

Interreg
Sudoe



EUROPEAN UNION



European Regional Development Fund

Desarrollo de herramientas para prevenir y gestionar los riesgos en la costa ligados al cambio climático

Actividad E.4.5.1 Modelos de predicción del riesgo costero.

Informe del GT3: Desarrollo de herramientas de gestión basadas en el estudio integrado de la dinámica fluvial y costera

Due date of deliverable: 20/09/2022

Actual submission date: 20/09/2022

Lead contractor for this deliverable: UGR

Autores

Marina Cantalejo, Agustín Millares Valenzuela, Manuel Cobos Buda, Leonardo Nanía Escobar, Pedro Magaña Redondo, Asunción Baquerizo Azofra, Rosa María Mateos, Jorge Pedro Galve Arnedo, Juan Antonio Luque Espinar, Cristina Reyes Carmona, Oriol Monserrat

Project funded by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



Índice

1	INTRODUCCIÓN.	3
2	TRAMO AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE RULES.	4
2.1	Estimación del caudal de avenida.	4
2.1.1	<i>Cálculo del periodo de retorno.</i>	4
2.1.2	<i>Estimación del hidrograma de avenida.</i>	5
2.1.3	<i>Aportaciones de las cuencas no reguladas aguas abajo de la presa.</i>	6
2.2	Configuración del modelo IBER.	6
3	DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALFEO. Zona costera.	7
3.1	Selección de las tormentas.	7
3.2	Propagación de los estados climáticos de aguas profundas a aguas someras.	7
4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.	8
4.1	Tramo final del río Guadalfeo.	8
4.2	Tramo costero de la desembocadura.	10
5	CONCLUSIONES.	14
6	REFERENCIAS.	15
	ANEJO 1: Resumen de los resultados de las simulaciones. ¡Error! Marcador no definido.	
	ANEJO 2: Cartografía en formato A3 de zonas vulnerables ¡Error! Marcador no definido.	
	por inundación.	¡Error! Marcador no definido.

1 INTRODUCCIÓN.

El Grupo de Trabajo 3 (GT3), del proyecto RISKCOAST, centra su actividad en la elaboración de herramientas que permitan obtener un pronóstico del comportamiento hidrológico, erosivo y sedimentario de la cuenca en un contexto de cambio climático y establecer estrategias de adaptación y mitigación de los efectos adversos sobre las infraestructuras existentes a lo largo de la red fluvial y en la costa.

Este entregable se centra en analizar las zonas costeras más susceptibles a sufrir daños por inundación, en condiciones de cambio climático, a partir de la modelización hidrodinámica del curso fluvial y el entorno costero. La zona de estudio corresponde con el Delta del río Guadalfeo, localizado entre playa Granada y la playa de la Charca (Salobreña). El tramo del río analizado discurre entre su confluencia con la rambla de Molvizar y la desembocadura. [Localidades susceptibles de verse afectadas, Salobreña y Vélez de Benaudalla]

La modelización hidrodinámica del tramo final se lleva a cabo mediante el software IBER 2D (Bladé et al, 2014) Este nos permite evaluar las condiciones hidráulicas más desfavorables asociadas a cada tipo de avenida. La modelización del comportamiento marítimo costero se lleva a cabo mediante el software DELFT-3D (Roelvink et al., 1995), propagando las condiciones marítimas asociadas a eventos significativos en aguas profundas hacia aguas someras.

2 TRAMO AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE RULES.

El tramo del río analizado discurre a partir de la confluencia con la rambla de Molvizar y su desembocadura, pasando por debajo de la autovía A7 (Puente de Lobres) y de la carretera nacional N-340. Desde su desembocadura, hasta 3 km aguas arriba, el río se encuentra encauzado con una pendiente de So (0.008) y un ancho del canal de ~ 40m.

2.1 Estimación del caudal de avenida.

2.1.1 Cálculo del periodo de retorno.

Los eventos seleccionados para valorar el riesgo por inundación de la zona baja del río corresponden con la avenida que tuvo lugar en el 1973 (~150 mm/d) y con la del 2009 (~100mm/d). Para caracterizar su periodo de retorno (TR), se han ajustado los datos de precipitación máxima anual registrados en la zona, a una función de distribución tipo Gumbel, dando como resultado, para la avenida del 1973, un TR de 100 años, y para la del 2009 un TR de 10 años. Con ello, evaluamos el impacto que tiene una avenida de carácter excepcional y una avenida característica del régimen de “pulsos” del sistema cuenca analizado.

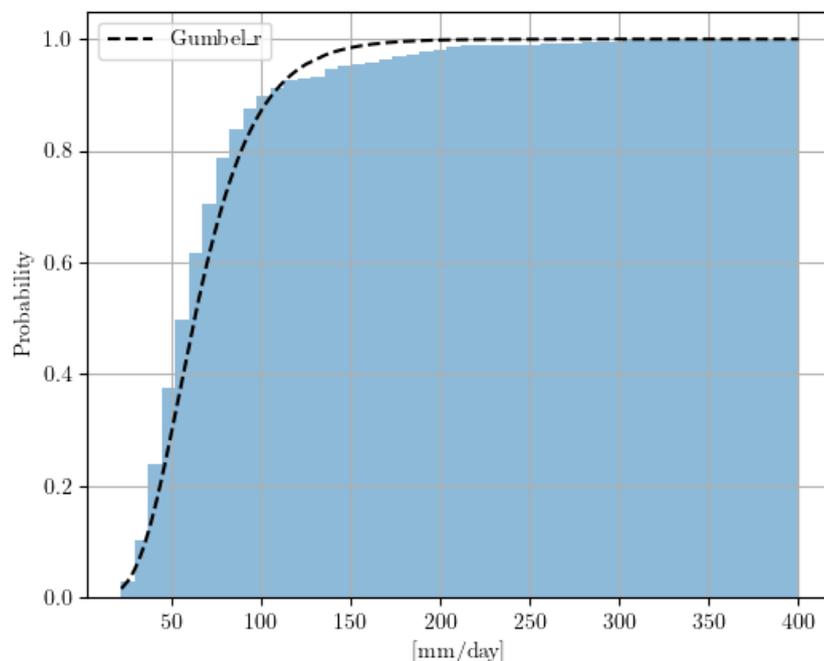


Figura 1_Histograma empírico de la precipitación máxima anual observada en la cuenca del Guadalfeo del (1970-2010). Caracterización de la función de distribución empírica mediante el ajuste teórico de una función de distribución tipo Gumbel.

2.1.2 Estimación del hidrograma de avenida.

Avenida del 1973:

La simulación obtenida con WiMMed (Herrero et al., 2010) para este evento, estima el siguiente hidrograma para la avenida del día 18 de octubre de 1973, alcanzando un caudal pico de 1200 m³/s y una duración aproximada de 6 horas. (Capel et al., 1974)

Tabla 1_ Hidrograma estimado de la avenida de 1973 en la zona baja del río Guadalfeo.

Tiempo (horas)	1	2	3	4	5	6
Caudal (m ³ /s)	15.2	1188.6	342	106.2	41.6	19.3

Avenida del 2009:

A partir de la variación horaria del volumen del embalse, los datos observados en Órgiva y los simulados por el modelo WiMMed, se ha obtenido una estimación plausible de lo que pudo ser la operación de desembalse durante dicho evento. En la figura 2, se observa una riada inicial aguas debajo de duración 13 horas y un caudal punta 135 m³/s, entre los días 23 y 24 de diciembre (línea negra, Q_{out}). El segundo pulso de la avenida tiene lugar sobre el día 27 de diciembre, con un caudal de desagüe que se estabiliza en los 60 m³/s. [Se selecciona la primera avenida para estimar el impacto en el tramo bajo del curso fluvial].

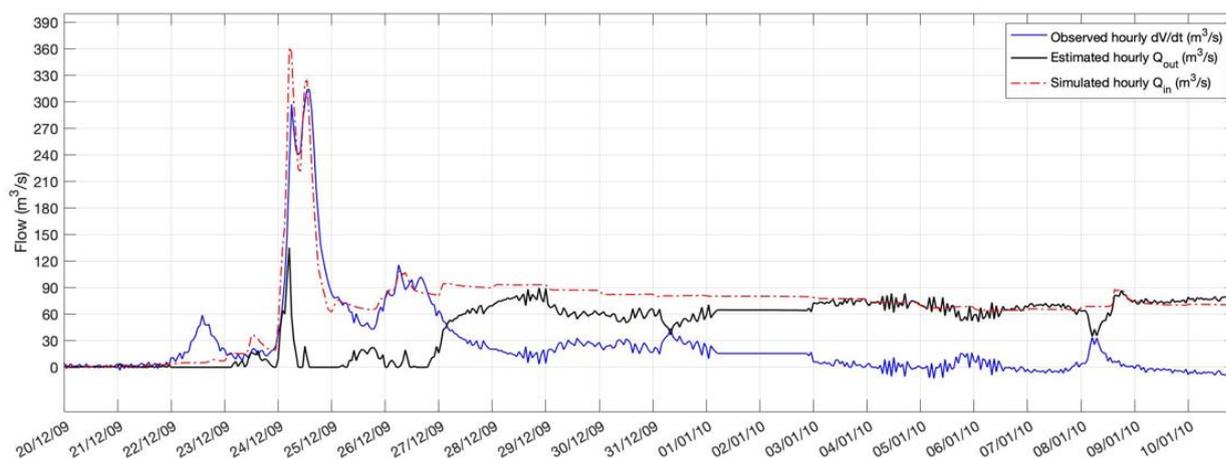


Figura 2 Caudal desagado por la presa estimado (negro) a partir de la variación horaria del nivel del embalse (azul) y caudal simulado por WiMMed en Órgiva (rojo)

2.1.3 Aportaciones de las cuencas no reguladas aguas abajo de la presa.

Se asumirá que los hidrogramas de las avenidas seleccionadas no sufrirán el efecto de la laminación del embalse. Hasta la confluencia con Molvizar, las cuencas no reguladas que vierten sus aguas al cauce principal son caracterizadas por el régimen de avenida propuesto por la DGPGDPH (Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico) de la Junta de Andalucía.

- Las aportaciones de las cuencas no reguladas según DGPGDPH alcanzan un caudal pico de 818 m³/s de TR= 500 años en la unión del cauce del río Guadalfeo con la rambla de Molvizar.

En total, si consideramos que coincide el caudal punta de ambas aportaciones, río y cuencas no reguladas, el caudal pico total para cada avenida sería se podría estimar entre 2006 m³/s y 953 m³/s.

2.2 Configuración del modelo IBER.

A parte de los hidrogramas de entrada que definen las tormentas, se detallan los parámetros de iniciación del modelo.

- Datos cartográficos.

El modelo digital del terreno posee una resolución de 5 m. Los usos del suelo proceden de la información disponible en la REDIAM sobre el proyecto MUCVA (mapas de usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía).

- Definición de puentes.

Puente de Lobres. Cota inferior del tablero 36.7m. Cota superior del tablero 37.5 m. Abertura libre quitando pilas: 90%.

Puente de la carretera N-340. Cota inferior del tablero 23 m. Cota superior del tablero 23.8 m. Abertura libre quitando pilas: 95%.

3 DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALFEO. Zona costera.

El delta del Guadalfeo se localiza entre la punta del Santo, originalmente la desembocadura del río en 1943, y el peñón de Salobreña. La llanura del delta se encuentra limitada hacia el oeste por dicha formación rocosa, y hacia el este, por el puerto de Motril. Esto limita el transporte de sedimento longitudinal en esta dirección. (Bergillos et al., 2015). Existen dos direcciones predominantes del oleaje, el sureste y el suroeste, y cuando la altura de ola supera los 1.5 m en aguas profundas, los procesos de transporte aumentan significativamente en este tramo de la costa.

3.1 Selección de las tormentas.

Los datos proporcionados por el SIMAR 2041080, localizado en el punto más cercano al delta del Guadalfeo, permite seleccionar las tormentas más significativas a lo largo del periodo histórico (1970-2000) en las dos direcciones predominantes del oleaje. En marzo de 1990, tuvo lugar una tormenta de dirección sureste, con una altura de ola máxima de 2.96 m. En dirección suroeste, la máxima altura de ola alcanza los 2.42 m en noviembre de 1997.

Análogamente, en condiciones de cambio climático, se seleccionan las tormentas más relevantes asociadas a cada una de las direcciones de propagación predominantes según los modelos regionalizados (RCM), CCLM4-Can ESM2 (este y oeste), el RCA4-HadGEM2-ES (este) y RCA4-CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 (oeste). La subida del nivel medio del mar se estima para el escenario RCP 8.5 en 0.15 [m]. Las tormentas más importantes con dirección del oleaje sureste tienen lugar en octubre de 2045 (primer modelo) y marzo de 2042 (segundo modelo) y alcanzan una altura de ola máxima de 3.08 m y 3.06 m, respectivamente. Aquellas que proceden del suroeste, ocurren en noviembre del 2034 y enero de 2028, con alturas de ola que alcanza los valores máximos de 3.42 m y 3.76 m.

3.2 Propagación de los estados climáticos de aguas profundas a aguas someras.

Las tormentas seleccionadas se propagan hasta el emplazamiento usando modelos numéricos. En primer lugar, se hace uso del entorno DELFT-3D alimentado con datos de oleaje y nivel del mar en profundidades indefinidas hasta profundidades intermedias del orden de 20-25 m. En la propagación del oleaje, se tiene en cuenta los procesos de asomeramiento, refracción, difracción y reflexión por presencia de corrientes u obstáculos. Además, se incluyen también los procesos de generación y crecimiento del oleaje por viento y disipación por fricción con el fondo o por rotura.

Para la simulación de los procesos hidrodinámicos en las proximidades de la costa, se hace uso del modelo CSHORE (Kobayashi et al., 2016) incorporado dentro de CoastalME, que permite estudiar los procesos hidrodinámicos y calcular el transporte de sedimentos potencial en un estado de mar, usando el modelo tipo de una línea. A partir de la batimétrica 20 m, se considera que los posibles cambios en la morfología tienen un efecto sobre los procesos hidrodinámicos, limitando su influencia a la franja más cercana a la costa.

4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

4.1 Tramo final del río Guadalfeo.

A continuación, se analizan los resultados obtenidos por el modelo numérico IBER-2D. En primer lugar, se muestran los calados máximos que delimitan la zona inundada por la crecida. Luego, las velocidades máximas dan información sobre las zonas más susceptibles a sufrir por erosión. Y finalmente, el binomio calado por velocidad da una idea de la peligrosidad de la riada.

La figura 4 muestra la simulación de la riada de carácter excepcional, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años con un caudal pico de 1188 m³/s. Aguas arriba, se aprecia una mayor capacidad de inundación de las zonas colindantes al cauce. La mayor parte de las zonas inundadas se corresponden con áreas de cultivo. Sin embargo, se observa que la riada podría afectar al servicio de carreteras en los cruces con la A-7 y la N-340. En este último, la altura del tablero y la distancia entre pilas y estribos limita la capacidad de desagüe de la riada, provocando afecciones en la parte este del municipio de Salobreña. En la zona más cercana a la desembocadura, las condiciones de contorno impuestas en la zona del mar limitan la capacidad de intrusión de la riada en ella, extendiéndose hacia las zonas urbanizadas de la playa de la Charca. En relación con las velocidades máximas, cabe destacar los siguientes puntos. En la parte más elevada del tramo analizado, se observan velocidades máximas que alcanzan entre los 2 y los 2.5 m/s fuera del cauce del río, suponiendo la pérdida de suelo para la vegetación natural o el cultivo. Entre el paso elevado de la carretera GR-5300 y la N-350, el curso fluvial alcanza velocidades de entre 3 y 5 m/s, que pueden ocasionar problemas de erosión del lecho del río que se encuentra naturalizado. El último punto analizado es la peligrosidad, evaluada como velocidad por el calado (máximo). Aquellas zonas que cumplan con un valor superior a 0.5, se considerarán áreas vulnerables a la riada. En este sentido, cabe destacar principalmente las zonas colindantes al curso fluvial en la parte más alta del tramo analizado y justo antes de llegar a la desembocadura, cerca de la zona urbanizada.

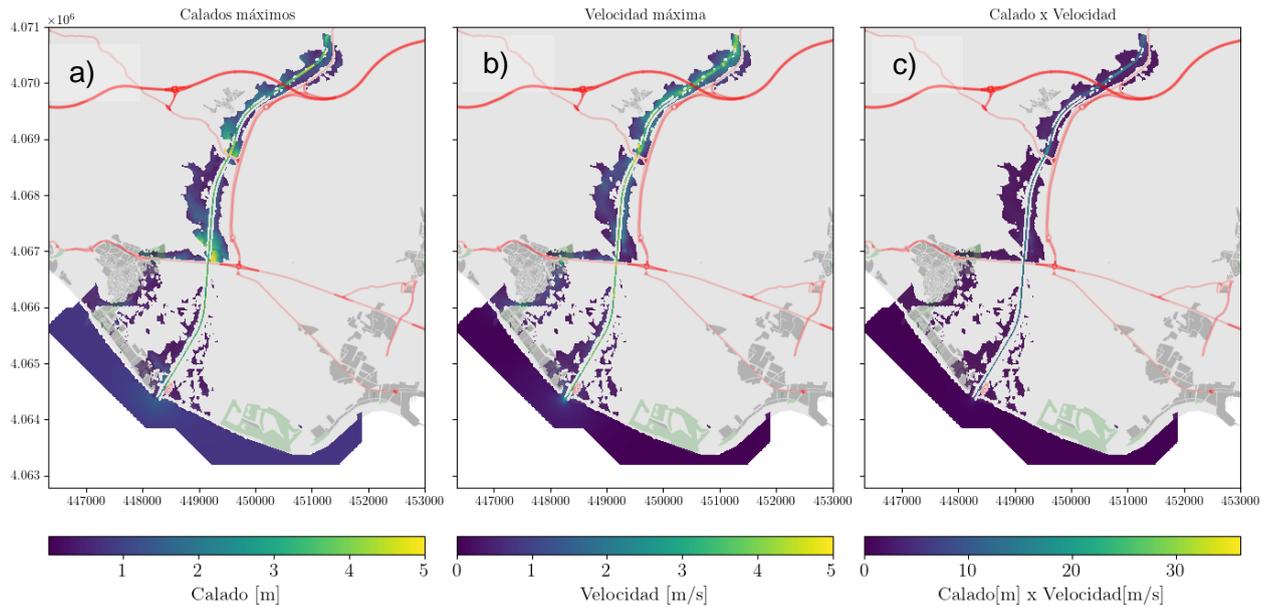


Figura 3 Simulación hidrodinámica 2-D de un evento de periodo de retorno 100 años con el modelo IBER en el tramo bajo del río Guadalfeo. La figura a) recoge la información sobre los calados máximos, b) las velocidades máximas y c) el binomio calado x velocidad.

Análogamente, se analizan los resultados obtenidos para la riada de periodo de retorno 10 años con un caudal pico de $135 \text{ m}^3/\text{s}$. Los calados máximos indican que la parte más alta del tramo analizado es donde la llanura de inundación va a experimentar su máxima crecida. En cambio, en la parte más baja del río, la crecida no llega a superar los márgenes del río. Las zonas más afectadas coinciden con tierras de cultivo y algunos invernaderos. Las velocidades máximas se mueven en un rango óptimo entre 1 y 2 m/s, pero sin embargo el índice “velocidad x calado”, muestra valores por encima de 1.5 a lo largo de todo el curso fluvial, y se mantiene por debajo de 1 para las zonas donde la es mayor.

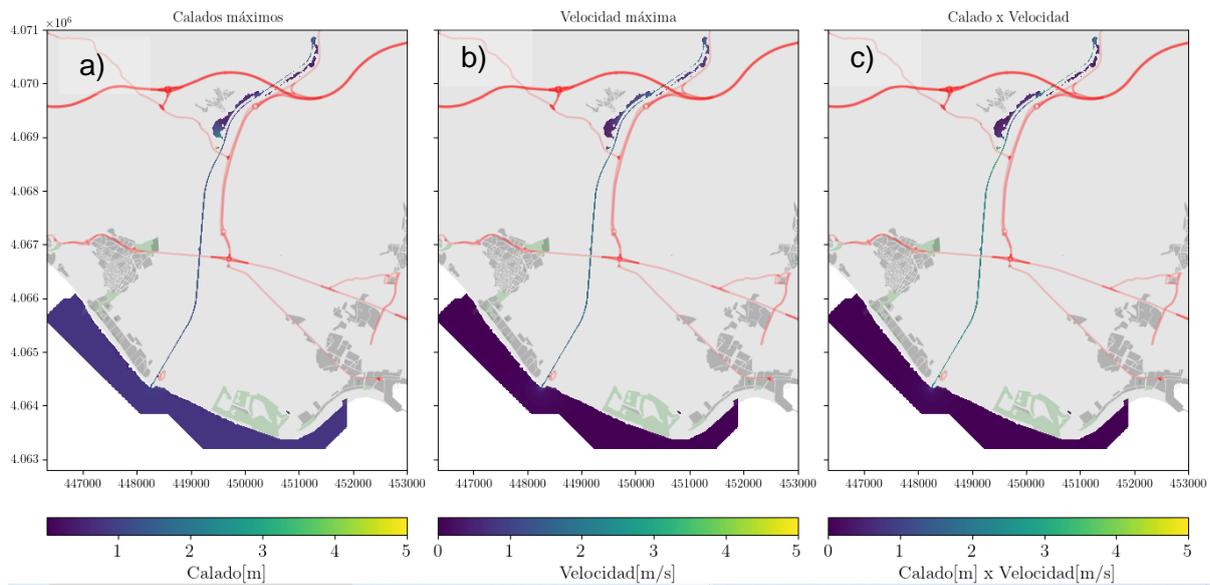


Figura 4 Simulación hidrodinámica 2-D de un evento de periodo de retorno 10 años con el modelo IBER en el tramo bajo del río Guadalfeo. La figura a) recoge la información sobre los calados máximos, b) las velocidades máximas y c) el binomio calado x velocidad.

4.2 Tramo costero de la desembocadura.

En el siguiente apartado, se analizan la cota de inundación máxima y la capacidad de erosión, de un conjunto de tormentas marítimas que representan eventos extremos según un periodo de observación de 1958 - 2018, y según las predicciones de cambio climático para el periodo 2025 - 2045, procedentes de dos modelos climáticos CCLM4-Can ESM2 y el RCA4-HadGEM2-ES. En la zona de estudio, se distinguen dos direcciones de propagación predominantes, (Este y Oeste), por lo que los resultados se analizarán distinguiendo ambas direcciones.

En primer lugar, se muestran las tormentas marítimas seleccionadas con dirección Este, en donde la altura de ola máxima estimada por los modelos, apenas supera la observada por el punto SIMAR más cercano. Sin embargo, la subida del nivel medio del mar contribuye de manera significativa en la inundación de playa Granada (zona 3 - Fig. 7 c), atendiendo a las proyecciones del modelo CCLM4-CanESM2. El retroceso estimado de la línea de costa, para esta zona 3, alcanza los 100 y 150 m, y el área total inundada alcanza los 300.000 m² en todo el tramo analizado. Según el modelo RCA4 se estima un área máxima inundada de 74.000 m² y en condiciones actuales. Estas estimaciones sobrepasan considerablemente el área máxima inundada por una tormenta en condiciones actuales (49.000 m²). Además, en la zona 1, correspondiente a la urbanización de la charca (situado a la izquierda de la desembocadura), se

aprecia un el retroceso de la línea de costa de hasta 18 m, que pone en riesgo la inundabilidad de la urbanización. También cabe destacar el aumento de la cota de inundación observado en la zona 2, (a la derecha de la desembocadura del río), en donde se prevé hasta 40 m respecto de las condiciones históricas.

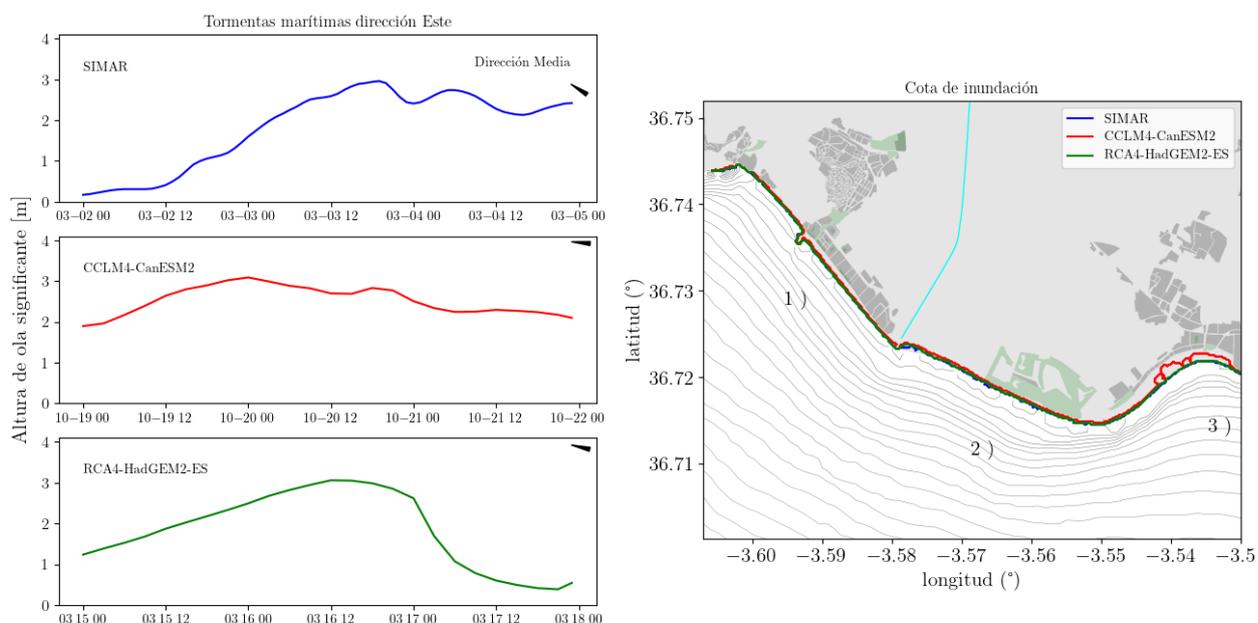


Figura 5_ Simulación hidrodinámica de las tormentas más extremas con dirección Este según (a) datos de SIMAR - puertos del estado (b, c) proyecciones climáticas según el escenario de cambio climático RCP 8.5 para los modelos CCLM4-CanESM2 y RCA4-HadGEM2.

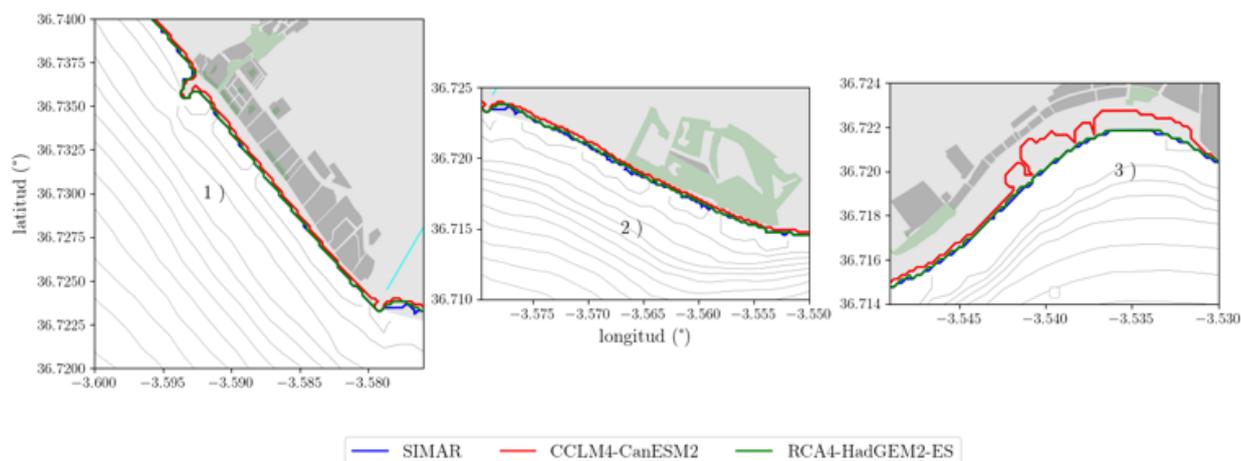


Figura 7_ Cota de Inundación de las tormentas más extremas con dirección Oeste. 1) Urbanización de la Charca. 2) Delta del Guadalfeo – Punta del Santo. 3) Playa granada - Puerto de Motril.

A continuación, se muestran las tormentas marítimas seleccionadas con dirección Oeste. Las predicciones de los modelos climáticos alcanzan en torno a ~1 m más de altura de ola máxima,

que el valor máximo registrado por el SIMAR. En este caso, se aprecia un comportamiento similar entre las tormentas del periodo observado y las estimadas por los modelos, a lo largo de la zona de estudio. Al igual que en el caso anterior, la (zona 1) y la (zona 2) seguirán presentando problemas de inundabilidad.

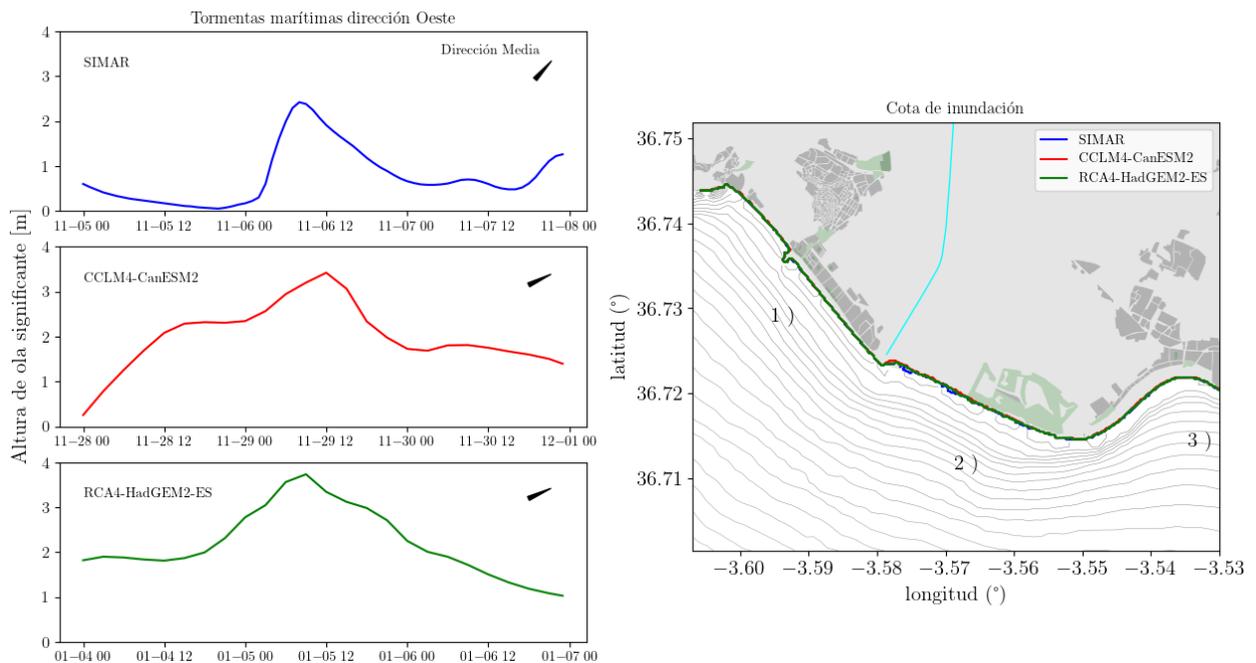


Figura 8_ Simulación hidrodinámica de las tormentas más extremas con dirección Oeste según (a) datos de SIMAR - puertos del estado (b, c) proyecciones climáticas según el escenario de cambio climático RCP 8.5 para los modelos CCLM4-CanESM2 y RCA4-HadGEM2.

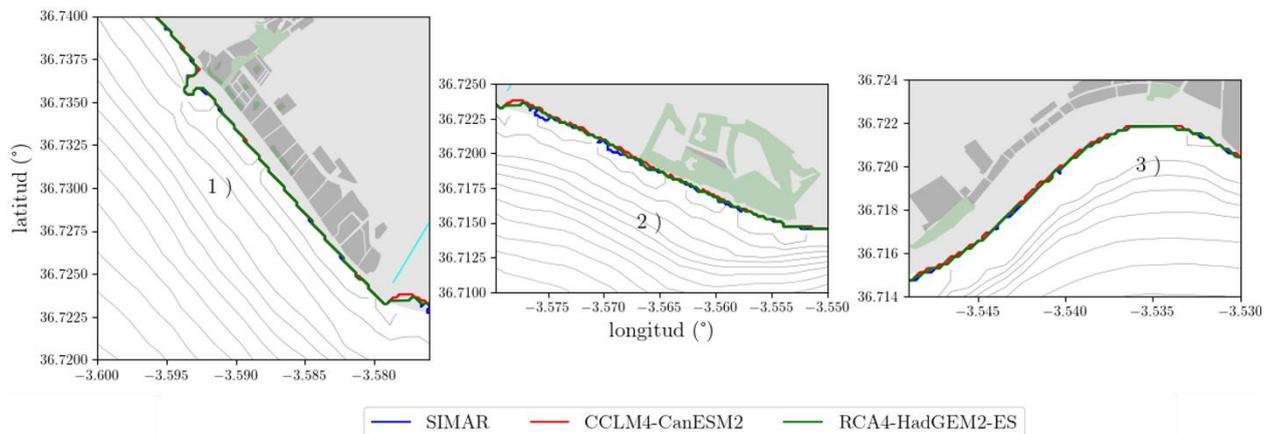


Figura 9_ Cota de Inundación de las tormentas más extremas con dirección Este. 1) Urbanización de la Charca. 2) Delta del Guadalfeo – Punta del Santo. 3) Playa granada - Puerto de Motril.

Analizando el comportamiento erosivo de estas tormentas, en la siguiente figura se muestran en la primera fila los resultados obtenidos por las tormentas con dirección Este, y en la segunda fila aquellos de dirección Oeste. Dado que las condiciones hidrodinámicas son muy similares para las 3 tormentas seleccionadas con dirección Este, los procesos de erosión son también muy similares entre sí. En este caso, aunque los procesos de erosión – acreción son más intensos que los observados para las tormentas de dirección Oeste, el transporte neto resulta ser inferior, entre los 9 y los 5 m³ en condiciones actuales y futuras. En cambio, las tormentas con dirección de propagación Oeste, si experimentan una intensificación de los procesos de sedimentación a lo largo de toda la línea de costa y de erosión en la batimétrica 25 m según el modelo CCLM4 con RCP 8.5. Se estima que el balance neto según las previsiones del SIMAR es de 1m³, de 40 m³ según el modelo CCLM4 y 12 m³ según el RCA4. Esto implica que para las tormentas con dirección de propagación predominantemente del Oeste, será más probable que lleven asociada un transporte longitudinal mayor.

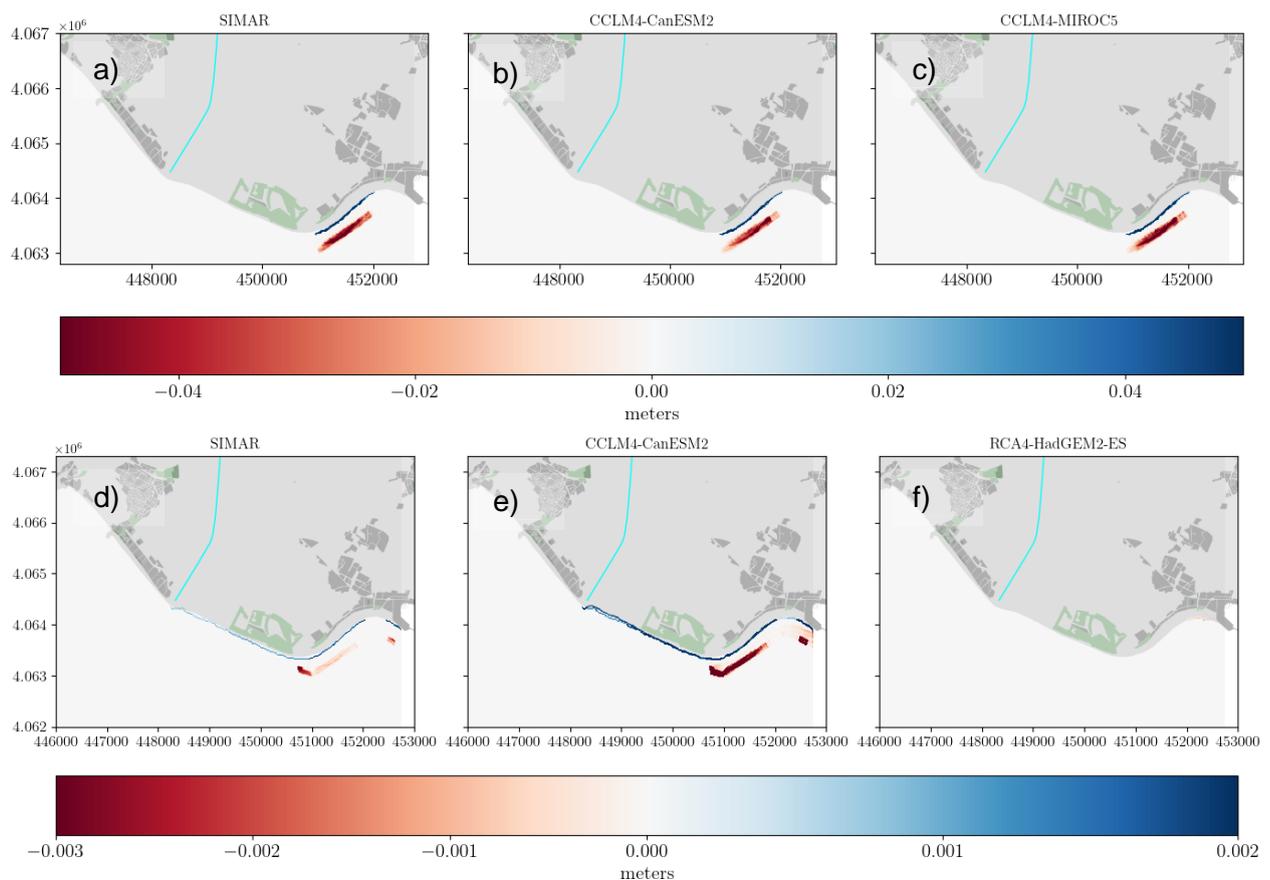


Figura 10_ Cota de Erosión de las tormentas más extremas con dirección Este (primera fila) y Oeste (segunda fila). En la figura a y d, se muestran los resultados de los procesos erosivos asociados a una tormenta observada por SIMAR. En la figura b y e, los correspondientes al modelo CCLM4-CanESM2. En la figura c y f, los asociados al modelo RCA4-HadGEM2-ES.

5 CONCLUSIONES.

El análisis de las proyecciones climáticas pone de manifiesto la vulnerabilidad, frente al riesgo por inundación, que sufre toda la franja costera del delta del Guadalfeo, desde la punta de Salobreña hasta el puerto de Motril. La avenida fluvial de carácter excepcional, indica un desbordamiento del cauce fluvial causando afecciones a los tramos de carretera A-7 y N-340 y al núcleo poblacional de Salobreña. Los resultados de la propagación de las tormentas marítimas, en condiciones de cambio climático, muestran un aumento de la cota de inundación a lo largo del tramo estudiado. Principalmente, se observa un retroceso de la línea de costa en el área de playa Granada (indicada como zona 3), asociada a tormentas con dirección de propagación Este. La intensificación de las tormentas y el aumento del nivel medio del mar, son las principales causas del aumento de la cota de inundación. Además, también se aprecia un aumento de los procesos erosivos y del transporte de sedimento en sentido longitudinal asociado a las tormentas de dirección Oeste, aunque estos resultados pueden variar significativamente dependiendo del modelo analizado. En condiciones actuales, el balance neto de transporte longitudinal es cero, mientras que, en condiciones de cambio climático, se aprecia una mayor pérdida por erosión del lecho. Las tormentas con dirección Este, presentan un comportamiento similar en condiciones actuales y bajo escenario de cambio climático, e indican un aumento de los procesos erosivos en la línea de costa y un incremento de la acreción del lecho a partir de la cota batimétrica de 15 m.

Debido a la creciente preocupación por mitigar los efectos del cambio climático en la costa, los planes de adaptación al cambio climático proponen el siguiente conjunto de medidas para mitigar la afección por inundación de las zonas urbanas.

- Medidas de protección frente a inundaciones en el cauce fluvial:
 - Restauración hidrológico – forestal, incluyendo medidas de retención del agua.
 - Restauración fluvial y corrección de márgenes en las zonas afectadas.
 - Mejora morfológica de río para facilitar el desarrollo de vegetación de ribera.
 - Mejora de la conexión entre el río y la llanura de inundación, mediante el retranqueo de motas y obras de defensa.
 - Trabajos selvícolas y control de la vegetación de riberas
- Medidas de protección frente a inundaciones en la costa:
 - Creación de infraestructuras basadas en la naturaleza: isla barrera, salinas, arrecifes
 - Regeneración de playas como barrera

Elevación de las zonas urbanas y el servicio de comunicaciones

Construcción de rompeolas.

○ Trabajos de monitorización y seguimiento

Trabajos topográficos de detalle (LIDAR) en los cauces fluviales y zonas costeras.

Seguimiento de las actuaciones adoptadas y actuaciones complementarias.

6 REFERENCIAS.

Aguilar, C., Herrero, J., Millares, A., Losada, M. A., Polo, M. J. (2014). Meteomap: Generation of meteorological variables for distributed physically-based hydrological modeling. CUNY Academic Works.

Bergillos, R. J., Rodríguez-Delgado, C., Millares, A., Ortega-Sánchez, M., and Losada, M. A. (2016). Impact of river regulation on a Mediterranean delta: assessment of managed versus unmanaged scenarios. *Water Resources Research*, 52(7):5132-5148.

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. (2014). Iber:herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1-10.

Capel, H. (1974). Agentes y estrategias en la producción del espacio urbano español. *Revista de geografía*, 19-56.

Foster, G.R., Flanagan, D.C., Nearing, M.A., Lane, L.J., Risse, L.M., Finkner, S.C. (1995). Hillslope erosion component, chap 11. D.C. Flanagan, M.A. Nearing (Eds.), *USDA-Water Erosion Prediction Project, Hillslope profile and watershed Model Documentation*, NSERL Report no. 10, West Lafayette, Indiana (1995), pp. 11-1-11-12

Herrero, J., Aguilar, C., Millares, A., Egüen, M., Carpintero, M., Polo, M., Losada, M. A. (2010). *WiMMed. User Manual v1.1*. University of Granada, Granada.

Herrero, J., Millares, A., Aguilar, C., Egüen, M., Losada, M.A., Polo, M.J., 2014. Coupling spatial and time scales in the hydrological modelling of Mediterranean regions: *WiMMed*. CUNY Academic Works. http://academicworks.cuny.edu/cc_conf_hic/315.

Herrero, J., Polo, M. J., Moñino, A. , & M. Losada. (2009). An energy balance snowmelt model in a Mediterranean site. *Journal of Hydrology* 371(1), 98–107.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Clinical oral investigations, 20(9), 2353-2360. Millares, A., Herrero, H., Bermúdez, M., Leiva, J.F., Cantalejo, M. (2020).

Kobayashi, E., Flückiger, L., Fujioka-Kobayashi, M., Sawada, K., Sculean, A., Schaller, B., & Miron, R. J. (2016). Comparative release of growth factors from PRP, PRF, and advanced-PRF. Long-term modeling of soil loss and fluvial transport processes in a mountainous semi-arid basin, southern Spain. River Flow 2020 - Twentieth International Conference on Fluvial Hydraulic, Delf, Netherlands (under review)

Millares, A., Díez-Minguito, M., Moñino, A. (2019). Evaluating gullying effects on modeling erosive responses at basin scale. Environmental Modelling & Software, 111, 61-71.

Millares, A., Moñino, A. 2018. Sediment yield and transport process assessment from reservoir monitoring in a semi-arid mountainous river. Hydrological Processes 32(19), 2990–3005.

Millares, A., Moñino, A., Arjona, S., Baquerizo, A. (2018). Suspended sediment dynamics by event typology and its siltation effects in a semi-arid snowmelt-driven basin. In E3S Web of Conferences (Vol. 40, p. 04008). EDP Sciences

Millares, A., Gulliver, Z., and Polo, M. (2012). Scale effects on the estimation of erosion thresholds through a distributed and physically-based hydrological model. Geomorphology, 153-154:115-126.

Millares, A., Polo, M., Moñino, A., Herrero, J., and Losada, M. (2014 a). Bedload dynamics and associated snowmelt influence in mountainous and semiarid alluvial rivers. Geomorphology, 206(0):330-342.

Millares, A., M. Polo, A. Monino, J. Herrero, and M. Losada (2014b), Reservoir sedimentation and erosion processes in a snow-influenced ~ basin, in Southern Spain, in Reservoir Sedimentation—Special Session on Reservoir Sedimentation of the 7th International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow, pp. 91–98, Taylor and Francis Group, London, U. K.

MITECO (2020). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Madrid 246 p.

Morgan, R.P.C., (1995). Soil Erosion and Conservation. Longman, London, 298 pp.

Roelvink, J. A., and G. K. F. M. Van Banning. "Design and development of DELFT3D and application to coastal morphodynamics." Oceanographic Literature Review 11.42 (1995): 925.

Rodríguez, J. (2008). Sistema de Inferencia Espacial de Propiedades Físico-Químicas e Hidráulicas de los Suelos de Andalucía. Herramienta de Apoyo a la Simulación de Procesos Agro-Hidrológicos a Escala Regional. Informe Final. Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero, Consejería de Agricultura y Pesca.