

Análisis preliminar de la cartografía geomorfológica de las superficies inundadas por temporales recientes en la franja litoral catalana

Preliminary analysis of the geomorphological mapping of the surfaces flooded by recent storms in the Catalan coastal strip

Rosa Carles^a, Fus Micheo^b, Jordi Pinyol^c, y Marta González^d

^aICGC, Rosa.Carles@icgc.cat Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), Barcelona; ^bICGC, , fus.micheo@icgc.cat; ^cICGC, , Jordi.Pinyol@icgc.cat; ^dICGC, , Marta.Gonzalez@icgc.cat.

How to cite: Carles, R.; Micheo, F.; Pinyol, J. y González, M. 2024. Análisis preliminar de la cartografía geomorfológica de las superficies inundadas por temporales recientes en la franja litoral catalana. En libro de actas: *XII Jornadas de Geomorfología Litoral*. Valencia, 25-27 de septiembre de 2024. <https://doi.org/10.4995/GEOLIT24.2024.18692>

Abstract

The current climatic emergency situation we are facing, where a greater frequency and intensity of sea storms affecting the Mediterranean coast is expected, and consequently, an increase in the coast vulnerability, knowledge of the current state of the coastline must be increased. Thus, it is essential to know the effects of coastal dynamics on the territory in high-energy episodes, such as those generated by sea storms.

With this aim, the Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) has carried out a geomorphological mapping of flooded surfaces by recent storms and has analyzed their effects. In this work we present a first qualitative analysis of this study, taking as a reference the geomorphological effects triggered by Gloria storm, the most important and catastrophic sea storm of the last decade. This analysis will provide new data and knowledge on how coastal dynamics transforms the coastline, a key point for governments to promote and implement effective strategies to mitigate the storms impact, reducing damage and increasing the resilience of the coast.

Keywords: coastal dynamics, sea storm, erosion, geomorphological mapping

Resumen

Ante la actual situación de emergencia climática a la que nos enfrentamos, donde se prevé una mayor frecuencia e intensidad de los temporales marítimos que afectan el litoral mediterráneo debemos incrementar el conocimiento sobre el estado actual en que éste se encuentra. Para ello, es fundamental conocer los efectos que ocasiona la dinámica litoral sobre la franja costera durante episodios de alta energía, como son los generados por los temporales marítimos.

Con este objetivo desde el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC, en adelante) se han realizado las cartografías geomorfológicas de las superficies inundadas generadas por los temporales de los que se dispone de imágenes aéreas y satelitales obtenidas inmediatamente después del temporal, y se han analizado sus efectos. En este artículo se presenta un primer análisis de este estudio tomando como referencia los efectos geomorfológicos desencadenados por la borrasca Gloria, por ser el temporal marítimo más importante y catastrófico de la última década. Este análisis aporta nuevos datos y conocimiento sobre cómo la dinámica litoral transforma la línea de costa en Catalunya, punto clave para que las administraciones puedan impulsar y ejecutar estrategias eficaces que mitiguen el impacto de los temporales, reduciendo sus efectos e incrementando la resiliencia del litoral.

Palabras clave: dinámica litoral, temporales marítimos, erosión, cartografía geomorfológica

1. Introducción

En el actual contexto de cambio climático al que nos enfrentamos, de acuerdo con las proyecciones climáticas, los temporales marítimos altamente energéticos podrían aumentar su frecuencia e intensidad. Si, además, tenemos en cuenta la alta antropización y ocupación de la franja costera, el resultado es una mayor exposición a los riesgos litorales. El litoral catalán en las últimas décadas ha sufrido una gran transformación y presión debido a la actividad antrópica, tanto por el aumento de la población como por el gran desarrollo del sector turístico e industrial. Esta presión queda reflejada en el hecho que la franja costera se encuentra urbanizada en un 59 % en los 100 primeros metros, cifra que aumenta al 81 % si no se tiene en cuenta el Cap de Creus y el Delta de l'Ebre (GENCAT, 2024). Por otra parte, según los datos publicados en el Sexto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2023), si nos fijamos en las proyecciones climáticas, se prevé una mayor frecuencia e intensidad de los temporales marítimos en el Mediterráneo y una subida significativa del nivel del mar. Por consiguiente, nos encontramos con un litoral altamente antropizado que debe hacer frente a los efectos de los temporales marítimos. Teniendo en cuenta este contexto, si se quieren mitigar los efectos del cambio climático y reducir los riesgos a los que está expuesta la franja litoral es necesario que las administraciones afronten la gestión del litoral con la máxima información posible.

Con este propósito, en el año 2022, el departamento d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural de Catalunya impulsó el Servicio de Información de la Dinámica Litoral (SIDL), financiado por el Fons Climàtic (GENCAT, 2022), con la supervisión de la Comisió Interdepartamental del Canvi Climàtic y con la asistencia técnica de la Comissió de Fons Climàtic. El SIDL pretende ser un instrumento que aglutine el conocimiento sobre la franja litoral y que promueva sinergias entre organismos públicos, centros de investigación, empresas y ciudadanía en general, todo ello con el objetivo final de que el SIDL sea la herramienta que reúna todo el conocimiento del litoral en una misma interfaz de visor de mapas. El ICGC es el organismo responsable de liderar y coordinar el proyecto SIDL y, en este marco, está llevando a cabo diversos trabajos entre los que se encuentra el presente estudio.

Las cartografías geomorfológicas de los efectos desencadenados por temporales recientes que presentamos en este trabajo son de gran utilidad para comprender la dinámica litoral, evaluar el impacto sobre el territorio, validar los escenarios de peligrosidad actuales y generar escenarios futuros teniendo en cuenta las previsiones del cambio climático. Con este trabajo se obtendrá un registro de la evolución morfodinámica del litoral después de episodios altamente energéticos. Como antecedentes a estas cartografías están los trabajos que realizó el ICGC después de las graves afectaciones que causó la borrasca Gloria en toda la península y, en especial, en Catalunya, de los que destacan: *El temporal Gloria (19-23/1/2020): Els efectes dels processos geològics sobre el territori* (González et al. 2020) y la *Cartografia de la superfície inundada per la borrasca Gloria (19-23 de enero de 2020) en la franja litoral catalana* (Carles et al. 2023), encargada por el Pla de protecció i ordenació del litoral (PPOL, 2020). Los resultados y el análisis de estos trabajos pusieron de manifiesto la necesidad de disponer de un registro de los efectos causados. El posterior análisis de estos conjuntos de datos es clave para identificar los tramos de costa más expuestos al impacto de los temporales, ya que permite analizar su evolución desde un punto de vista morfodinámico y es el punto de partida para la evaluación de los riesgos litorales de inundación y erosión.

2. Área de estudio y su contexto geomorfológico

El ámbito de estudio abarca todo el litoral de Catalunya, situado al NE de la Península Ibérica, desde Cap Falcó (Girona) hasta el río la Sènia (Tarragona). La extensión analizada es de 911 km de costa a escala 1:5.000 (ICGC, 2021) entre los que se incluyen más de 621 playas, 70 municipios costeros y 47 puertos (IDESCAT, 2023).

En función de la configuración geológica y del grado de actividad antrópica de la franja costera, se pueden distinguir 6 tipos de costa en el litoral catalán: costa rocosa y abrupta, costa baja rocosa, costa deposicional, costa de llanura litoral, costa deltaica y costa modificada antrópicamente (ICGC, 2024a). Desde un punto de vista geomorfológico, los tramos de costa más expuestos a los riesgos litorales son los deltas, los sistemas playa-dunas y las zonas antropizadas. Ejemplo de ello son los últimos informes realizados por el ICGC, según los cuales, aproximadamente el 60 % de las casi 600 playas estudiadas presenta una clara tendencia regresiva de la línea costa

desde los años 60 (ICGC, 2024b). En el mismo sentido, otros estudios estiman que, en el último siglo, el 61 % de las playas se han visto afectadas por la desaparición de las dunas, el 29 % han disminuido su extensión y tan solo el 10 % no presentan cambios significativos (García-Lozano et al. 2017). En este trabajo nos centraremos en identificar aquellos tramos de costa que sufren mayor impacto de los temporales recientes, a la vez que, analizaremos su respuesta ante episodios altamente energéticos.

3. Temporales marítimos estudiados

Una herramienta indispensable para poder realizar la cartografía geomorfológica es disponer de imágenes aéreas de alta resolución inmediatamente después de cada temporal. Desde 2017, el ICGC realiza vuelos fotogramétricos de la costa tras episodios significativos de los que se obtienen imágenes con resoluciones que varían entre 10 a 25 cm/píxel. En total, se cuenta con imágenes aéreas de 9 temporales, a las que hay que sumar las imágenes satelitales del Pléiades Neo del temporal Isaack, con una resolución de 30 cm/píxel, ya que para este temporal no se realizó el vuelo fotogramétrico. Las últimas imágenes incorporadas al estudio corresponden al temporal Nelson, el cual impactó sobre la costa catalana entre el día 26 de marzo y 1 de abril de 2024. Cabe destacar que el ICGC pone a disposición de los usuarios todas las imágenes adquiridas a través del *Visor de l'evolució de costa* y del Geoservicio WMS de Costa, ambos disponibles en la web del instituto (ICGC, 2024c). En la fig. 1 se presentan las imágenes de las coberturas de los vuelos de cada uno de los temporales estudiados, indicando la fecha de inicio del temporal y el porcentaje de extensión de cada vuelo respecto a la extensión total de la costa catalana.

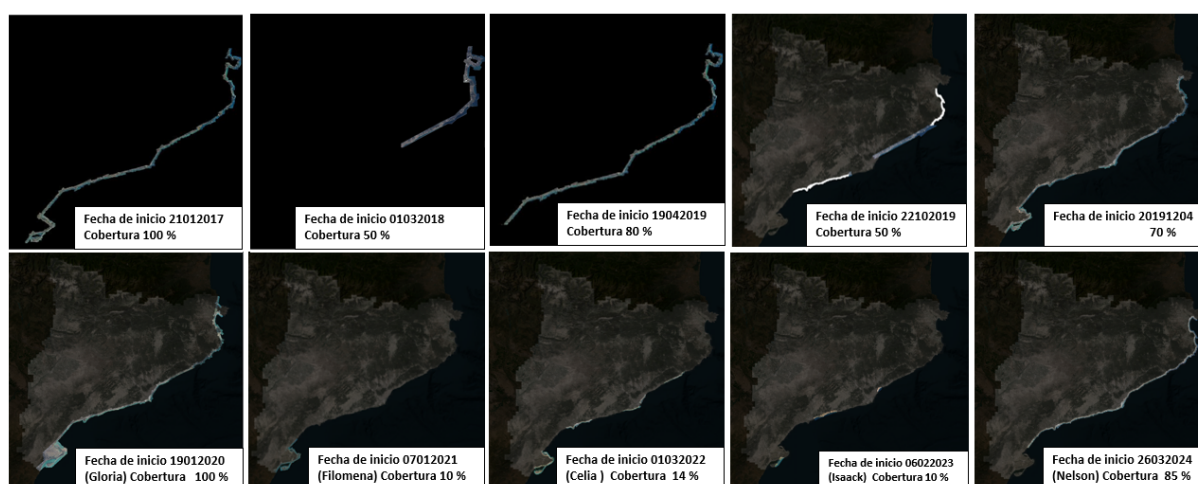


Fig. 1. Imágenes con la cobertura de los vuelos realizados por el ICGC después de cada temporal, extraídas del visor de costa de l'ICGC, indicándose el día de inicio del temporal y el % de cobertura del vuelo respecto el total de la costa.

4. Metodología

Con el objetivo de realizar cartografías homogéneas para todos los temporales se han elaborado las correspondientes especificaciones técnicas (ICGC, 2024d) que marcan los criterios cartográficos a seguir. La metodología llevada a cabo para la realización de la cartografía geomorfológica, a escala 1:5.000, consta de 2 fases, una primera de recopilación y análisis de información bibliográfica y gráfica; y una segunda, de fotointerpretación de las imágenes aéreas.

4.1. Recopilación y análisis de información bibliográfica y gráfica multimedia

En la primera fase se realiza la recopilación y análisis de bibliografía, de artículos científicos y de informes técnicos sobre los temporales disponibles. En esta fase, también se lleva a cabo la búsqueda exhaustiva de noticias publicadas tanto en la prensa como en las redes sociales. El objetivo es obtener imágenes multimedia de las zonas afectadas mientras transcurría el temporal y en los momentos inmediatamente posteriores. Queremos destacar el

gran valor que aportan estos datos ya que recogen información sobre los efectos más efímeros producidos por los temporales y, a la vez, son clave para cartografiar la máxima extensión de la inundación tierra adentro.

4.2. Fotointerpretación de las imágenes de los vuelos fotogramétricos

Durante la segunda fase se realiza la cartografía de los efectos desencadenados por los temporales y la delimitación de la superficie de máxima inundación mediante fotointerpretación de las imágenes aéreas de los vuelos fotogramétricos, realizados por el ICGC inmediatamente después del temporal, y su comparación con la ortofoto anterior. En las cartografías se han identificado los efectos geomorfológicos relacionados con las dinámicas litoral, fluvial y de ladera. Los rasgos geomorfológicos cartografiados han sido, los escarpes de erosión litoral, la identificación de sectores con erosión o acreción en playas, la formación de depósitos y abanicos de desbordamiento, los cauces fluviales funcionales durante el temporal, la acumulación de flotantes y de basuras marinas, los daños en infraestructuras antrópicas, así como la superficie de máxima inundación. En la fig. 2 se representan los efectos geomorfológicos generados por el temporal Gloria en la desembocadura del río Ebre.

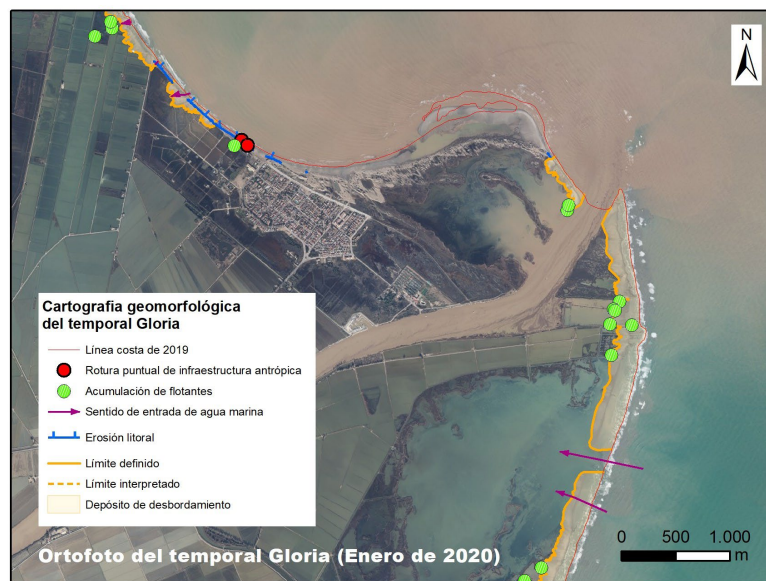


Fig. 2. Detalle de la cartografía geomorfológica de la desembocadura del río Ebre, de la que destaca la erosión en los sistemas playa-duna, la formación de extensos depósitos de desbordamiento y la inundación por agua marina.

5. Resultados y análisis

La cartografía geomorfológica obtenida en este trabajo es homogénea y continua a lo largo de toda la costa, lo que permite realizar un análisis cualitativo de los efectos de los temporales y un análisis de la respuesta del litoral ante episodios altamente energéticos.

En el momento de redactar este artículo se ha validado la cartografía de 6 de los 10 temporales incluidos en el estudio, que corresponde a unos de 3.500 km de costa analizada a escala 1:5000. De todos ellos, el temporal generado por la borrasca Gloria ha sido, con diferencia, el que más impacto y daños ha causado, por lo que debe considerarse como el temporal de referencia para la modelización de escenarios futuros. De este se ha obtenido una cartografía geomorfológica de las superficies inundadas y de sus efectos que abarcan una extensión de más de 300 km² a lo largo de todo el litoral catalán, calculada a partir de la línea de costa anual del 2019.

Del análisis preliminar de dichas cartografías se han identificado diversos sectores afectados de manera recurrente por los temporales analizados. En conjunto, estos sectores suponen casi el 48 % del litoral y, en todos ellos, se ha constatado que los efectos que provocan una mayor transformación de la línea de costa y que provocan más daños son la erosión litoral, la formación de depósitos de desbordamiento y la inundación marina. Los tramos más destacables en cuanto a extensión y continuidad de la afectación son los correspondientes a: los deltas de la

Tordera, del Llobregat y de l'Ebre, los sistemas fluvio-deltaicos del Fluvà-Muga y del Ter, un sector de la costa del Maresme (desde Santa Susanna hasta Montgat) y dos sectores de la costa Daurada (uno desde Cunit a Tarragona y el otro de Salou a l'Hospitalet de l'Infant). A ellos, se les tiene que sumar algunos tramos de costa, de menor extensión, pero con una gran presión antrópica, que también sufren de manera recurrente el impacto de los temporales. Nos estamos refiriendo a los tramos de costa entre Vilanova i la Geltrú y Cubelles, del litoral de la ciudad de Barcelona y de Badalona, además de poblaciones costeras como l'Escala, Palamós, Sant Antoni de Calonge, Tossa de Mar y Lloret de Mar, entre otras.

Si bien los tramos de costa que sufren reiteradamente el embate de los temporales marítimos se distribuyen a lo largo del litoral catalán, si se tienen en cuenta la tipología de costa, estos se concentran principalmente en tramos de costa deltaica y tramos de costa modificada antrópicamente, lo que suponen un 16 % y un 16,5 % del total de la costa, respectivamente. En menor medida, se localizan en tramos de costa baja deposicional (8,5 %), en tramos de costa baja rocosa (3,5 %) y en tramos de costa de llanura aluvial litoral (3,5 %). En cambio, en el 52 % restante de costa, los efectos de los temporales marítimos son de menor impacto y no causan modificaciones importantes en la línea de costa. Como era de esperar, la mayoría de estos corresponde a tramos de costa rocosa y abrupta (34 %), puesto que, en estos tramos, debido a su configuración geomorfológica, suelen generar pocos efectos relacionados con la inundación y erosión, y más con la dinámica de ladera, desprendimientos y deslizamientos. El resto corresponde a tramos modificados antrópicamente (11 %), a tramos de costa baja rocosa (4,1 %) y a tramos de costa baja deposicional (2,9 %).

En la fig. 3, se muestran dos ejemplos de los efectos causados por los temporales marítimos que se han producido de manera reiterada en dos localidades de la Costa Daurada, situados en tramos de costa baja deposicional, como son la formación de depósitos de desbordamiento en Torredembarra y la inundación por la entrada de agua en el municipio de Mont-Roig del Camp.

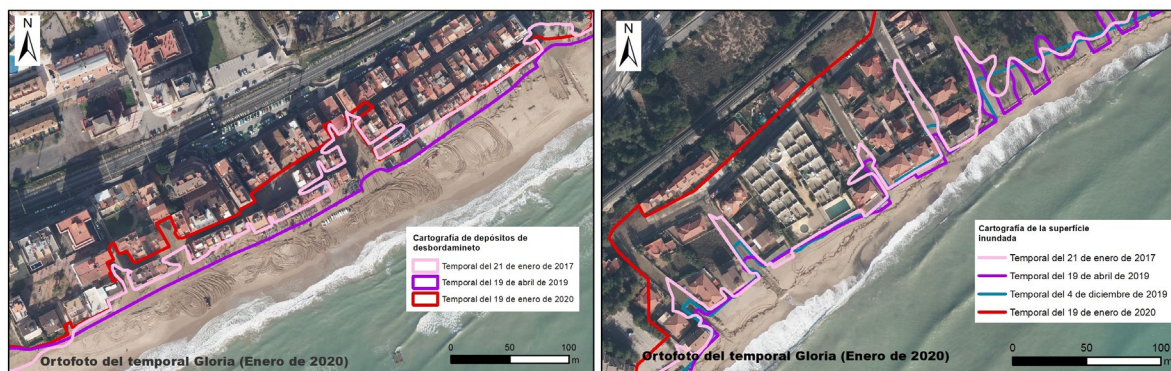


Fig. 3. La entrada de agua marina favorece la formación de depósitos de desbordamientos y provoca fuertes inundaciones. En la izquierda, imagen de Torredembarra donde se muestra un depósito de desbordamiento que se ha formado hasta en tres ocasiones por diferentes temporales. En la imagen de la derecha, se representa el alcance máximo de la superficie inundada en Mont-Roig del Camp en distintos episodios.

6. Conclusiones

La evaluación del impacto de los temporales mediante la realización de cartografías geomorfológicas y su posterior análisis aportan información relevante sobre la capacidad de recuperación del litoral ante este tipo de eventos, información necesaria para aplicar planes de protección, restauración y naturalización del litoral.

El requisito indispensable para la realización de estas cartografías es disponer de imágenes de alta resolución inmediatamente después del episodio que se quiera analizar.

De todos los efectos geomorfológicos desencadenados por los temporales estudiados, los que implican un mayor impacto y modifican más la línea de costa son: la erosión de los sistemas playa-duna, la formación de depósitos de desbordamiento y la inundación marina. Todos ellos repercuten negativamente sobre todo el litoral, pero, en

especial, sobre los sistemas playa-duna, los cuales actúan como primera barrera para mitigar el impacto de los temporales y que actualmente se ven amenazadas por la antropización y por la mayor frecuencia de episodios altamente energéticos. Por ello, conocer la distribución y evolución reciente de estos sistemas playa-duna es clave para desarrollar estrategias de protección y conservación del litoral.

Por otra parte, disponer de las líneas de costa digitalizadas para cada uno de los temporales, permitirá obtener datos cuantitativos de las superficies inundadas y del retroceso, acreción o estabilidad de la línea de costa.

Es necesario insistir que, con todos los datos y conocimiento aportados con este tipo de estudios, los gobiernos deberían impulsar y llevar a cabo estrategias sostenibles de protección y mitigación de los riesgos a los que se enfrenta el litoral catalán. En este sentido, el conocimiento sobre el litoral que estamos elaborando en el ICGC se está utilizando como información de base para las propuestas de gestión que implemente el PPOL.

7. Referencias

- Carles, R., González, M., Pinyol, J., Sánchez, E. & Micheo M.J. (2023). Cartografía de la superficie inundada por la borrasca Gloria (19-23 de enero de 2020) en la franja litoral catalana. En Desir, G., Nadal, E. y Regües, D. (Eds.), *Libro de actas de la XVI Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 110-111). SEG. <http://doi.org/10.20350/DIGITALCSIC/12496>
- Garcia-Lozano, C, Pintó, J. y Daunis-i-Estalleda, J. *Retroceso de las dunas costeras en el litoral catalán a lo largo del último siglo*. Libro de actas de IX Jornadas de Geomorfología Litoral (Menorca, 2017), (pp. 123-126). Geo-temas ISSN 1576-5172.
- GENCAT. (2022, septiembre). *El Fondo Climático*. https://canviclimatic.gencat.cat/es/ambits/Llei_canvi_climatic/el-fons-climatic/index.html
- GENCAT. (2024). *Configuració del litoral Català*. https://territori.gencat.cat/ca/06_territori_i_urbanisme/costes_i_muntanya/la_costa_catalana/la_costa_catalana/index.html
- González, M., Pinyol, J., Micheo, M. J., Carles, R., Pi, E., Vilà, M., Soldevila, E., Picart, J., Subiela, G., Peña, J., Reixach, J., & Sánchez, E. (2020). *El temporal Gloria (19-23/1/2020): Els efectes dels processos geològics sobre el territori. Monografia 8*. ICGC.
- ICGC. (2021). *Informe de riesgos de la costa catalana frente al cambio climático (proyecto PIMA Adapta Costas)*. ICGC.AP-0044/21. https://canviclimatic.gencat.cat/es/oficina/publicacions/estudis_adaptacio/index.html
- ICGC. (2024a). *Caracterització geomorfològica de la costa catalana*. ICGC.RN-0012/2024. Informe interno.
- ICGC. (2024b). *Evolución de la línea de costa en playas (1956 y 2019)*. ICGC.AP-0009/23. Informe interno.
- ICGC. (2024c). WMS Costa y visor evolución de la costa. <https://www.icgc.cat/es/Datos-y-productos/Servicios-en-linea-Geoservicios/WMS-Ortoimatges/WMS-Costa>
- ICGC. (2024d). *Especificacions per a la realització de la cartografia de les superfícies inundades i dels efectes geomorfològics desencadenats per temporals marítims a la franja litoral catalana*. RN-0011/24.
- IDESCAT. (2023). *Población. Municipios. 2023*. <https://www.idescat.cat/indicadors/?id=acc&n=15903&lang=es>
- IPCC. (2023). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- PPOL. (2020) Pla de protecció i ordenació del litoral (Llei 8/2020, del 30 de juliol de protecció i ordenació del litoral) <https://participa.gencat.cat/processes/ppol>