casi los 13 s durante el pico, oscilando entre este valor y los 10.5 s el resto de la simulación. Las direcciones del oleaje se mantienen por debajo de los 90° durante toda la simulación.

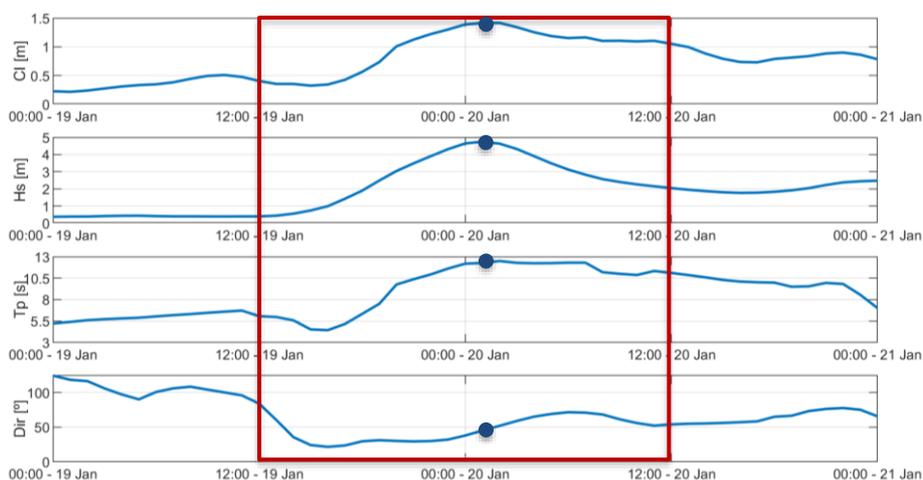


Figura 31 - Serie temporal de uno de los puntos utilizados en el modelo

El modelo simula la inundación en tierra sobre una malla regular en la que los elementos coinciden con las celdas del MDT. Se ha utilizado el MDT de 5 m de resolución horizontal proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (2009). Este modelo ha sido elaborado a partir de imágenes LIDAR y está referenciado al Nivel del Mar Medio de Alicante (NMMA).

Se ha realizado un preproceso de la malla de elevaciones para corregir algunos errores tomando como referencia las imágenes del PNOA. En la Figura 32a se representan las celdas del modelo desde -2.00 m a 1.00 m, junto con la línea de costa y las imágenes del PNOA. Se ha realizado la discretización para visualizar los errores en el MDT original en la zona de agua. Al sur del dominio representado, se puede apreciar algunos bajos junto a la playa contigua al puerto deportivo de Cabo de Palos. Además, debido a la forma de obtención del MDT, se ven cómo las elevaciones en la zona 'mar' fluctúan en torno a la batimétrica 0.00 m. Es por ello por lo que se ha decidido modificar el dominio en la zona 'mar', delimitado por la línea de costa, a la cota constante 0.00 m. También se ha modificado el interior de la dársena del puerto deportivo para que estuviera a una

profundidad constante, en este caso de 0.30 m. En la Figura 32b se representa el MDT modificado introducido en el programa LISFLOOD-FP.

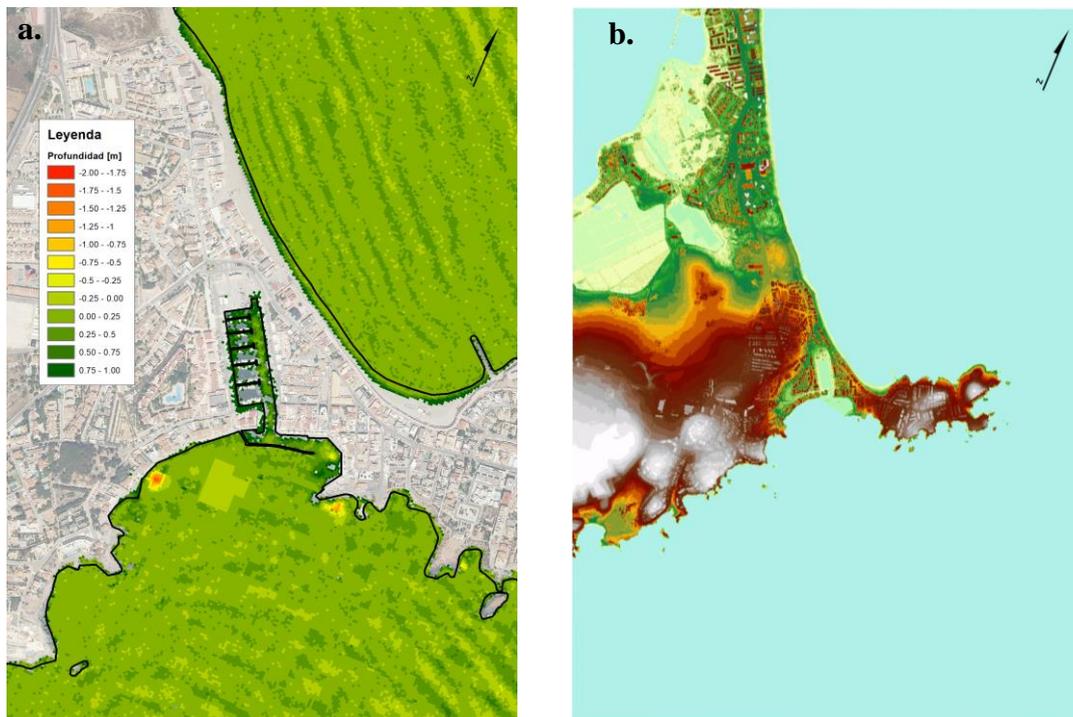


Figura 32 – MDT sin modificar discretizado entre -2.00 y 1.00 m (a.) y MDT modificado (b.)

El coeficiente de Manning se ha introducido en el modelo como una malla con las mismas dimensiones y extensión que el MDT. Al igual que en el apartado anterior, la capa se ha realizado utilizando el Corine Land Cover, como se describe en el Apéndice D.3. En la Figura 33 se muestran los valores de la rugosidad de Manning utilizados. A partir de los usos del suelo se ha asignado una rugosidad de Manning atendiendo a la clasificación MS-GAP (Bunya, y otros, 2010). Estos valores varían desde 0.025 para la zona de ‘mar’, hasta 0.121 para aquellas celdas correspondientes a zona urbana.



Figura 33 - Rugosidad de Manning en la zona de estudio

El modelo devuelve como resultado la elevación de la cota de agua en las celdas para cada paso de tiempo de simulación. Adicionalmente se da como resultado la máxima elevación de agua en cada celda del modelo.

Los resultados del modelo para los datos descritos se muestran en la Figura 34. Aquí se presenta la máxima elevación de cada celda del dominio. La zona de mar está caracterizada por un valor constante de la lámina de agua de 1.20 m. Al llegar a la línea de costa, la máxima elevación se va reduciendo progresivamente. La zona con mayor inundación es la situada al sur del dominio y que corresponde al puerto deportivo de Cabo de Palos. En el resto de zonas, el agua supera la línea de costa y se acerca a las zonas urbanizadas.

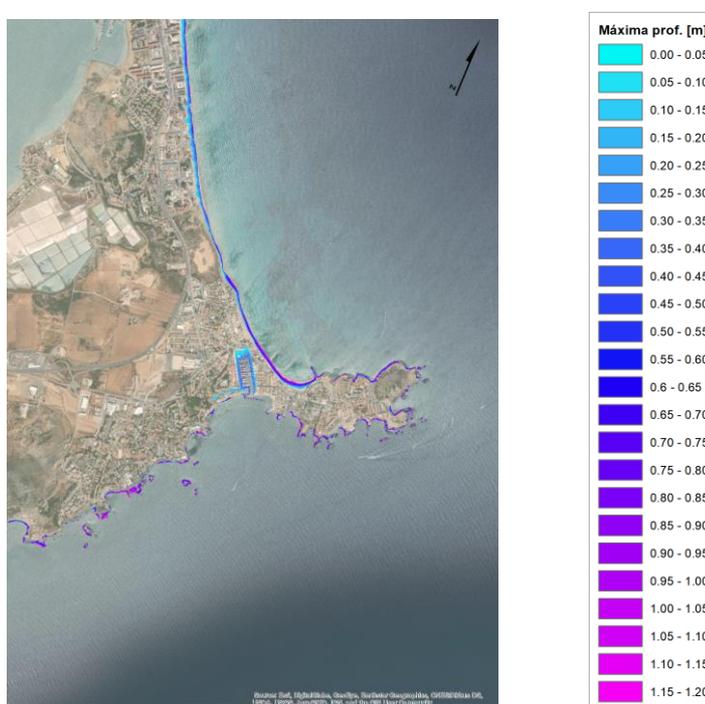


Figura 34 - Máxima elevación de agua

En la Figura 35 se muestran en detalle las zonas inundadas en el modelo. En la Figura 35a se observa como toda la zona cercana al puerto deportivo se inundó durante el pico del temporal. Esta inundación alcanzó los 0.20 cm en algunas zonas y se extendió hasta 50 m fuera de la dársena portuaria. Estos resultados coinciden con las imágenes de la inundación en esta zona. En el apartado de Hemeroteca, en la Figura 17b se muestra una imagen tomada al norte del puerto, lo que se correspondería con el punto A marcado en la Figura 35a. Además, se observa como la calle situada al suroeste del puerto también resultó inundada, así como una de las vías que comunican esta calle con el paseo marítimo situado al sur. Al igual que en la zona del puerto, esta inundación llegó a alcanzar los 0.20 cm en gran parte de la vía. Desde el puerto el agua se adentró en la calle cerca de 200 metros.

Otro punto significativo es el marcado en la Figura 35a como B. En esta localización el oleaje destruyó un local comercial, como se ha podido ver en el apartado de Hemeroteca en la Figura 17a. Aun así, en el modelo el agua no termina de alcanzar esta zona.

Otra zona afectada en Cabo de Palos fue la urbanización Las Sirenas, situada al norte del dominio de simulación (Figura 35b). Aquí el agua alcanzó a los edificios más cercanos al paseo marítimo. En los resultados obtenidos, el nivel de agua llegó hasta la zona más próxima a las urbanizaciones, pero no las alcanzó. En el punto C, señalado en la imagen, el nivel de agua alcanzó parte de la calle contigua, llegando en algunas celdas hasta 0.10 m.

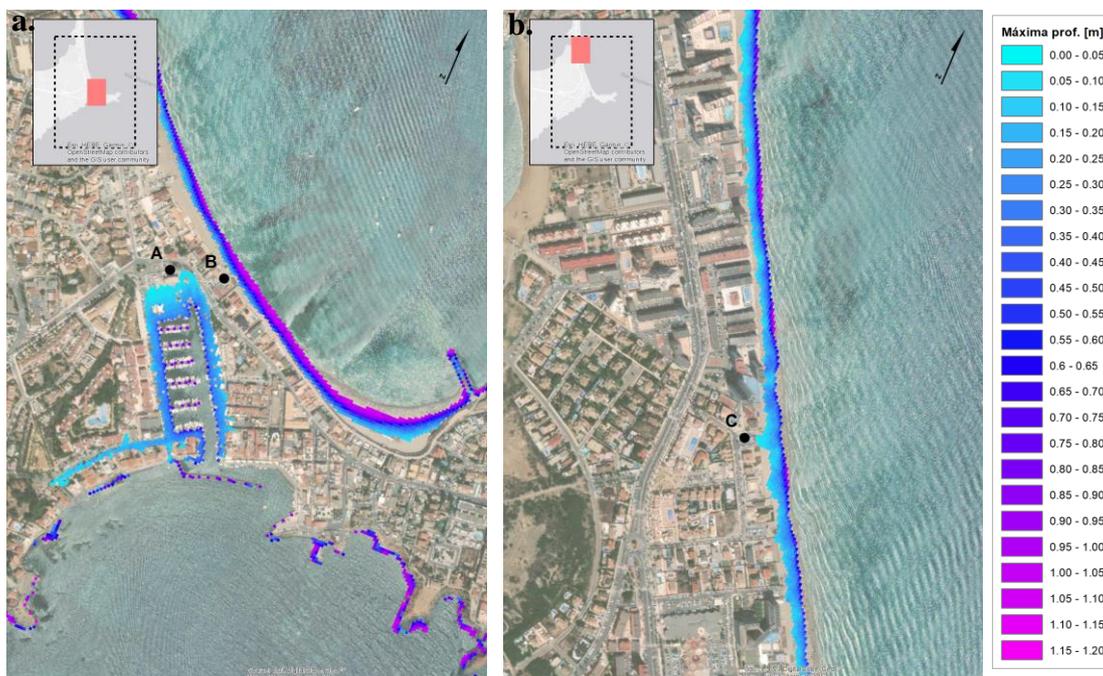


Figura 35 - Máxima elevación de la cota de agua al sur del modelo (a.) y al norte (b.)

En general, los resultados obtenidos se ajustan a lo sucedido, en especial en la de la zona del puerto deportivo. Sin embargo, el modelo de inundación no alcanza las zonas afectadas más próximas a la línea de costa. El modelo devuelve como resultado el nivel de agua asociado a la CI, que incluye la sobre elevación producida por la rotura del oleaje sobre la costa. Es por ello por lo que, aunque el nivel no llegase a las zonas más cercanas a la línea de costa, la subida del agua asociada al runup del oleaje sí lo hiciera.

También hay que tener en cuenta el error inherente alMDT. Esta malla sólo se ha modificado en la zona de mar y en la dársena interior del puerto. La zona que comprende desde la línea de costa hasta la zona urbanizada forma parte de la playa, por lo que no es un área con una elevación fija. Esta área ha podido sufrir modificaciones desde que se tomó la imagen LIDAR con la que se construyó el MDT. La zona del Mar Menor se vio muy afectada en septiembre de 2019 debido a la DANA que afectó al litoral mediterráneo, y por la que la Demarcación de Costas tuvo que programar la reparación de daños de esta zona (Onda Regional, 2019).

Por último, el análisis realizado en el apartado 0 muestra como las bases de datos utilizadas durante los eventos extremos subestiman las condiciones de oleaje y marea meteorológica. Por ello los resultados obtenidos en el modelo LISFLOOD-FP para el pico del temporal pueden ser de menor valor a los ocurridos en la realidad.

5. CONCLUSIONES

El estudio realizado ha analizado los impactos provocados por el temporal Gloria ocurrido en enero de 2020. Se han utilizado las bases de datos GOW, GOS y GOT para los puntos de la cuenca mediterránea y los resultados del downscaling realizado en la región de Murcia para el modelo de inundación de alta resolución. La validación entre las bases de datos utilizadas y los datos instrumentales muestran que, bajo circunstancias extremas, las bases de datos estiman valores menores a los registrados, por lo que los resultados del análisis pueden estar infraestimados.

Las bases de datos de reanálisis muestran que el pico del temporal se alcanzó el día 20 de enero a las 02:00. En ese momento, en gran parte del mar Balear tenía un oleaje que alcanzó los 7 m de altura de ola significativa. En Murcia, donde se ha realizado el modelo de inundación, llegaron olas de hasta 6 m de altura.

Tanto los datos instrumentales como las bases de datos utilizadas muestran la alta excepcionalidad del evento. Según el análisis extremal de los mareógrafos, se llegaron a mareas meteorológicas con un periodo de retorno de 15 años. En el caso de las boyas, el mayor registro fue el de la boya de Valencia con 8.44 m, el mayor hasta la fecha en esa zona del Mediterráneo y que cuenta con un periodo de retorno de 17 años. El análisis extremal realizado al GOW, que cuenta con una serie mayor a la de las boyas utilizadas, muestra que las alturas de ola alcanzadas en la zona del Cabo de la Nao tienen un periodo de retorno de casi 200 años.

Para analizar la inundación en la zona de estudio se ha utilizado un índice de cota de inundación que tiene en cuenta tanto el nivel del mar total como la rugosidad de la superficie potencialmente inundada. Los resultados de este indicador muestran que el temporal Gloria alcanzó valores muy poco comunes en la serie histórica analizada. Se llegaron a valores del indicador con 100 años de periodo de retorno. La zona más afectada fue la Comunidad Valenciana, en especial en Valencia y Cabo de la Nao.

También se ha aplicado un modelo de inundación de alta resolución de la zona de Cabo de Palos utilizando LISFLOOD-FP. Los resultados muestran como el agua inundó la zona del puerto deportivo del municipio, anegando los alrededores con una lámina de agua que alcanzó los 0.20 m. El modelado muestra también como el nivel total de agua se acercó a la zona urbanizada presente en primera línea de costa sin llegar a alcanzarla, lo que se contradice con las imágenes de los daños en la zona. Se ha concluido que el runup asociado a este nivel total de agua pudo ser el causante de los daños en esta zona. Además, se estima la posible subestimación de los resultados del modelo debido a los errores inherentes al forzamiento y al MDT.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMET. (2020). *Borrasca Gloria*. Obtenido de http://www.aemet.es/es/conocerlas/borrascas/2019-2020/estudios_e_impactos/gloria
- Amores, A., Marcos, M., Carrió, D., & Gómez-Pujol, L. (2020). Coastal Impacts of Storm Gloria (January 2020) over the Northwestern Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1-19.
- Bates, P., Trigg, M., Neal, J., & Dabrowa, A. (2013). *LISFLOOD-FP User Manual*. Bristol.
- Bunya, S., Dietrich, J., Westerink, J., Ebersole, B., Smith, J., Atkinson, J., . . . Roberts, H. (2 de 2010). A high-resolution coupled riverine flow, tide, wind, wind wave, and storm surge model for southern Louisiana and Mississippi. Part I: Model development and validation. *Monthly Weather Review*, 138(2), 345-377.
- Camus, P., Mendez, F., Medina, R., Tomas, A., & Izaguirre, C. (1 de 2 de 2013). High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*, 72, 56-68.
- COPE. (20 de 01 de 2020). Impactantes imágenes del Temporal Gloria en la Comunidad Valenciana. *COPE*. Obtenido de https://www.cope.es/emisoras/comunidad-valenciana/valencia-provincia/valencia/galerias/impactantes-imagenes-del-temporal-gloria-comunidad-valenciana-20200120_1_1063
- COPERNICUS. (2020). *Copernicus Open Access Hub*. Obtenido de <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- D.S. (24 de 01 de 2020). Más de 600.000 euros en daños deja la borrasca 'Gloria' en La Manga, Los Urrutias y Los Nietos. *MurciaPlaza*. Obtenido de <https://murciaplaza.com/mas-de-600000-euros-en-danos-deja-la-borrasca-gloria-en-la-manga-los-urruvias-y-los-nietos>
- D'Errico, J. (2020). *MATLAB Central File Exchange*. Obtenido de Inpaint_nans: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/4551-inpaint_nans
- EFE. (21 de 01 de 2020). El temporal vuelve a castigar el Mar Menor en Los Alcázares. *La Verdad*. Obtenido de <https://www.laverdad.es/murcia/borrasca-gloria-vuelve-20200121112757-nt.html>
- El Periódico. (21 de 01 de 2020). Las olas del temporal Gloria entran en el Port Olímpic de Barcelona. *El Periódico*. Obtenido de <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20200121/temporal-barcelona-7815099>
- ElPeriodic.com. (06 de 03 de 2020). Los daños ocasionados por la borrasca Gloria en Valencia ascienden a casi 1,4 millones de euros. *ElPeriodic.com*. Obtenido de



- https://www.elperiodic.com/valencia/danos-ocasionados-borrasca-gloria-valencia-ascienden-casi-millones-euros_669740
- EMODNET. (2020). *EMODnet Bathymetry*. Obtenido de <https://portal.emodnet-bathymetry.eu/>
- Giralt, E. (10 de 02 de 2020). Hay vida en el Delta del Ebro después de 'Gloria'. *La Vanguardia*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/local/tarragona/20200210/473405040925/delta-ebro-gloria-trabucador-la-banya-buda-alfacada-sant-jaume-denveja-poble-nou.html>
- Greene, C. (2020). *MATLAB Central File Exchange*. Obtenido de Quivermc: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47314-quivermc>
- Greene, C. (2020). *MATLAB Central File Exchange*. Obtenido de Cmocean perceptually-uniform colormaps: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/57773-cmocean-perceptually-uniform-colormaps>
- infoLibre. (22 de 01 de 2020). El temporal Gloria hace 'desaparecer' el Delta del Ebro. *infoLibre*. Obtenido de https://www.infolibre.es/noticias/politica/2020/01/22/el_delta_del_ebro_sufre_grandes_destrozos_por_borrasca_gloria_103144_1012.html
- Instituto Geográfico Nacional. (2020). *Centro de descargas*. Obtenido de <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- Instituto Geográfico Nacional. (2020). *Red de mareógrafos*. Obtenido de ftp://ftp.geodesia.ign.es/Red_de_Mareografos/
- La Opinión de Murcia. (20 de 01 de 2020). La borrasca Gloria se ceba con Cabo de Palos. *La Opinión de Murcia*. Obtenido de <https://www.laopiniondemurcia.es/multimedia/fotos/cartagena/2020-01-20-178523-borrasca-gloria-ceba-cabo-palos.html>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2020). *Declaración de emergencia las obras para reparar los daños en la costa causados por la borrasca Gloria*. Madrid.
- Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. (2020). *Ecocartografía de Murcia*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/ecocartografia-murcia.aspx>
- Neal, J., Dunne, T., Sampson, C., Smith, A., & Bates, P. (1 de 9 de 2018). Optimisation of the two-dimensional hydraulic model LISFOOD-FP for CPU architecture. *Environmental Modelling and Software*, 107, 148-157.
- Onda Regional. (25 de 10 de 2019). Costas inicia la primera fase de las obras de emergencia para la reparación de daños causados por la DANA. *Onda Regional*.



Obtenido de <https://www.orm.es/informativos/costas-inicia-la-primera-fase-de-las-obras-de-emergencia-para-la-reparacion-de-danos-causados-por-la-dana/>

Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. (10 de 2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using TDE. *Computers and Geosciences*, 28(8), 929-937.

Perez, J., Menendez, M., & Losada, I. (1 de 6 de 2017). GOW2: A global wave hindcast for coastal applications. *Coastal Engineering*, 124, 1-11.

Puertos del Estado. (2020). *Catálogo netcdf Puertos del Estado*. Obtenido de <http://opendap.puertos.es/thredds/catalog.html>

Shchepetkin, A., & McWilliams, J. (2005). The regional oceanic modeling system (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4), 347-404.

Stockdon, H., Holman, R., Howd, P., & Sallenger, A. (1 de 5 de 2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53(7), 573-588.

Universitat Politècnica de València. (2020). *Medición y cartografiado de la costa valenciana tras el paso del temporal Gloria*. Obtenido de <http://cgat.webs.upv.es/medicion-y-cartografiado-de-la-costa-valenciana-tras-el-paso-del-temporal-gloria/>

University of Bristol. (2020). *LISFLOOD-FP*. Obtenido de <http://www.bristol.ac.uk/geography/research/hydrology/models/lisflood/>

APÉNDICES

A. LISFLOOD-FP

A.1 Funcionamiento

El software empleado en la realización del modelo es LISFLOOD-FP. Esta herramienta se desarrolló en 1999 en la Universidad de Bristol en colaboración con EU Joint Research Centre. El objetivo del proyecto era simular inundaciones dinámicas físicamente plausibles de la forma más simple posible. El modelo es capaz de operar en grandes áreas con una resolución espacial fina (tamaños de celda entre 10-100 m) con distribuciones regulares de celdas cartesianas.

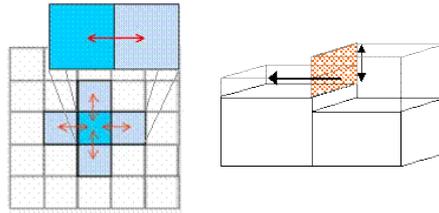


Figura 36 - Funcionamiento de llenado de celdas en LISFLOOD-FP (University of Bristol, 2020)

El funcionamiento de LISFLOOD-FP se basa en un modelo hidráulico acoplado que simula la inundación mediante un proceso de llenado de volúmenes basados en principios hidráulicos de conservación de la masa y conductividad hidráulica (Figura 36). El programa puede ser configurado específicamente para flujo en canales o para inundaciones en zonas costeras. En el segundo caso, el modelo resuelve la ecuación en aguas poco profundas sin el término de aceleración convectiva y utilizando el método de diferencias finitas (Neal, Dunne, Sampson, Smith, & Bates, 2018). La ecuación de momento y continuidad se describen como:

$$Q_{i+1/2}^{t+\Delta t} = \frac{Q_{i+1/2}^t - gA_{flow}^t \Delta t S_{i+1/2}^t}{1 + g\Delta t n^2 |Q_{i+1/2}^t| / [(R_{flow}^t)^{4/3} A_{flow}^t]} \quad (5)$$

$$V_{i,j}^{t+\Delta t} = V_{i,j}^t + \Delta t \left(Q_{i-1/2,j}^{t+\Delta t} - Q_{i+1/2,j}^{t+\Delta t} + Q_{i,j-1/2}^{t+\Delta t} - Q_{i,j+1/2}^{t+\Delta t} \right) \quad (6)$$

Donde:

- $Q_{i+1/2}^{t+\Delta t}$: flujo entre las celdas i e $i + 1$ que será aplicado entre los instantes t y $t + \Delta t$.
- A_{flow}^t : área entre las celdas.
- R_{flow}^t : radio hidráulico.
- $S_{i+1/2}^t$: pendiente de la superficie de agua entre las celdas.

- n : rugosidad de Manning. El modelo puede considerar una rugosidad fija para todo el modelo o considerar un malla con las mismas dimensiones que la malla topográfica que indique la rugosidad en cada celda.
- g : es la gravedad.
- $V_{i,j}^{t+\Delta t}$ es el volumen de la celda en la cual la superficie de agua es calculada, donde los coeficientes i y j son los índices de la malla cartesiana.

El modelo también incorpora subrutinas para incorporar la lluvia, canales o evapotranspiración en aguas abiertas o sobre estructuras hidráulicas.

A.2 Estructura

El modelo LISFLOOD-FP utiliza una serie de archivos de entrada que configuran la simulación a realizar. Todos estos archivos se pueden leer como ficheros de texto y se distinguen entre ellos según la extensión.

El archivo de opciones principal es aquel con extensión *par*. En este se indican las siguientes propiedades del modelo.

Nombre	Descripción
DEMfile	Nombre del archivo del modelo digital de elevaciones en formato ArcGIS.
resroot	Etiqueta base de los archivos de resultados
dirroot	Ruta relativa o absoluta del directorio donde se guardarán los resultados.
saveint	Intervalo en segundo en el que son guardados los resultados.
massint	Intervalos en segundo en los que el archivo de masa es guardado
sim_time	Duración total de la simulación en segundos.
initial_tstep	Intervalo de tiempo de cálculo en segundos.
bcifile	Nombre del archivo en el que se especifican las condiciones de contorno (con extensión bci.)
bdyfile	Nombre del archivo en el que se especifican a lo largo del tiempo las condiciones de contorno (con extensión bcy.)
manningsfile	Nombre del archivo raster en formato ArcGIS con los coeficientes de Manning. Debe tener las mismas dimensiones que DEMfile.
Roe	Clave para activar el 2D shallow water model.

Tabla 3 - Parámetros básicos utilizados en el modelo LISFLOOD-FP

Las condiciones de contorno se añaden utilizando los archivos *bci* y *bcy*. En el primero, se introducen la ubicación de las condiciones de contorno y el tipo. Se distinguen 6 clases de condiciones:

Nombre	Descripción
CLOSED	Flujo cero (opción por defecto)
FREE	Flujo uniforme
HFIX	Elevación fija de la superficie de agua



HVAR	La superficie del agua varía con el tiempo
QFIX	Flujo dentro del dominio fijo
QVAR	Flujo dentro del dominio variable

Tabla 4 - Tipos de condiciones de contorno

En el archivo *bcy* se especifican las variaciones temporales (si las hubiera) de las condiciones de contorno.

A continuación, se muestran los códigos desarrollados para escribir estos dos archivos y para ejecutar el programa.

A.3 Códigos

Generación de archivos de condiciones de contorno

```
clear all; close all; clc;
```

RUTAS

```
ruta_load = [pwd, '\data\'];
ruta_save = [pwd, '\data\lisflood_input\'];
```

INPUT

NAME

```
name = 'testini';

% TYPE BOUNDARY
var_type = 'HVAR';

% MALLA
malla = 'M'; % M malla 100x100, G malla 1000x1000

% PUNTOS
type_ptos = 2;
% 0 ptos cada 250
% 2 batimétrica 20
% 3 batimétrica 15

% DATES
start_date = datenum(2020,01,19);
end_date = datenum(2020,01,21);
```

LOAD VARIABLES

```
load([ruta_load, 'slope.mat']);
% Coordenates
load([ruta_load, 'ptos_coord.mat']);

I = type == type_ptos; % Points selected

lat = lat(I);
lon = lon(I);
x = x(I);
y = y(I);

% Variables
load([ruta_load, 'ptos_', malla, '.mat']);
J = find(data.time >= start_date & data.time <= end_date);

data.time = data.time(J,1);
data.tm02 = data.tm02(J,I);
data.dir = data.dir(J,I);
```

```
data.hs = data.hs(J,I);
data.lat = data.lat(I);
data.lon = data.lon(I);
data.tps = data.tps(J,I);
```

```
% MA MM
load([ruta_load,'MM_MA_murcia.mat']);
J = find(time>=start_date & time<=end_date);
MA = MA(J);
MM = MM(J);
NM = 0;
```

BOUNDARIES

```
for i = 1:length(x)
setup(:,i) = 0.35*0.15.*((9.81/(2*pi)).*(data.tps(:,i).^2).*data.hs(:,i)).^(1/2);
TWL(:,i) = MA + MM + NM + setup(:,i);
end
```

ARCHIVO BCI

Coordenadas de las condiciones de contorno

```
fid = fopen([ruta_save,name,'.bci'],'w');
for i = 1:length(x)
fprintf(fid,'P \t %11.4f \t %11.4f \t %s \t
%s\n',x(i),y(i),var_type,['P',num2str(i)]);
end
fclose(fid);
```

ARCHIVO BDY

Condiciones de contorno

```
fid = fopen([ruta_save,name,'.bdy'],'w');
fprintf(fid,'%s\n',['Conditions points']);
for i = 1:length(x)
fprintf(fid,'%s\n',['P',num2str(i)]);
fprintf(fid,'\t %d \t seconds\n',length(data.time));
for j = 1:length(data.time)
fprintf(fid,'\t %4.2f \t %d\n',TWL(j,i),(j-1)*3600);
end
end
fclose(fid);
```

Run LISFLOOD-FP

```
clear all; close all; clc
```

INPUT

```
dir = 'test25_pt2';  
proj = 'testini';
```

RUTAS

```
ruta_o = [pwd, '\'];  
ruta_load = [pwd, '\models\', dir];  
  
addpath(genpath([ruta_o, 'functions']));
```

EJECUTAR

```
tic;  
% Copiar el ejecutable  
copyfile([ruta_o, 'lisflood_win.exe'], ruta_load);  
  
% Nos posicionamos en la carpeta de trabajo  
cd(ruta_load);  
  
% Ejecutamos el programa  
command = ['lisflood_win ', proj, '.par'];  
  
[cmdout] = system(command);  
  
% Nos posicionamos en la carpeta inicial  
cd(ruta_o);  
toc;
```

```
*****  
LISFLOOD-FP version 5.8.9  
*****
```

```
Elapsed time is 1320.716500 seconds.
```



B. Análisis extremal GEV

Para cuantificar la magnitud del temporal, se realiza un análisis estadístico de extremos que permite cuantificar probabilidades de ocurrencias asociadas a periodos de retorno. El periodo de retorno es un intervalo medio de tiempo, expresado en años, al cabo del cual se igualará o superará un suceso de una determinada magnitud. Es decir, para un determinado lugar y variable, si el periodo de retorno o intervalo de ocurrencia de un evento de una determinada magnitud es de 100 años, la probabilidad de que un evento ocurra en un año es de un 1%. Se ha aplicado un modelo de extremos que ajusta los máximos anuales a la distribución generalizada de extremos (GEV)

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\psi} \right) \right]^{-1/\xi} \right\} \quad (7)$$

Donde:

- ξ es el parámetro de forma, cuyo signo hace referencia a la cola de la distribución.
- μ es el parámetro de localización.
- ψ es el parámetro de escala.

El ajuste se realiza por máxima verosimilitud. La estimación de los cuantiles asociados al periodo de retorno se estima mediante la ecuación:

$$X_R = \begin{cases} \mu - \frac{\psi}{\xi} \left[1 - \left(\frac{1}{R} \right)^{-\xi} \right] & \text{para } \xi \neq 0 \\ \mu - \psi \log \left(\frac{1}{R} \right) & \text{para } \xi = 0 \end{cases} \quad (8)$$

La banda de confianza del 90% (5-95%) se estima asumiendo normalidad de los estimadores.

C. Mareógrafos

C.1 Descarga de datos de Puertos del Estado

```
clear all; close all; clc
```

Habilito el toolbox de lectura NETCDF

```
cd(pwd);
addpath([pwd, '\DEPENDENCIAS\'])
addpath([pwd, '\DEPENDENCIAS\mexcdf\mexnc\'])
addpath([pwd, '\DEPENDENCIAS\mexcdf\snctools\'])
javaaddpath([pwd, '\DEPENDENCIAS\netcdfAll-4.0.jar'], '-end');
setpref ( 'SNCTOOLS', 'USE_JAVA', true );
```

INPUT

```
ruta0='http://opendap.puertos.es/thredds/dodsc/tidegauge_mall';

ruta_load = [pwd, '\data\descargados\'];
```

Variables iniciales

```
ti = datenum(2019,09,27,0,0,0);
archivo = ['marea_mall_07.mat'];
tf = datenum(2020,05,13,0,0,0);

t=ti:datenum(0,0,1):tf;

% opendap --> Ruta
disp(' ')
disp('--> Accediendo al OPENDAP de PdE:');
disp(['--> ', ruta0]);
disp(' ')

RES{1,1}='fecha_predicc';
RES{1,2}='fecha';
RES{1,3}='depth';
RES{1,4}='SL';

v = datenum(0,0,0,0,1,0);
```

DESCARGA

```

for i=1:length(t)

    date = datevec(t(i));
    year = num2str(date(1));
    mes = num2str(date(2),'%02d');

    nombre = ['MIR2Z_Mallorca_Mall_3851_',datestr(t(i),'yyyymmdd'),'nc4'];

    url_ih = [ruta0,'/',year,'/',mes,'/',nombre];

    ti = tic;

    e = 0;
    while e < 1
        try
            time = nc_varget(url_ih,'TIME'); % units: hours since 1950-01-01 00:00:00
UTC
            tt = (time)+datenum(1950,1,1,0,0,0);
            disp(['--> Leyendo del OPENDAP de PdE hora ',num2str(i),' de
',num2str(length(t))])
            disp(['--> Fecha leída: ',datestr(tt(1),'yyyy/mm/dd')])

            lon = nc_varget(url_ih,'LONGITUDE');
            lat = nc_varget(url_ih,'LATITUDE');

            depthi = nc_varget(url_ih,'DEPH');
            slevi = nc_varget(url_ih,'SLEV');
            e = 2;
        end

        tf = toc(ti);
        if tf > 30
            e = 2;
        end
    end

    if tf > 30
        continue
    end
    % HACER MEDIA CADA MINUTO
    tto_vec = datevec(tt(1));
    tto = datenum(tto_vec(1),tto_vec(2),tto_vec(3),tto_vec(4),floor(tto_vec(5)),0);

    ttf_vec = datevec(tt(end));
    ttf = datenum(ttf_vec(1),ttf_vec(2),ttf_vec(3),ttf_vec(4),floor(ttf_vec(5)),0);
    T_h = [tto:datenum(0,0,0,0,1,0):ttf]';

    for j = 1:length(T_h)
        lim_i = T_h(j,1);
        lim_s = T_h(j,1) + v;
        I = find(tt(:,1) >= lim_i & tt(:,1) < lim_s);
        SL_h(j,1) = mean(slevi(I,1),'omitnan');
    end
end

```



```
end

RES{i+1,1} = datestr(t(i),'yyyymmdd');
RES{i+1,2} = T_h;
RES{i+1,3} = ones(length(T_h),1).*max(depthi);
RES{i+1,4} = SL_h;

clear time lon lat tt depthi slevi T_h SL_h

save([ruta_load,archivo],'RES','-mat');
end
```

D. Vídeos

```
clear all; close all; clc;
```

RUTAS

```
ruta_load = [pwd, '\data\']; % Ruta donde se encuentra el archivo
de datos
ruta_save = [pwd, '\results\'];
addpath(genpath([pwd, '\functions\']));

load([ruta_load, 'dataGOW_HR.mat']);
load([ruta_load, 'dataGOW.mat']);

load([ruta_load, 'coast.mat']);
load([ruta_load, 'provincias.mat']);
```

INPUT

```
%Hs
var = dataGOW.Hs;
varHR = dataGOW_HR.Hs;
label_colorbar = 'Hs [m]';
label_video = 'hs';
ca = [0 7];
ccolor = cmocean('matter');

%Tp
% var = dataGOW.T02;
% varHR = dataGOW_HR.T02;
% label_colorbar = 'Tm [s]';
% label_video = 'tm';
% ca = [1 9];
% ccolor = cmocean('deep');
%
t_o = datenum(2020,01,17);
t_f = datenum(2020,01,25);
```

PLOT

Variables

```
latgrd = double(dataGOW.latGrid);
longrd = double(dataGOW.lonGrid);

latgrdHR = double(dataGOW_HR.latGrid);
longrdHR = double(dataGOW_HR.lonGrid);

time = dataGOW.time;
```

```
Io = find(time==t_o);
If = find(time==t_f);

% Límites
latlimit = [35.5000 43.7500];
lonlimit = [-3.5 7];

lat_q = 35:0.1:44;
lon_q = -3.5:0.1:7.5;
[lonr_q,latgr_q] = meshgrid(lon_q,lat_q);

cont = 1;
```

Transformar variables

```
latgrdHR = latgrdHR';
longrdHR = longrdHR';
latgr_q = latgr_q';
longr_q = longr_q';
latgrd = latgrd';
longrd = longrd';

for i = Io:Io+1

    timei = dataGOW.time(i);

    % Crear figura
    fig_temp = figure;

    % Plot
    ax = worldmap(latlimit,lonlimit);
    w =
    pcolorm(latgr_q,longr_q,griddata(latgrdHR,longrdHR,squeeze(varHR(i,:,:),latgr_q,longr_q
)));
    colormap(ccolor);
    hold on
    ha = griddata(latgrd,longrd,squeeze(var(i,:,:),latgr_q,longr_q);
    ha = inpaint_nans(ha,5);
    h = pcolorm(latgr_q,longr_q,ha);
    shading interp

    geoshow(coast,'FaceColor',[0.8000 0.8000 0.8000]); % Costa
    plotm(prov(:,2),prov(:,1),'Color',[0 0 0]); % Provincias

    % Grid
    gridm('MLineLocation', 0.5,...
        'MLabelLocation', 2,...
        'PLineLocation', 0.5,...
        'PLabelLocation', 1);

    title([datestr(timei,'dd-mmm-YYYY HH:MM'),' UTC'],'fontweight','normal');

    set(fig_temp,'Position',[680 188 963 790]);
```

```

% Colorbar
hbar = colorbar('location','southoutside');
set(get(hbar,'label'),'string',label_colorbar);
caxis(ca);

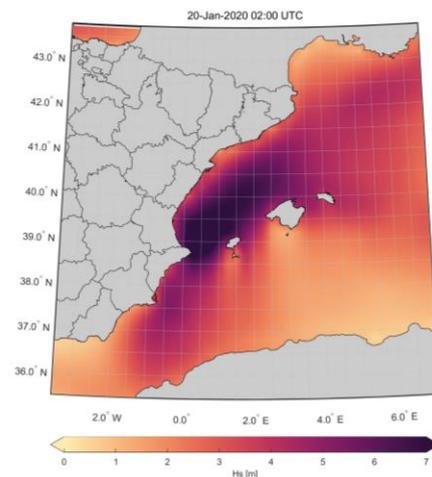
% Cambiar posicion de la colorbar
ax = gca;
ax.Position = ax.Position - [0 0 .1 .1];
hbar.Position = hbar.Position + [0 -0.05 0 0];

% Colorbar con flechas
cbarrow;

% Guardar frame
F(cont) = getframe(gcf) ;
cont = cont + 1;
drawnow

pause(0.01)
end

```



CREATE A VIDEO

```

writerObj = Videowriter([ruta_save,label_video]);
writerObj.FrameRate = 10;

open(writerObj);

% write the frames to the video
for i=1:length(F)
    % convert the image to a frame
    frame = F(i) ;
    writevideo(writerObj, frame);
end
% close the writer object
close(writerObj);

```

E. Periodo de retorno de los extremos durante Gloria en los puntos de estudio

```
clear all; close all; clc;
```

RUTAS

```
ruta_load = [pwd, '\data\bulk\'];
ruta_load_2 = [pwd, '\data\'];
addpath(genpath([pwd, '\functions']));
```

INPUT

```
var_type = 'GOW';
var = 'hs';
label_colorbar = 'Periodo de retorno m. met. [años]';
x_ticks = 0:20:200;
```

PUNTOS USADOS

Load puntos

```
load([ruta_load_2, 'ptos_used.mat']);
lat = ptos_used(:,6);
lon = ptos_used(:,5);
clear ptos_used

% Load máximos de Gloria
load([ruta_load_2, 'vars_Gloria.mat']);
eval(['data_gloria = data.', var_type, ';']);
eval(['var_max = max(data_gloria.', var, '(:,ptos));']);
clear data

% Load variable
load([ruta_load, var_type, '.mat']);
eval(['variable = data.', var, ';']);

% Load capas para la figura
load([ruta_load_2, 'coast.mat']);
load([ruta_load_2, 'provincias.mat']);
```

CALCULOS

```
global tipdis
tipdis= 'GEV';

for i = 1:length(ptos)
max_i = var_max(1,i);
```

```
eval(['var_i = data.',var,'(:,ptos(i,1));']);

datos = [datevec(data.time(:,ptos(i,1))) var_i];
[I] = isnan(datos(:,end));
datos = datos(~I,:);

periodo_ret(i,1) = MaxAnuales_value(datos,7,max_i);
end
```

PLOT

```
close all;
fig_temp = figure;

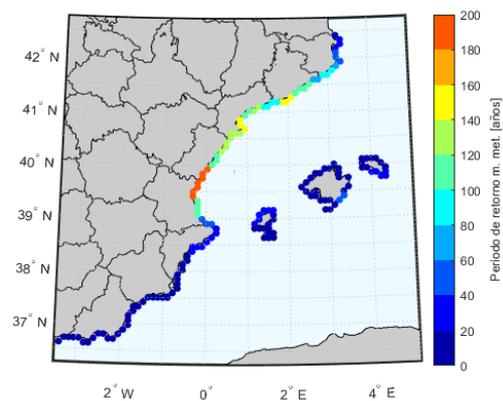
% Límites
latlimit = [36.250 42.7500];
lonlimit = [-3.5 5];

ax = worldmap(latlimit,lonlimit);
ax = gca;
setm(ax, 'FFaceColor', [0.9294 0.9804 1.0000])

geoshow(coast,'FaceColor',[0.8000 0.8000 0.8000]); % Costa
plotm(prov(:,2),prov(:,1),'color',[0 0 0]); % Provincias
scatterm(lat,lon,25,periodo_ret,'filled');

% colorbar
colormap(jet(10));
hbar = colorbar('location','eastoutside','XTick',[x_ticks]);
caxis([min(x_ticks) max(x_ticks)]);
set(get(hbar,'label'),'string',label_colorbar);

% Grid
ax.GridLineStyle = ':';
gridm('MLineLocation', 1,...
      'MLabelLocation', 2,...
      'PLineLocation', 0.5,...
      'PLabelLocation', 1);
```



F. Índice de inundación

F.1 Cálculo de pendiente

```
clear all; close all; clc;
```

RUTAS Y VARIABLES

```
ruta_current = [pwd, '\'];
ruta_load = [pwd, '\data\'];
```

CARGAR DATOS

```
load([ruta_current, 'centroides.mat']); clear centroides_coord delta_x delta_y;
load([ruta_current, 'perpendicular.mat']);
```

CREAR EXTENSIÓN DE LOS PUNTOS

```
delta = 100;

for i = 1:length(perpendicular)
    xo = perpendicular(i,1);
    yo = perpendicular(i,2);
    xf = perpendicular(i,3);
    yf = perpendicular(i,4);
    coefficients = polyfit([xo, xf], [yo, yf], 1);
    m = coefficients (1);
    n = coefficients (2);

    if xo<xf
        xe(i,1) = (xo - m*n + m*yo - (delta^2*m^2 + delta^2 - m^2*xo^2 - 2*m*n*xo +
2*m*xo*yo - n^2 + 2*n*yo - yo^2)^(1/2))/(m^2 + 1);
    else
        xe(i,1) = (xo - m*n + m*yo + (delta^2*m^2 + delta^2 - m^2*xo^2 - 2*m*n*xo +
2*m*xo*yo - n^2 + 2*n*yo - yo^2)^(1/2))/(m^2 + 1);
    end

    ye(i,1) = m*xe(i,1) + n;

    % Subdivisiones
    delta_x = abs(xo-xe(i,1))/100;
    delta_y = abs(yo-ye(i,1))/100;

    if xo<xf
        xdiv(i,:) = xe(i,1) + [0:100].*delta_x;
    else
        xdiv(i,:) = xe(i,1) - [0:100].*delta_x;
    end

    if yo<yf
```

```

ydiv(i,:) = ye(i,1) + [0:100].*delta_y;
else
ydiv(i,:) = ye(i,1) - [0:100].*delta_y;
end
end
end

```

BUSCAR RECUADRO

```

x_rec = [x_rec x_rec(:,1)];
y_rec = [y_rec y_rec(:,1)];

for i = 1:length(perpendicular)
    xq_in = perpendicular(i,1);
    yq_in = perpendicular(i,2);
    xq_fn = xe(i,1);
    yq_fn = ye(i,1);

    for j = 1:length(x_rec)

        [in_in,on] = inpolygon(xq_in,yq_in,x_rec(j,:),y_rec(j,:));
        [in_fn,on] = inpolygon(xq_fn,yq_fn,x_rec(j,:),y_rec(j,:));

        if in_in==0
            elseif in_in==0 & in_fn ~=0
                hoja(i,2) = centroides_label(j,1);
            elseif in_fn==0 & in_in ~=0
                hoja(i,1) = centroides_label(j,1);
            elseif in_in~=0 & in_fn ~=0
                hoja(i,1) = centroides_label(j,1);
                hoja(i,2) = centroides_label(j,1);

                %                               plot(x_rec(j,:),y_rec(j,:)); hold on
                %                               plot(xq_in,yq_in, '.');
                %                               pause(1);
                %                               close all

            end
        end
        if hoja(i,1) == hoja(i,2)
            hoja(i,2) = '';
        end
    end
end

hoja(23,1) = 'PNOA_MDT05_ETRS89_HU30_0447_LID.asc';

```

CREAR LOS ARCHIVOS

```

rec = 550;

for i = 1:157
    disp(['>>>>', num2str(i), ' de ', num2str(length(perpendicular))]);

    % Puntos
    xo = perpendicular(i,1);

```

```

yo = perpendicular(i,2);

% Cargar raster
label_hoja = hoja(i,1);
if i == 80
    label_hoja = hoja(i,1);
end
[Z, hdr]= ascread(strcat(ruta_load,label_hoja));

% Crear GRID
x_grid = [linspace(hdr.xllcenter,hdr.xllcenter+hdr.cellsize*hdr.ncols-
hdr.cellsize,hdr.ncols)'];
y_grid = [linspace(hdr.yllcenter,hdr.yllcenter+hdr.cellsize*hdr.nrows-
hdr.cellsize,hdr.nrows)'];
y_grid = flip(y_grid);

% Cortar XYZ
[I,J] = find(x_grid(:,1)<=(xo-rec));
x_grid(I,:) = [];
Z(:,I) = [];

[I,J] = find(x_grid(:,1)>=(xo+rec));
x_grid(I,:) = [];
Z(:,I) = [];

[I,J] = find(y_grid(:,1)<=(yo-rec));
y_grid(I,:) = [];
Z(I,:) = [];

[I,J] = find(y_grid(:,1)>=(yo+rec));
y_grid(I,:) = [];
Z(I,:) = [];

[I] = find(Z==hdr.nodata_value);
Z(I) = NaN;

% Generar malla
[XX,YY] = meshgrid(x_grid,y_grid);

% Interpolar
zdiv(i,:) = interp2(XX,YY,Z,xdiv(i,:),ydiv(i,:));
disp([' ',num2str(zdiv(i,:))]);

%PLOT
pcolor(XX,YY,Z);
hold on
shading interp
plot([xo xe(i,1)],[yo ye(i,1)],'Color',[1 0 0]);
plot(xdiv(i,:),ydiv(i:),'.','MarkerSize',10,'color',[1 0 0]);
pause(3)
close all
clear Z hdr
save([ruta_current,'div_',num2str(delta),'.mat'],'xdiv','ydiv','zdiv');

end

```

F.2 Cálculo del índice

```
clear all; close all; clc;
```

RUTAS

```
ruta_load = [pwd, '\data\'];

% Load capas para la figura
load([ruta_load, 'coast.mat']);
load([ruta_load, 'provincias.mat']);
```

INPUT

```
modo = 3;

% 1: Coge el pico de Hs de la tormenta
% 2: Coge el máximo de la marea met
% 3: Coge el máximo de todo
```

SLOPE

```
load([ruta_load, 'slope.mat']);
```

SETUP

```
load([ruta_load, 'vars_Gloria.mat']);
load([ruta_load, 'ptos_used.mat']);

data.GOT.tide(:,end+1) = data.GOT.tide(:,end);

% Variables generales a utilizar
lat = data.lat(ptos,1);
lon = data.lon(ptos,1);
MMg = data.GOS.zeta(:,ptos); % Marea meteorológica
MAG = data.GOT.tide(:,ptos); % Marea astronómica
NM = 0; % Nivel medio
hsg = data.GOW.hs(:,ptos);
tpg = 1./data.GOW.fp(:,ptos);

% Variables

if modo == 1

    for i = 1:size(MMg,2)
        %GOW
        [I,J] = find(hsg(:,i) == max(hsg(:,i)));
        t_max = data.GOW.time(I(1),1);
```

```

hs(i,1) = hsg(I(1),i);
tp(i,1) = tpg(I(1),i);

%GOS
[I,J] = find(data.GOS.time(:,1) == t_max);
MM(i,1) = MMg(I,i);

%GOT
[I,J] = find(data.GOT.time(:,1) == t_max);
MA(i,1) = MAg(I,i);
end

elseif modo == 2

for i = 1:size(MMg,2)
%GOS
[I,J] = find(MMg(:,i) == max(MMg(:,i)));
t_max = data.GOS.time(I(1),1);

MM(i,1) = MMg(I(1),i);

%GOW
[I,J] = find(data.GOW.time(:,1) == t_max);

hs(i,1) = hsg(I(1),i);
tp(i,1) = tpg(I(1),i);

%GOT
[I,J] = find(data.GOT.time(:,1) == t_max);
MA(i,1) = MAg(I,i);
end

elseif modo == 3

for i = 1:size(MMg,2)
%GOW
[I,J] = find(hsg(:,i) == max(hsg(:,i)));
hs(i,1) = hsg(I(1),i);
tp(i,1) = tpg(I(1),i);

%GOS
[I,J] = find(MMg(:,i) == max(MMg(:,i)));
MM(i,1) = MMg(I(1),i);

%GOT
[I,J] = find(MAg(:,i) == max(MAg(:,i)));
MA(i,1) = MAg(I(1),i);

end

end

clear hsg tpg MMg MAg i I J tol

Ir = slope./(sqrt(hs./((9.81/(2*pi)).*(tp.^2))));

% calculos

```

```
setup = 0.016 .* (((9.81/(2*pi)).*(tp.^2).*hs).^1/2);
setup(Ir>0.4) = 0.38 .* slope(Ir>0.4)
.*(((9.81/(2*pi)).*(tp(Ir>0.4).^2).*hs(Ir>0.4)).^1/2);
```

```
TWL = MA + MM + NM + setup;
alpha_GOS = MM./TWL;
alpha_setup = setup./TWL;
```

COEFF_MANNING

```
load([ruta_load,'n_manning.mat']);
```

INDICE

```
Ind = n.*(TWL.*(alpha_GOS + alpha_setup));

Ind_2 = rescale(Ind,0,4);

% Tabla
varNames =
{'Punto', 'Indice', 'Manning', 'TWL', 'MA', 'MM', 'setup', 'alpha_GOS', 'alpha_setup', 'slope'};
varTypes =
{'double', 'double', 'double', 'double', 'double', 'double', 'double', 'double', 'double', 'double'};
Indice = table('Size', [length(ptos)
10], 'VariableTypes', varTypes, 'VariableNames', varNames);
Indice.Punto = [1:length(ptos)]';
Indice.Indice = Ind_2;
Indice.Manning = n;
Indice.TWL = TWL;
Indice.MA = MA;
Indice.MM = MM;
Indice.setup = setup;
Indice.alpha_GOS = alpha_GOS;
Indice.alpha_setup = alpha_setup;
Indice.slope = slope;
```

PLOT

```
close all;
fig_temp = figure;

% Límites
latlimit = [36.250 42.7500];
lonlimit = [-3.5 5];

ax = worldmap(latlimit, lonlimit);
ax = gca;
setm(ax, 'FFaceColor', [0.9294 0.9804 1.0000])

geoshow(coast, 'FaceColor', [0.8000 0.8000 0.8000]); % Costa
```

```

plotm(prov(:,2),prov(:,1),'color',[0 0 0]); % Provincias
scatterm(lat,lon,20,Ind_2,'filled');

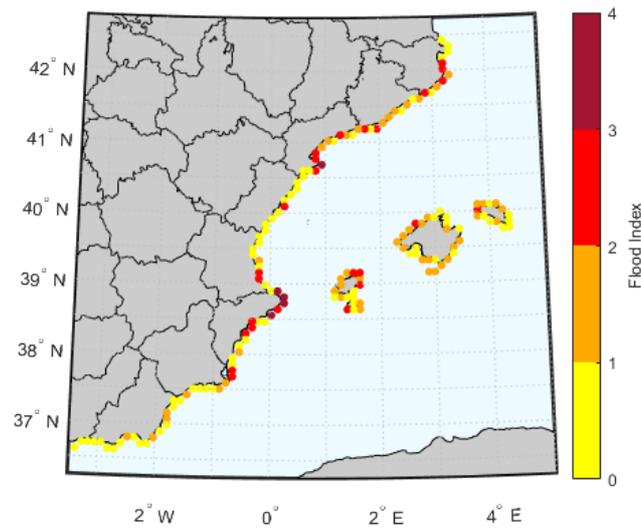
colors = [1.0000 1.0000 0;
          1.0000 0.6667 0;
          1.0000 0 0;
          0.6353 0.0784 0.1843];

colormap(colors);
hbar = colorbar('location','eastoutside','XTick',[0:1:4]);
caxis([0 4]);
set(get(hbar,'label'),'string','Flood Index');

% Grid
ax.GridLineStyle = ':';
gridm('MLineLocation', 1,...
      'MLabelLocation', 2,...
      'PLineLocation', 0.5,...
      'PLabelLocation', 1);

print(fig_temp,[ruta_load,'flood_mode_',num2str(modo),'.png'],'-dpng','-r300');

```



F.3 Cálculo de la rugosidad de Manning

La rugosidad de las zonas de inundación se ha calculado a partir de la capa de ocupación del suelo de España a escala 1:100,000 perteneciente al proyecto europeo Corine Land Cover. En base a la tipología de los campos de la capa se ha asignado una rugosidad de Manning según Bunya, et al., 2010.

CODE_18	Tipo	Manning
111	Tejido urbano continuo	0.121
112	Tejido urbano discontinuo	0.120
121	Zonas industriales o comerciales	0.050
122	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	0.032
123	Zonas portuarias	0.032
124	Aeropuertos	0.032
131	Zonas de extracción minera	0.060
132	Escombreras y vertederos	0.060
133	Zonas en construcción	0.040
141	Zonas verdes urbanas	0.070
142	Instalaciones deportivas y recreativas	0.121
211	Tierras de labor en secano	0.060
212	Terrenos regados permanentemente	0.060
221	Viñedos	0.060
222	Frutales	0.060
223	Olivares	0.060
231	Praderas	0.033
241	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0.060
242	Mosaico de cultivos	0.060
243	Terrenos principalmente agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	0.060
244	Sistemas agroforestales	0.160
311	Bosques de frondosas	0.200
312	Bosques de coníferas	0.160
313	Bosque mixto	0.160
321	Pastizales naturales	0.042
322	Landas y matorrales	0.042
323	Vegetación esclerófila	0.042
324	Matorral boscoso de transición	0.042
331	Playas, dunas y arenales	0.050
332	Roquedo	0.050
333	Espacios con vegetación escasa	0.047
421	Marismas	0.035
422	Salinas	0.035
511	Cursos de agua	0.025
512	Láminas de agua	0.025
411	Humedales y zonas pantanosas	0.035
423	Zonas llanas intermareales	0.050
521	Lagunas costeras	0.025
522	Estuarios	0.025



213	Arrozales	0.060
334	Zonas quemadas	0.047
335	Glaciares y nieves permanentes	0.022
412	Turberas	0.035
523	Mares y océanos	0.020

Tabla 5 - Asignación de rugosidades de Manning

G. Hemeroteca

LUGAR	COMUNIDAD	LAT	LONG	TIPO DATO	DATOS	FECHA	TIPO	MEDIO/ORGANISMO
Manacor	Baleares	39.58	3.22	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Sant Llorenç des Cardassar	Baleares	39.61	3.29	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Son Servera	Baleares	39.62	3.36	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Capdepera	Baleares	39.70	3.44	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Muro	Baleares	39.77	3.09	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Alcudia	Baleares	39.85	3.12	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Soller	Baleares	39.78	2.71	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Deià	Baleares	39.77	2.64	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Valdemossa	Baleares	39.77	2.65	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Banyalbufar	Baleares	39.69	2.52	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Ciutadella	Baleares	40.00	3.84	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Es Migjorn Gran	Baleares	39.92	4.04	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Sant Lluís	Baleares	39.85	4.25	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Eivissa	Baleares	38.91	1.42	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Santa Eulalia del Riu	Baleares	38.99	1.54	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
San Antoni de Portmany	Baleares	38.98	1.30	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Es Castell	Baleares	39.88	4.29	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Estellencs	Baleares	39.65	2.48	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Barcelona	Cataluña	41.39	2.17	Puerto cerrado	Puerto cerrado	20/01/2020	Noticia	El Canal
Tarragona	Cataluña	41.11	1.26	Puerto cerrado	Puerto cerrado	20/01/2020	Noticia	El Canal
L'Ametlla	Cataluña	40.88	0.80	Pérdidas humanas	Hombre muerto arrastrado por una ola mientras pescaba	27/01/2020	Noticia	El Correo
Puerto de Palamós	Cataluña	41.84	3.13	Pérdidas humanas	Hombre muerto tras caer al agua al acercarse al espigón para hacer una maniobra con un barco	27/01/2020	Noticia	El Correo

Palamós	Cataluña	41.85	3.12	Pérdidas humanas	Hombre desaparecido mientras trataba de amarrar una embarcación	27/01/2020	Noticia	El Correo
Desembocadura del Ebro	Cataluña	40.72	0.73	Dinámica	Inundaciones en el Delta del Ebro	23/01/2020	Vídeo	EuroNews
Cunit	Cataluña	41.22	1.60	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Calafel	Cataluña	41.21	1.55	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Tarragona	Cataluña	41.12	1.24	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Cambrils	Cataluña	41.07	1.06	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
L'Hospitalet del Infant	Cataluña	40.99	0.92	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
L'Ametlla de Mar	Cataluña	40.88	0.80	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
L'Ampolla	Cataluña	40.81	0.71	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Deltebre	Cataluña	40.73	0.73	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Amposta	Cataluña	40.71	0.58	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Sant Jaume d'Enveja	Cataluña	40.72	0.75	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Sant Carles de la Ràpita	Cataluña	40.65	0.64	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Alcanar	Cataluña	40.55	0.48	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Malgrat de Mar	Cataluña	41.65	2.76	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Pineda de Mar	Cataluña	41.64	2.67	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Barcelona	Cataluña	41.37	2.18	Erosión	Erosión de la playa	17/02/2020	Informe	MITECO
Sant Pol de Mar	Cataluña	41.61	2.63	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Arenys de Mar	Cataluña	41.58	2.53	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Cabrera de Mar	Cataluña	41.52	2.40	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Premia de Mar	Cataluña	41.49	2.36	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
El Masnou	Cataluña	41.48	2.31	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Montgat	Cataluña	41.47	2.28	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Gavá	Cataluña	41.28	2.01	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Sitges	Cataluña	41.24	1.81	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO

Viladecanas	Cataluña	41.32	2.01	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Cubelles	Cataluña	41.21	1.66	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Castellón	Com. Valenciana	39.99	-0.05	Puerto cerrado	Puerto cerrado	21/01/2020	Noticia	ABC
Gandía	Com. Valenciana	38.99	-0.15	Puerto cerrado	Puerto cerrado	21/01/2020	Noticia	ABC
Sagunto	Com. Valenciana	39.66	-0.21	Puerto cerrado	Puerto cerrado	21/01/2002	Noticia	ABC
Valencia	Com. Valenciana	39.48	-0.32	Puerto cerrado	Puerto cerrado	21/01/2020	Noticia	ABC
Valencia	Com. Valenciana	39.47	-0.32	Dinámica	Inundación de la playa	21/01/2020	Vídeo	ABC
Gandía	Com. Valenciana	39.00	-0.16	Pérdidas humanas	Mujer murió por hipotermia	27/01/2020	Noticia	El Correo
Valencia	Com. Valenciana	39.48	-0.32	Económico	Daños en la ciudad de Valencia: 1 380 107 €.	06/03/2020	Noticia	El Periodic
Jávea	Com. Valenciana	38.79	0.17	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Benitachell	Com. Valenciana	38.72	0.15	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Teulada	Com. Valenciana	38.73	0.10	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Altea	Com. Valenciana	38.62	-0.06	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Alfaz del Pi	Com. Valenciana	38.62	-0.05	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Villajoyosa	Com. Valenciana	38.51	-0.23	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Campello	Com. Valenciana	38.43	-0.40	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Guardamar	Com. Valenciana	38.07	-0.67	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Pilar de la Horadada	Com. Valenciana	37.86	-0.79	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Benicasim	Com. Valenciana	40.07	0.05	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Alcalà de Xivert	Com. Valenciana	40.31	0.23	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Vinarós	Com. Valenciana	40.49	0.45	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Moncofa	Com. Valenciana	39.81	-0.15	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Nules	Com. Valenciana	39.85	-0.16	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Burriana	Com. Valenciana	39.89	-0.08	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Benicarló	Com. Valenciana	40.43	0.41	Daños materiales	Daños materiales en infraestructuras	17/02/2020	Informe	MITECO
Alcalà de Xivert	Com. Valenciana	40.25	0.29	Dinámica	Pérdida playa máx. 29.7, med 17.6	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia

Benicàssim	Com. Valenciana	38.36	-0.44	Dinámica	Pérdida playa máx. 59.5, med. 21.7	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Canet d'En Berenguer	Com. Valenciana	39.68	-0.20	Dinámica	Pérdida playa máx. 39.4, med. 29.1	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Castelló de la Plana	Com. Valenciana	39.99	0.03	Dinámica	Pérdida playa máx. 63.3, med. 32	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Cullera	Com. Valenciana	41.85	3.12	Dinámica	Pérdida playa máx. 41.3, med. 25.4	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Cullera	Com. Valenciana	39.21	-0.23	Dinámica	Pérdida playa máx. 40.3, med. 18	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Cullera	Com. Valenciana	39.14	-0.24	Dinámica	Pérdida playa máx. 37.5, med. 16.4	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Cullera	Com. Valenciana	39.18	-0.24	Dinámica	Pérdida playa máx. 42.5, med. 18.2	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Cullera	Com. Valenciana	39.10	-0.22	Dinámica	Pérdida playa máx. 40.3, med. 18	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Gandía	Com. Valenciana	39.03	-0.18	Dinámica	Pérdida playa máx. 45.3, med. 23.2	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Gandía	Com. Valenciana	38.99	-0.15	Dinámica	Pérdida playa máx. 43.7, med. 26.4	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Oliva	Com. Valenciana	38.87	-0.01	Dinámica	Pérdida playa máx. 50, med. 16.7	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Oliva	Com. Valenciana	38.91	-0.07	Dinámica	Pérdida playa máx. 29.1, med. 16.7	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Oliva	Com. Valenciana	38.94	-0.10	Dinámica	Pérdida playa máx. 32.8, med. 16.3	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Oliva	Com. Valenciana	38.93	-0.09	Dinámica	Pérdida playa máx. 33.7, med. 17.5	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Piles	Com. Valenciana	38.95	-0.12	Dinámica	Pérdida playa máx. 33.1, med. 17.5	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Pobla de Farnals	Com. Valenciana	39.56	-0.29	Dinámica	Pérdida playa máx. 42.1, med. 19	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Sagunt	Com. Valenciana	39.66	-0.21	Dinámica	Pérdida playa máx. 43.4, med. 26.1	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Valencia	Com. Valenciana	39.30	-0.29	Dinámica	Pérdida playa máx. 38.8, med. 20.8	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Valencia	Com. Valenciana	39.47	-0.32	Dinámica	Pérdida playa máx. 38.5, med. 24.3	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Xeraco	Com. Valenciana	39.05	-0.20	Dinámica	Pérdida playa máx. 40.2, med. 19.8	01/02/2020	Informe	Un. Politec. Valencia
Ibiza	Baleares	38.90	1.43	Pérdidas humanas	Hombre británico desapareció en Cala Portinatx	27/01/2020	Noticia	El Correo
Ibiza	Baleares	38.90	1.43	Pérdidas humanas	Hombre desaparecido en Sa Cala San Vicent	27/01/2020	Noticia	El Correo
Cabo de Palos	Murcia	37.63	-0.69	Daños materiales	Destrozos semáforos, señales de tráfico y palmeras, daños cuartel Policía, playa sin arena	20/01/2020	Noticia	20 Minutos
Los Urrutias	Murcia	37.68	-0.83	Daños materiales	Paseo marítimo cubierto de algas + desperfectos cubierta de una vivienda	20/01/2020	Noticia	20 Minutos
Los Nietos	Murcia	37.65	-0.78	Dinámica	Paseo marítimo cubierto de algas	20/01/2020	Noticia	20 Minutos

Playa Honda	Murcia	37.63	-0.74	Daños materiales	Paseo marítimo cubierto de algas + caída de farolas	20/01/2020	Noticia	20 minutos
Cabo de Palos	Murcia	37.63	-0.69	Daños materiales	Paseo marítimo dañado	20/01/2020	Fotos	La Opinión de Murcia
La Manga	Murcia	37.63	-0.71	Daños materiales	Paseo marítimo dañado	20/01/2020	Fotos	La Opinión de Murcia
Cabo de Palos	Murcia	37.63	-0.69	Dinámica	Fuerte oleaje	20/01/2020	Vídeo	La Opinión de Murcia
Los Alcázares	Murcia	37.75	-0.84	Dinámica	Inundación	21/01/2020	Fotos	La Verdad
Cabo de Palos	Murcia	37.63	-0.69	Daños materiales	11 palmeras + Lum. Dañadas + limpieza calles y paseos marítimos	24/01/2020	Noticia	Murcia Plaza
Playa Honda	Murcia	37.63	-0.74	Daños materiales	32 pinos + 1 ciprés + Lum. Dañadas + limpieza calles y paseos marítimos	24/01/2020	Noticia	Murcia Plaza
Los Nietos	Murcia	37.65	-0.78	Daños materiales	Lum. Dañadas + limpieza calles y paseos marítimos	24/01/2020	Noticia	Murcia Plaza
La Manga	Murcia	37.67	-0.73	Daños materiales	50 ejemplares de palmeras y árboles	24/01/2020	Noticia	Murcia Plaza
Los Urrutias	Murcia	37.68	-0.83	Daños materiales	Lum. Dañadas + limpieza calles y paseos marítimos	24/01/2020	Noticia	Murcia Plaza
Los Alcázares	Murcia	37.75	-0.84	Dinámica	Inundación	21/01/2020	Noticia	Onda Regiona Murcia

Tabla 6 - Hemeroteca del temporal Gloria