

ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA COSTA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ILLES BALEARS

RESULTADOS



Convenio entre la *Conselleria de Transició Energètica, Sectors Productius i Memòria Democràtica* y el Consorcio para la Construcción, Equipamiento y Explotación del Sistema de Observación Costero de las Illes Balears (SOCIB) para elaborar un plan de adaptación a los efectos del cambio climático del dominio público marítimo-terrestre adscrito a la Comunidad Autónoma de las Illes Balears, (Disposición 17056, BOE 300 de 13 de diciembre de 2018).

Coordinación científica (por orden alfabético)

Dr. Lluís Gómez-Pujol – UIB

Doctor en Geografía. Especialista en geomorfología litoral y sedimentología.

Dra. Marta Marcos – UIB i IMEDEA (CSIC-UIB)

Doctora en Física. Especialista en oceanografía y ascenso del nivel medio del mar asociado al cambio climático.

Dr. Alejandro Orfila – IMEDEA (CSIC-UIB)

Doctor en Física. Especialista en oceanografía, hidrodinámica y clima marino.

Dr. Joaquim Tintoré – SOCIB i IMEDEA (CSIC-UIB)

Doctor en Física. Especialista en oceanografía y sostenibilidad marina-costera

Equipo de trabajo (por orden alfabético)

Àngels Fernández-Mora – SOCIB

Dra. En Física, Dinámica costera.

Marta Fuster – SOCIB

Lda. Geografía, Sistemas de Información Geográfica, SIG.

Aina García – SOCIB

Lda. Química, Sostenibilidad y gestión costera.

Lluís Gómez-Pujol – UIB (Coord. Equipo Trabajo)

Dr. Geografía, Geomorfología litoral y sedimentología, SIG.

Pau Luque – SOCIB

Ldo. en Física y Telecomunicaciones, Hidrodinámica y nivel marino.

Marta Marcos – UIB, IMEDEA (CSIC-UIB)

Dra. En Física, Oceanografía y Cambio Climático.

Alejandro Orfila, IMEDEA (CSIC-UIB)

Dr. En Física, Hidrodinámica y dinámica costera.

AGRADECIMIENTOS:

El equipo de trabajo desea agradecer la colaboración y facilidades para el desarrollo del trabajo a Joan Alorda (SITIBSA), Pau Balaguer (SOCIB), Pedro Orfila (DG Emergències, GOIB), S Jinámar Tomàs (DG Canvi Climàtic, GOIB), José Carlos Cerro (DG Canvi Climàtic, GOIB).

ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA COSTA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ILLES BALEARS



ÍNDICE CONTENIDOS

Resumen ejecutivo	5
1. Introducción	11
1.1 Concepto de riesgo y aproximación metodológica	11
1.2 Sobre la naturaleza de la aproximación y su potencial uso para la planificación estratégica, territorial y sectorial	13
1.2.1 Unidades espaciales objeto de estudio	14
1.2.2 Naturaleza de la aproximación	19
1.3 Resumen	20
2. Evaluación de la peligrosidad: inundación costera	23
2.1 Materiales y elementos de análisis	24
2.1.1. Las playas objeto de estudio	24
2.1.2 Parámetros morfológicos de las playas	26
2.1.3 Forzamientos físicos regionalizados: nivel del mar, <i>storm surges</i> y oleaje	29
2.2 Propagación del oleaje de aguas profundas a aguas someras	32
2.2.1 Propagaciones numéricas con SWAN	34
2.2.2 Parametrización de los cambios en el oleaje y combinación de fuentes	36
2.2.3 Cálculo del <i>wave setup</i>	37
2.2.4 Cálculo de extremos	38
2.3 Inundación costera	39
2.3.1 Cálculo de la inundación permanente	40
2.3.2 Cálculo de la inundación episódica o extrema	40
2.4 Casos especiales	42
2.4.1 Áreas protegidas de los temporales	42
2.4.2 Áreas semi-protegidas de los temporales	42
2.5 Ejemplos de resultados	44
2.5.1 Albufera des Grau	44
2.5.2 Eivissa	44
2.5.3. Es Trenc	47
2.5.4 Pollença	47
2.6 Resumen	49
2.7 Productos	49
3. Evaluación de la peligrosidad: erosión de playas	53
3.1 Modelo de erosión	53
3.2 Ajuste del modelo de erosión	55
3.3 Análisis de la erosión	56
3.4 Ejemplos de resultados	58
3.5 Resumen	61
3.6 Productos	61
4. Evaluación de la exposición y de la vulnerabilidad	65
4.1 Introducción y consideraciones preliminares	65
4.2 Superficie inundada	67
4.2.1 Materiales y método	68
4.2.2 Resultados	68
4.3 Población	71

4.3.1 Materiales y método	72
4.3.2 Resultados	72
4.4. Infraestructuras críticas	75
4.4.1 Materiales y método	75
4.4.2 Resultados	77
4.5 Patrimonio arqueológico e histórico	82
4.5.1 Materiales y método	82
4.5.2 Resultados	82
4.6 Edificaciones	82
4.6.1 Materiales y método	82
4.6.2 Resultados	83
4.7 Espacios Naturales y Red Natura 2000	86
4.7.1 Materiales y método	86
4.7.2 Resultados	87
4.8 Suelo agrícola	91
4.8.1 Materiales y método	92
4.8.2 Resultados	92
4.9 Suelo industrial	95
4.9.1 Materiales y método	95
4.9.2 Resultados	96
4.10 Suelo residencial	96
4.10.1 Materiales y método	96
4.10.2 Resultados	96
4.11 Establecimientos turísticos y plazas turísticas	100
4.11.1 Materiales y método	100
4.11.2 Resultados	101
4.12 Erosión de playas	105
4.12.1 Materiales y método	105
4.12.2 Resultados	105
4.13 Resumen	110
4.14 Productos	111
5. Evaluación socioeconómica del riesgo y la vulnerabilidad	115
5.1. Riesgo sobre el sistema económico: <i>stock</i> de capital	115
5.1.1. Método de evaluación del <i>stock</i> de capital municipal	116
5.1.2 Resultados del <i>stock</i> de capital residencial afectado	117
5.1.3 Resultados del <i>stock</i> de capital industrial afectado	120
5.1.4 Resultados del <i>stock</i> de capital agrícola afectado	122
5.2 Riesgo sobre el sistema económico: Valor Añadido Bruto (VAB)	124
5.2.1 Método de evaluación del Valor Añadido Bruto municipal	125
5.2.2 Resultados VAB agrícola afectado	125
5.2.3 Resultados VAB industrial afectado	127
5.2.4 Resultados VAB agrícola afectado	128
5.3 Riesgo sobre el sistema económico: servicios ecosistémicos	129
5.3.1 Método de evaluación del valor de los servicios ecosistémicos	130
5.3.2 Resultados	133
5.4 Índice sintético del riesgo sobre el sistema socioeconómico	135
5.4.1 Método	135
5.4.2 Resultados	136
5.5 Resumen	141
5.4 Productos	142
6. Bibliografía	143

Resumen ejecutivo



Resumen ejecutivo

El convenio entre la Consejería de Territorio, Energía y Movilidad del Gobierno de las Illes Balears –actual Consejería de Transición Energética, Sectores Productivos y Memoria Democrática– y el Consorcio para la Construcción, Equipamiento y Explotación del Sistema de Observación Costero de las Illes Balears (SOCIB) tenía como objetivo elaborar la información de base para la redacción de un plan de adaptación a los efectos del cambio climático del dominio público marítimo-terrestre adscrito a la Comunidad Autónoma de las Illes Balears. En el presente documento se recogen los resultados obtenidos en relación a la evaluación de la vulnerabilidad y exposición de activos naturales y socioeconómicos en la costa, debidos al riesgo asociado al cambio climático en el ámbito de la Comunidad Autónoma de las Illes Balears.

La aproximación metodológica define el riesgo como la probabilidad que se produzca un evento adverso de origen natural o antrópico y sus consecuencias en un periodo de tiempo determinado. La interacción de dicho evento con los elementos del medio y su grado de vulnerabilidad resulta en un conjunto de impactos o efectos en la población, los recursos materiales, económicos o ambientales. En este sentido, se han definido seis escenarios de riesgo asociados al ascenso del nivel medio del mar debidos al cambio climático y el clima marino asociado.

La evaluación del riesgo, la exposición y la vulnerabilidad, que se caracterizan en el presente trabajo, resultan de la modelización de la inundación costera para la totalidad de las playas arenosas del archipiélago, quedando excluido el resto de tipologías del litoral del ámbito de aplicación del presente trabajo (p.e. costas acantiladas y playas de bloques). El trabajo se organiza en los siguientes módulos:

- Módulo I (Capítulos 2 a 3): Este módulo, en el que se asientan las bases del estudio, consiste en la caracterización de los factores naturales, que, bien por ellos mismos o bien inducidos por la actividad antrópica, generan las situaciones de riesgo. Básicamente, para este estudio se han considerado, los efectos de las mareas meteorológicas, ondas de tormenta, el oleaje y su evolución temporal (clima marino) y el ascenso del nivel medio del mar.
- Módulo II (Capítulo 4): Este módulo aborda la exposición de aquellos elementos del sistema socioeconómico y natural que podrían verse más seriamente afectados por las amenazas de los eventos adversos. Estos elementos se agrupan en la población, las actividades humanas y usos del suelo (i.e. agricultura, industria, servicios-comercio, ocio), así como en espacios naturales, zonas de interés ambiental o las mismas playas, en tanto que sistema natural.
- Módulo III (Capítulo 5): El tercer módulo cuantifica en términos monetarios, el alcance del riesgo y la vulnerabilidad del sistema socio-económico. A partir de dichos resultados se establece una jerarquía territorial del impacto de la inundación costera debida al cambio climático en la zona costera de las Illes Balears.

.....

En este sentido, los resultados y productos del presente estudio son óptimos en tanto y cuanto se persigue una visión regional del riesgo asociado al ascenso del nivel medio del mar y el régimen extremal. El objeto último es detectar las zonas de mayor impacto y establecer prioridades para orientar políticas sectoriales. Aunque orientativos, tanto los resultados de carácter económico, como los resultados de inundación no deben entenderse como parámetros para ejecutar proyectos de obra pública y/o privada que precisarían de estudios de mayor detalle y complejidad, así como de mayor coste computacional que los que se han llevado cabo en el marco del presente trabajo.

Se han establecido dos horizontes temporales y dos escenarios climáticos a partir de la regionalización de los datos climáticos del IPCC y de los modelos de clima marino. Para el año 2050, se modeliza la inundación permanente y la temporal asociada para un evento extremo con periodo de retorno de 100 años con un nivel medio del mar correspondiente a un escenario climático en el que las emisiones de gases de efecto invernadero se mantienen como en la actualidad (RCP-8.5). En cambio, para el 2100 se modeliza la inundación permanente y temporal asociada para un evento extremo con periodo de retorno de 100 años para un escenario climático en el que las emisiones de gases de efecto invernadero disminuyen (RCP-4.5) y otro para el que se mantienen como en la actualidad (RCP-8.5).

Además, para caracterizar la incertidumbre del nivel medio del mar, y por tanto sobre la extensión de la inundación permanente, se han considerado los valores correspondientes al 17 y al 83% de la distribución de probabilidad del nivel medio del mar asociados a cada combinación de horizonte temporal y escenario climático, obteniéndose así un valor mínimo y un valor máximo en cada caso, para los cuales se modeliza la inundación. Todo ello se traduce en la consideración de 6 escenarios (2 para el 2050 y 4 para el 2100):

- Escenario 1: 2050, RCP-8.5. Ascenso mínimo del nivel medio del mar. Inundación permanente y temporal asociada al temporal con periodo de retorno de 100 años.
- Escenario 2: 2050, RCP-8.5. Ascenso máximo del nivel medio del mar. Inundación permanente y temporal asociada al temporal con periodo de retorno de 100 años.
- Escenario 3: 2100, RCP-4.5. Ascenso mínimo del nivel medio del mar. Inundación permanente y temporal asociada al temporal con periodo de retorno de 100 años.
- Escenario 4: 2100, RCP-4.5. Ascenso máximo del nivel medio del mar. Inundación permanente y temporal asociada al temporal con periodo de retorno de 100 años.
- Escenario 5: 2100. RCP-8.5. Ascenso mínimo del nivel medio del mar. Inundación permanente y temporal asociada al temporal con periodo de retorno de 100 años.
- Escenario 6: 2100. RCP-8.5. Ascenso máximo del nivel medio del mar. Inundación permanente y temporal asociada al temporal con periodo de retorno de 100 años.

A partir de dichos escenarios se ha evaluado y cuantificado la exposición de los elementos del sistema socioeconómico y ambiental del archipiélago balear a la inundación permanente y temporal asociada al ascenso mínimo y máximo del nivel medio del mar para los escenarios climáticos RCP-4.5 y RCP-8.5 y los horizontes temporales 2050 y 2100. Cabe resaltar que en este estudio no se asumen hipótesis de crecimiento

.....

.....

económico ni demográfico, con el objeto de mantener la situación actual (2019) como base para comparaciones. A continuación se resumen los resultados más relevantes para cada uno de los elementos:

- **Población:** Para **2050** se prevé que el ascenso del nivel medio del mar más adverso afecte como máximo 833 ha de forma permanente, más 204 ha afectadas temporalmente por el evento extremo con periodo de retorno 100 años. Esto implica una afectación directa sobre 788 personas de forma permanente y 1.766 de forma temporal. Para **2100** se prevé que el ascenso del nivel medio del mar más adverso afecte como máximo 3.465 ha de forma permanente, más 427 ha afectadas temporalmente por el evento extremo con periodo de retorno 100 años. Esto implica una afectación directa sobre 9.599 personas de forma permanente y 4.091 de forma temporal.
- **Infraestructuras críticas:** El elemento más dañado en cualquier escenario será el viario de titularidad municipal y/o privada, seguido del tendido eléctrico en un sector muy localizado de la bahía de Alcúdia. La erosión de las playas desenterrará parte del cableado de conexión eléctrica entre Mallorca y Menorca, así como entre Eivissa y Formentera. Un equipo educativo se verá comprometido en 2050 y otros 4 en 2100, incluso en el supuesto de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Otras infraestructuras críticas comprometidas serán la planta de tratamientos de aguas de Muro y parte del cementerio de Maó.
- **Patrimonio arqueológico e histórico:** A efectos del presente informe no se detalla ningún tipo de impacto asociado al ascenso del nivel marino que suponga un riesgo para los elementos del patrimonio arqueológico e histórico. Resaltamos que en esta metodología no se consideran sistemas rocosos como los islotes con yacimientos arqueológicos.
- **Espacios naturales protegidos:** En cuanto al sistema ambiental, entre los espacios de relevancia ambiental de Baleares, s'Albufereta de Pollença y s'Albufera de Mallorca pueden llegar a perder entre el 70 y el 90% de su superficie actual. Además, 66 espacios de la Red Natura 2000 presentarán problemas asociados con el ascenso del nivel medio del mar.
- **Suelo agrícola, residencial e industrial:** La inundación permanente apenas afectará al suelo de uso agrícola e industrial, siendo su mayor impacto en cualquiera de los horizontes temporales y escenarios el suelo de uso residencial.
- **Establecimientos turísticos y plazas turísticas:** La inundación permanente afectará en 2050 a un máximo de 358 plazas turísticas. En 2100, bajo supuestos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, afectará a un máximo de 8.436 plazas turísticas, mientras que, bajo supuestos de continuidad en el ritmo actual de emisiones de gases de efecto invernadero afectará a 11.482 plazas turísticas.

-
- **Erosión de playas:** En las condiciones más adversas, las playas de las Illes Balears verán reducido su ancho medio en 10 m para 2050 y en 24 m para 2100. Esto se corresponde con una reducción de la superficie media de las playas de las Illes Balears de 0,5 ha para 2050 y de 1,1 ha para 2100.

Territorialmente el impacto del ascenso del nivel medio del mar es desigual en el archipiélago. Destacan algunas zonas especialmente sensibles en el sector norte de la bahía de Alcúdia y la bahía de Pollença en Mallorca, la zona de Ses Salines de Eivissa y Formentera, así como los sectores costeros de Vila en Eivissa.

Dentro del sistema socio-económico en el presente estudio se aborda la estimación riesgo y la vulnerabilidad a través de indicadores económicos como el *stock* de capital, el Valor Añadido Bruto (VAB) o la valoración de los servicios ecosistémicos aportados por las playas:

- **Stock de capital afectado:** Se estima el *stock* de capital residencial, industrial y agrícola. De estos, el residencial es el que sufre un mayor impacto. Para 2050 el impacto conjunto de la inundación permanente y temporal supondría una pérdida de 39 millones de €, mientras que en 2100 alcanzaría, en el peor de los casos, 395 millones de €.
- **Valor Añadido Bruto:** Se estima el VAB agrícola, industrial y de servicios afectado. El VAB asociado al sector servicios en 2100, en el peor de los casos, recibiría un impacto de 162 millones de €, siendo un 0,7% del VAB de servicios de las Illes Balears.
- **Servicios ecosistémicos función recreativa de playas:** La pérdida de servicios ecosistémicos, centrada en la pérdida de la función recreativa de las playas, supone en el peor de los escenarios un impacto de 1.325 millones de € para 2050 y de 3.379 millones de € para 2100. Estos valores representan el 4% y el 10% del PIB de 2019, respectivamente.

Finalmente, el índice sintético del riesgo sobre el sistema socioeconómico y su distribución espacial revela la existencia de un riesgo moderado-alto en el municipio de Alcúdia para el horizonte temporal 2050. Para el horizonte temporal 2100, aunque hay un mayor número de municipios costeros con un riesgo moderado, el riesgo en el sector norte de la bahía de Alcúdia es entre alto y moderado-alto. En el litoral de Palma, en Sant Josep de sa Talaia y Eivissa es moderado-alto, a raíz del impacto en s'Arenal, Platja d'en Bossa y Ses Salines.

Introducción



1. Introducción

El presente documento recoge los resultados del informe de riesgos en la costa ante el cambio climático en el ámbito de la Comunidad Autónoma de las Illes Balears para evaluar la vulnerabilidad y exposición de activos naturales y socioeconómicos previsto en el convenio entre la *Conselleria de Territori, Energia i Mobilitat del Govern de les Illes Balears* –actual *Conselleria de Transició Energètica, Sectors Productius i Memòria Democràtica*– y el Consorcio para la Construcción, Equipamiento y Explotación del Sistema de Observación Costero de las Illes Balears (SOCIB) para elaborar un plan de adaptación a los efectos del cambio climático del dominio público marítimo-terrestre adscrito a la Comunidad Autónoma de las Illes Balears, (Disposición 17056, BOE 300 de 13 de diciembre de 2018), de ahora en adelante PIMA ADAPTA_Balears.

1.1 Concepto de riesgo y aproximación metodológica

El concepto de **riesgo**, siguiendo la estela de los diferentes informes SREX del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), se entiende como la probabilidad que se produzca un evento adverso de origen natural o antrópico y sus consecuencias en un periodo de tiempo determinado. La interacción de dicho evento con los elementos del medio –léase sistema afectado– y su grado de vulnerabilidad, resulta en un conjunto de impactos o efectos en la población, los recursos materiales, económicos o ambientales que pueden requerir de una respuesta inmediata para dar solución a las necesidades humanas y socioeconómicas básicas y que pueden precisar de ayuda externa para su recuperación (IPCC, 2012).

Por lo tanto el riesgo se deriva de una combinación de amenazas y la vulnerabilidad de los elementos expuestos que se traducirá en un potencial de interrupción severa de la sociedad o elemento afectado una vez que se haya materializado el evento adverso.

A efectos de la aproximación metodológica a desarrollar en el marco de PIMA ADAPTA Balears y siguiendo la estela del proyecto piloto *Asistencia Técnica a la elaboración de un estudio sobre la adaptación al cambio climático de la costa del Principado de Asturias* (de ahora en adelante designado como Informe Asturias-IH) (IH Cantabria, 2017), elaborado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (a partir de ahora IH Cantabria) a petición del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, las tres dimensiones del riesgo vendrán definidas por los términos de:

- **Peligrosidad:** entendida como el potencial evento de origen natural o provocado por la actividad humana que actúa como factor externo de riesgo sobre un sistema natural y/o antrópico en un lugar específico y con una intensidad y duración determinada.
- **Exposición:** referente a la localización de personas, bienes económicos, medios de vida y de producción, servicios ambientales, recursos, patrimonio cultural, etc. en la zona que podría verse afectada por un evento adverso y, por, tanto expuesto a impactos, pérdidas o daños.

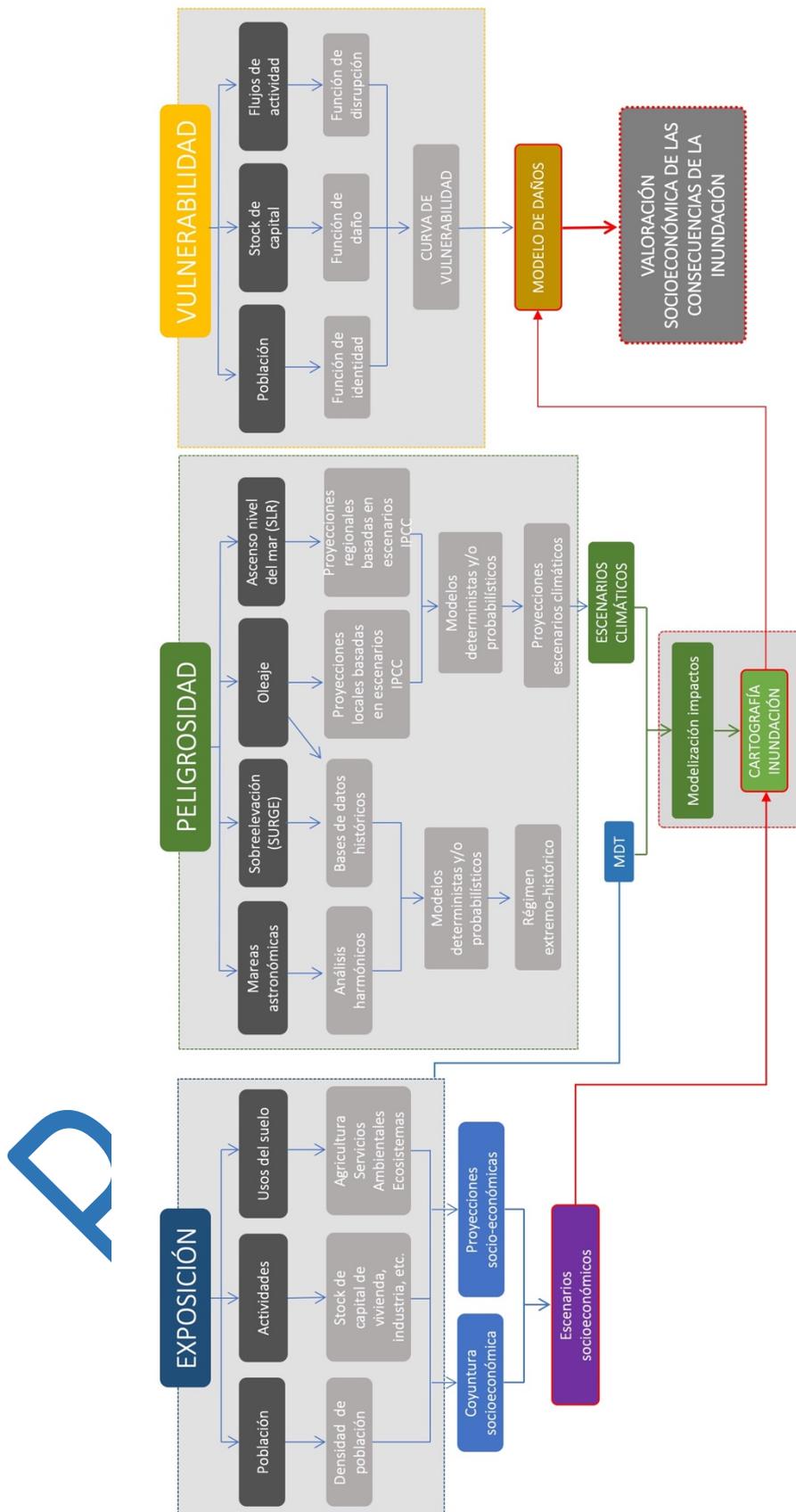


Fig. 1.01. Aproximación metodológica desarrollada en la evaluación del riesgo en la costa ante el cambio climático en el ámbito de la comunidad autónoma de las Illes Balears.

- **Vulnerabilidad:** entendida como la tipología y capacidad de respuesta inherente de un elemento al efecto negativo de una amenaza.

En este sentido, como queda recogido en la Fig.1.01, la aproximación metodológica desarrollada en la evaluación del riesgo en la costa ante el cambio climático para las Illes Balears se organiza en tres módulos, siguiendo la estela del Informe Asturias-IH:

El primero de ellos y base del estudio consiste en el estudio de los factores naturales, que, por ellos mismos o bien inducidos por la actividad antrópica, generan las situaciones de riesgo. Básicamente, para este estudio, los efectos de las mareas meteorológicas (también llamadas ondas de tormenta), el oleaje y su evolución temporal (clima marino) y el ascenso del nivel del mar. Los potenciales eventos de riesgo se considerarán para dos horizontes temporales y para dos escenarios climáticos de concentraciones de gases de efecto invernadero definidos por el IPCC. En concreto, se abordarán los efectos de la peligrosidad para 2050 y 2100, y para el escenario (*Representative Concentration Pathways* - RCP) RCP-4.5 y el RCP-8.5, que respectivamente suponen una leve reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera o, antagónicamente, un nivel de emisiones de CO₂ a la atmósfera similar al actual. Cabe citar, que las peores previsiones de emisiones de gases de efecto invernadero para cortes temporales cercanos, previstos en anteriores informes del IPCC, no tan sólo han sido alcanzados, sino rebasados (IPCC, 2013); por lo que los escenarios más adversos planteados en el presente trabajo no deben considerarse como un futuro improbable.

El segundo de los módulos aborda la exposición de aquellos elementos del sistema socioeconómico y natural que podrían verse más seriamente afectados por las amenazas de los eventos adversos y que toman forma dada la naturaleza territorial y socio-económica de las Illes Balears en la población, las actividades humanas y usos del suelo (p.e. agricultura, industria, servicios-comercio, ocio), así como en espacios naturales, zonas de interés ambiental o el servicio recreativo de que proveen las playas, en tanto que sistema natural y uno de los pilares de la principal actividad económica del archipiélago.

Finalmente, el tercero de los módulos, una vez delimitado el alcance de los eventos adversos sobre cada uno de los elementos expuestos, aborda su respuesta. Aunque se dará habida cuenta de los métodos en la correspondientes secciones del informe, básicamente se ha intentado determinar aquellos elementos que sufrirán los efectos permanentes del ascenso del nivel del mar. Así como de todos aquellos elementos que se verán afectados por el evento del clima marino más adverso (definido aquí como aquél de período de retorno de 100 años) y lo que implica en términos de población afectada, daños sobre las viviendas, sectores productivos o la funcionalidad de las playas como ámbito de provisión de servicios recreativos.

1.2. Sobre la naturaleza de la aproximación y su potencial uso para la planificación estratégica, territorial y sectorial

Según lo previsto en el convenio PIMA ADAPTA_Balears y la supervisión de la Oficina para el Cambio Climático del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto

Demográfico, los informes de riesgo, como el que nos ocupa, deben tomar como referencia y replicar –en función de las capacidades y bases de datos disponibles en cada Comunidad Autónoma– el esquema de trabajo del Informe Asturias–IH. Este punto es importante porque dicho informe arranca de dos premisas que son substanciales, en tanto y cuanto, condicionan la naturaleza y el alcance de la aproximación y que deben explicitarse para el gestor y/o planificador; así como para cualquier persona que tenga acceso al presente informe. Ambos usuarios finales deben saber de antemano que tipo de costas han sido abordadas, así como los factores limitantes en relación al uso potencial de los productos que resultan y se describen en el presente volumen.

1.2.1 Unidades espaciales objeto de estudio

En primer lugar cabe destacar que el Informe Asturias–IH limitaba su universo de estudio a aquellas playas encajadas arenosas con una longitud superior a los 250 m, lo que para Asturias se traducía en un total de 50 unidades de análisis.

No existe ninguna cartografía oficial pública, ni producto disponible en la Infraestructura de Datos Espaciales de las Illes Balears (IDEIB) a propósito de la tipología y características básicas de la costa. De hecho, los trabajos del Plan Indicativo de Usos del Dominio Público Litoral de la Dirección General de Puertos y Señales Marítima del Ministerio de Obras Públicas (MOPU) para Baleares datan de 1978 (de ahora en adelante PIDUL) y su colección de planos y fotoplanos a escala 1:5000 recogen la naturaleza de la costa (p.e. acantilada, playa arenosa, cantos, infraestructuras, etc.), así como el carácter regresivo o de acreción de las playas. No obstante, es un producto dispar en el tratamiento y representación de los datos. Así, para la isla de Menorca se trata de un anexo gráfico descriptivo en el que las fichas de playas constituyen una radiografía de la situación del litoral a finales de los setenta, mientras que para Mallorca y Eivissa tienen un carácter propositivo y de intervención, puesto que en las tablas correspondientes se avanzan las necesidades de obras, dragados, etc., con el objeto de dotar una oferta recreativa de las playas más completa.

Se tendrá que esperar a los trabajos desarrollados inicialmente en IMEDEA (CSIC-UIB) y luego en el SOCIB, a petición de la *Direcció General d' Emergències del Govern de les Illes Balears*, para contar con el primer inventario de la tipología de costas de Baleares. Se trata de una clasificación de la tipología de línea de costa, sobre la cartografía 1:5.000 del *Govern de les Illes Balears*, asistida mediante trabajos de campo y las colecciones de fotografía aérea, orientada a la toma de decisiones frente al posibles vertidos de petróleo en la zona litoral. Dicha cartografía puede consultarse en el visor de mapas SACOSTA, Sensibilidad Ambiental de la Costa, de la ICTS SOCIB y la *Direcció General d'Interior, Emergències i Justícia* (<http://gis.socib.es/sacosta/composer>).

La última revisión-actualización de la clasificación de la línea de costa de SACOSTA data de 2016 (Balaguer et al., 2015) y para el presente informe se ha realizado una revisión y agregación de categorías de tipos de costa con el objeto de simplificar el producto y adaptarlo a las necesidades del proyecto PIMA ADAPTA_Balears. Este producto consiste en una capa de información vectorial en la que se detalla la tipología de costa (Fig. 1.02) y la extensión de cada tramo según las tipologías recogida en la Tabla 1.01.

Tabla 1.01. Tipología de costa según el producto SACOSTA, Sensibilidad Ambiental de la Costa, de la ICTS SOCIB y la *Direcció General d'Interior, Emergències i Justícia*.

Código	Descripción
1A	Costas rocosas altas y acantilados expuestos al oleaje
1B	Estructuras artificiales expuestas al oleaje
1C	Costas rocosas altas con depósitos de derrubios en la base expuestas al oleaje
2	Costas rocosas bajas expuestas a la incidencia directa del oleaje
3A	Playas formadas por arenas finas y de grano medio
3B	Escarpes y costas de perfil escalonado con alternancia de sustratos rocosos y depósitos sedimentarios.
4	Playas formadas por arenas gruesas
5	Playas mixtas formadas por arenas y gravas
6A	Playas de gravas y cantos rodados
6B	Costas rocosas bajas con acumulaciones de derrubios expuestas al oleaje
7A	Costas rocosas de altura variable sin incidencia directa del oleaje
7B	Estructuras artificiales localizadas sin incidencia directa del oleaje
7C	Costas rocosas bajas con acumulaciones de derrubios sin incidencia directa del oleaje
7D	Costas rocosas altas con depósitos de derrubios en la base sin incidencia del oleaje
8	Zonas costeras en contacto o presencia de albuferas y marismas

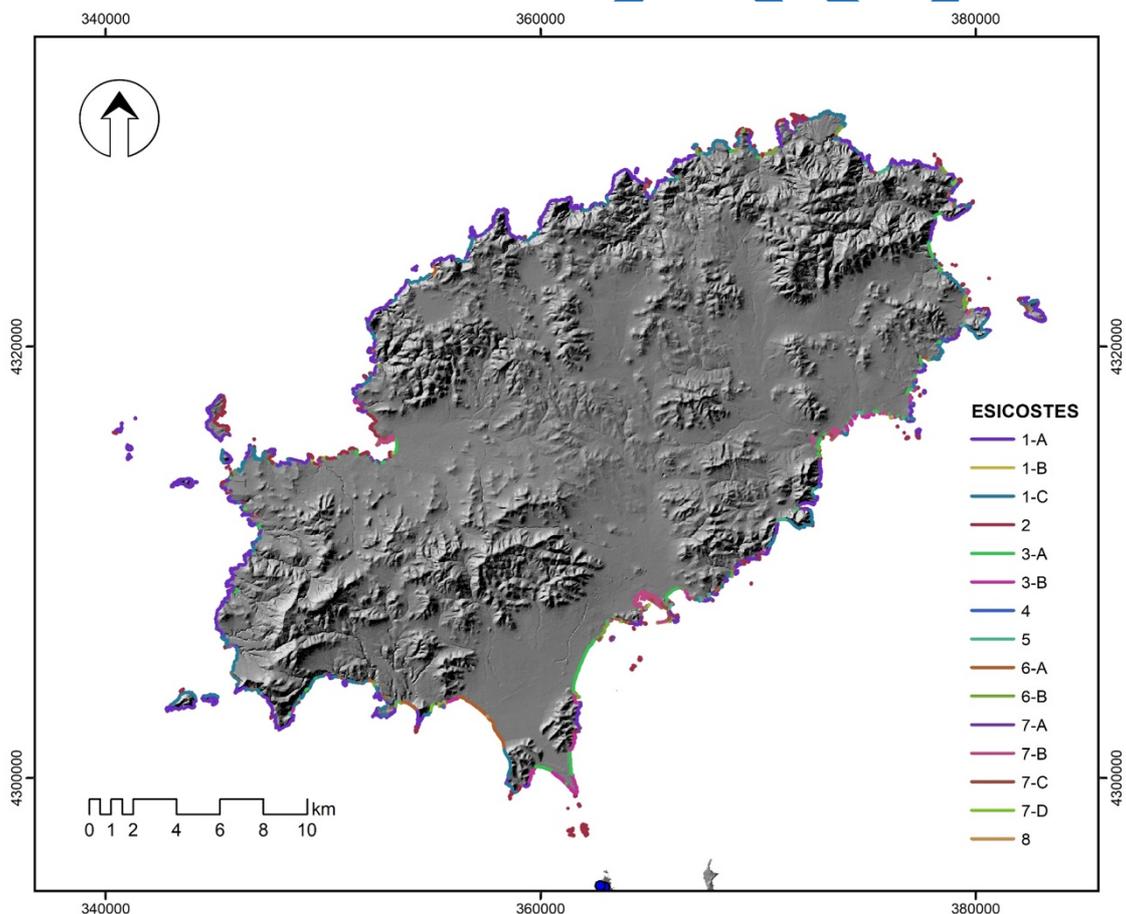


Fig. 1.02. Ejemplo de la caracterización de la tipología de costa para la isla de Eivissa. La descripción de los códigos de costa puede consultarse en la Tabla 1.01.

De la explotación del producto SACOSTA se deriva que las Illes Balears cuentan con 1.573 km de costa, de los cuales y por influencia de la geología y su disposición estructural, el 79 % corresponden a costas rocosas (i.e. acantilados, costas bajas en

escalón). En cualquier caso las playas suman 160 km, el 10 % de la línea de costa del archipiélago, si bien su distribución es desigual entre las islas (Fig. 1.03).

Así, de entre las islas mayores, Formentera cuenta con la proporción relativa de playas más grande del archipiélago en relación a su perímetro litoral, 16,8 km de playas que se traducen en 14,6% de su litoral. Mientras que para Mallorca las playas apenas conforman el 9,1% de su línea de costa, aunque en términos absolutos ésta tenga 66,7 km, principalmente arenosas. En Menorca la extensión de las playas alcanza los 44,5 km que representan el 12,1% de su costa, mientras que en Eivissa sus 27,8 km de playa apenas suponen el 9,8% de su litoral. En Mallorca, Menorca y Eivissa, a pesar del dominio de las playas de arena, las playas de bloques y/o gravas, así como las mixtas, tienen una presencia superior al 20% de los kilómetros de playa de cada isla, mientras Formentera se caracteriza por un dominio de las playas arenosas (99% de los km de playa de la isla).

A efectos de individualización de playas –como para el caso de la tipología de costas– la única información de carácter público consistía en el listado de playas incluido en las agendas explicativas del PIDUL. Éstas también presentaban disparidades entre las islas, pasando de consignaciones netamente descriptivas a expectativas de intervenciones para la ordenación del litoral. Por lo que el PIDUL no podía utilizarse como un inventario de playas, ni de sus atributos morfosedimentarios dada la incoherencia interna del documento, así como por haber transcurrido más de cuarenta años desde su desarrollo.

A su vez, la Demarcación de Costas del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, cuenta con un catálogo en el que municipio a municipio pueden consultarse para diferentes playas –no la totalidad de ellas– una ficha con información general a propósito de los servicios, accesos, imágenes, etc., pero con un déficit notorio de cualquier información morfosedimentaria de la playa de carácter cuantitativo (<https://www.miteco.gob.es/es/costas/servicios/guia-playas/default.aspx>).

Dentro del ámbito autonómico, para las playas que se incluyen en el programa “Caracterización de los perfiles de las aguas de baño de las Illes Balears” de la antigua *Direcció General de Qualitat Ambiental* de la *Conselleria de Medi Ambient*, existe una ficha completa con algunos datos morfosedimentarios (longitud, anchura, calibre de la playa seca). Pero solo conciernen a una parte de las playas de las Illes Balears.

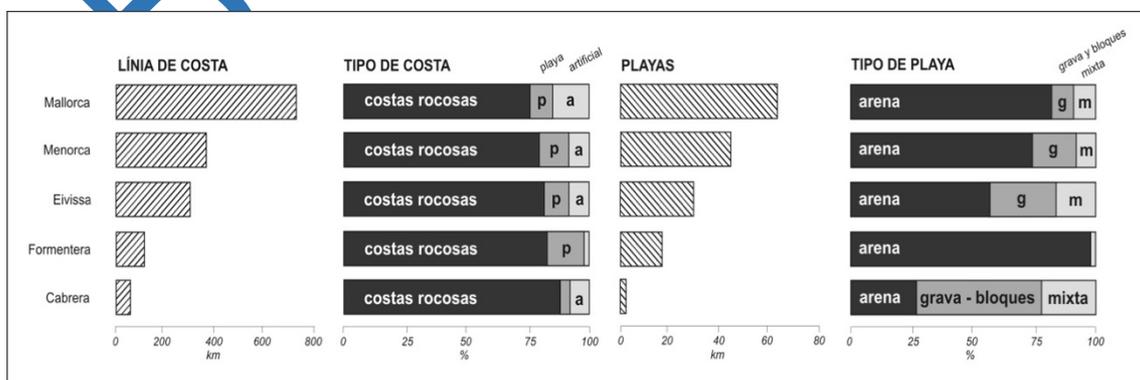


Fig. 1.03. Extensión y naturaleza de las playas de las Illes Balears.

Así, para tener una instantánea completa del número de playas susceptibles de ser caracterizadas, a partir de la base de datos SACOSTA se han agregado los tramos de costa individualizados pertenecientes a una misma célula sedimentaria y a partir de aquí se ha creado una base de datos espacial de playas en la que se recoge la tipología de playa y la longitud de la misma (Fig. 1.04 y 1.05) puesto que ambas variables servirán para delimitar el universo de playas a considerar en la valoración del impacto y la vulnerabilidad de la costa asociada al cambio climático.

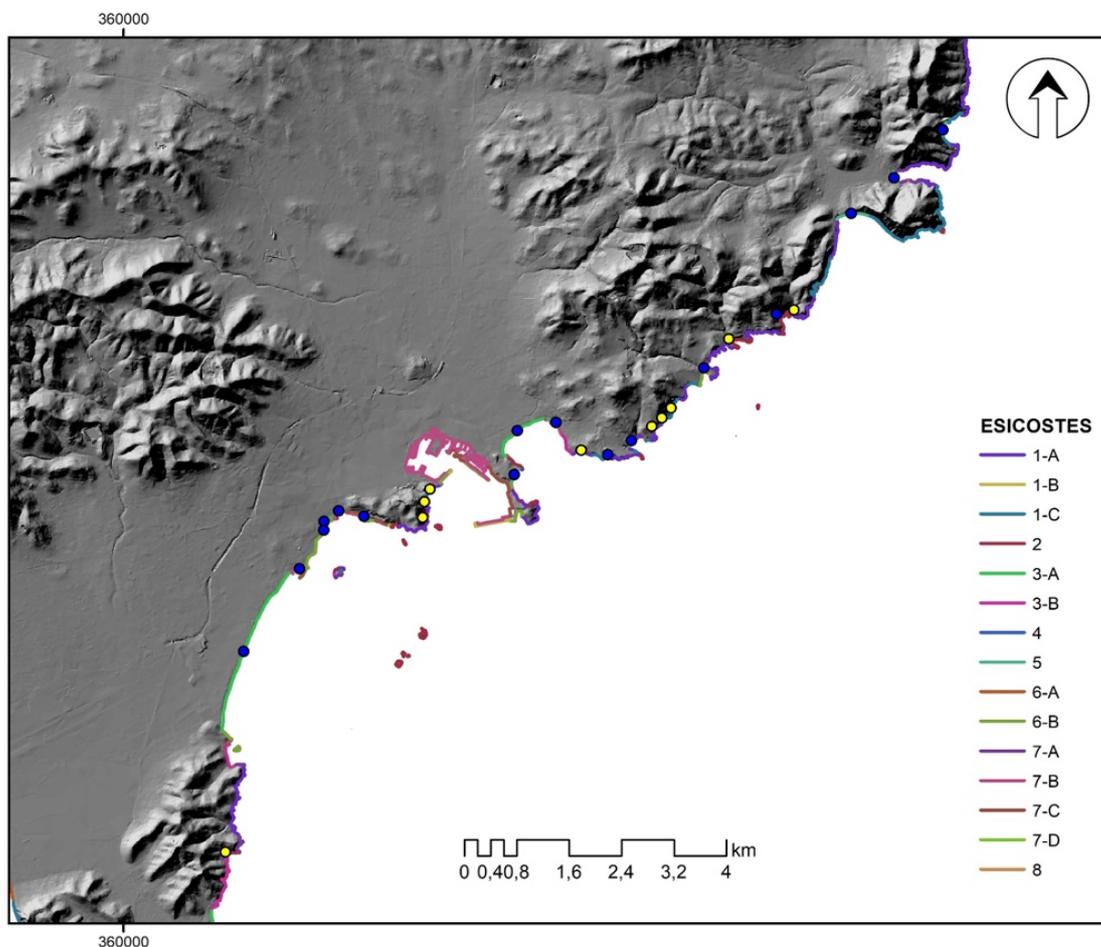


Fig. 1.04. Agregación de datos del tipo de costa en base a células sedimentarias para la creación de la base de datos morfosedimentaria de playas. Ejemplo de Vila, Eivissa y alrededores. Los puntos azules son playas arenosas y los amarillos de cantos. La tipología de costa de la leyenda se refiere a los códigos detallados en la Tabla 1.01.

Una vez filtradas las playas por su tipología, playas de arena vs. playas de cantos, se ha procedido a cuantificar el número de playas que serían objeto de análisis en el marco del proyecto PIMA ADAPTA_Balears a partir de diferentes criterios de longitud. La Tabla 1.02 presenta los resultados para las principales islas del archipiélago balear. Así, por ejemplo, de las 315 playas inventariadas para Mallorca, solo 193 están formadas por arenas, 126 tienen una longitud mayor de 50 m, 79 de 100 m y 57 de 200 m.

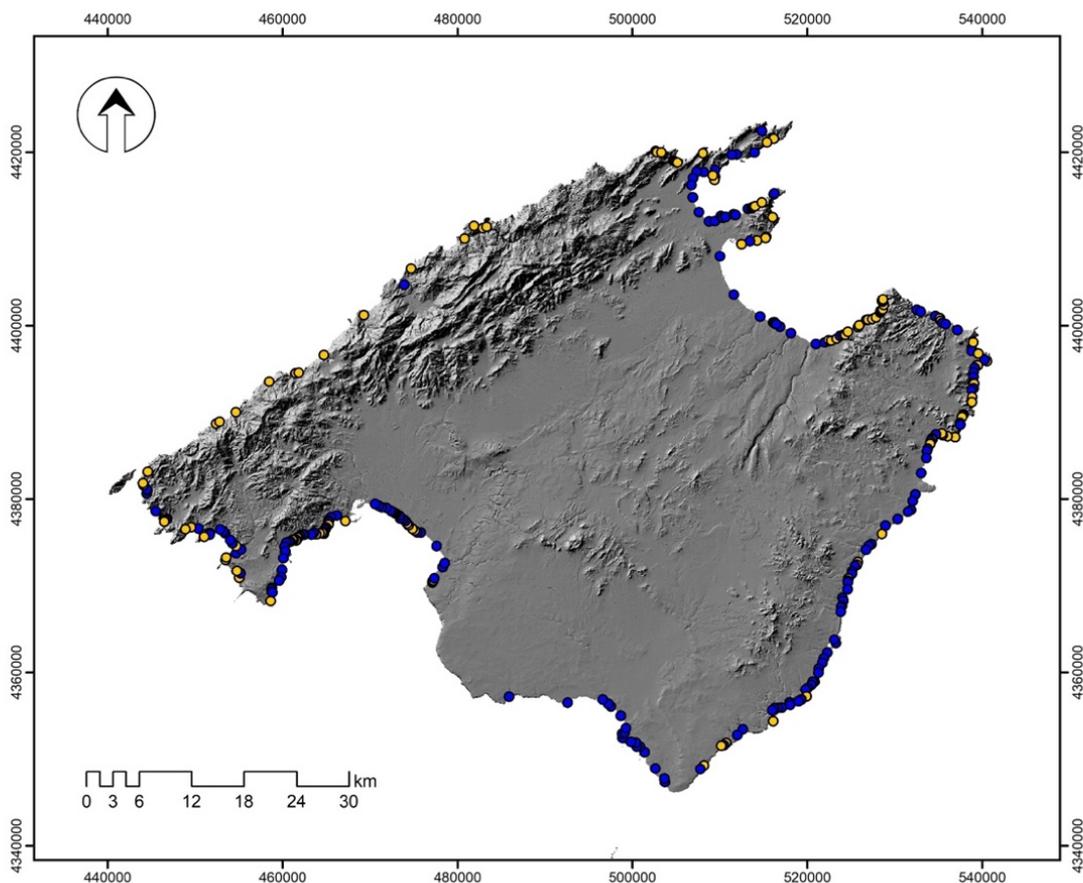


Fig. 1.05. Ejemplo del catálogo resultante de la explotación de la base de datos de tipología de costa y agregación de células sedimentarias para la isla de Mallorca. Los puntos amarillos corresponden a playas de cantos y gravas y los azules a playas arenosas.

El Informe Asturias-IH limitaba su universo de estudio a aquellas playas encajadas arenosas con una longitud superior a los 250 m, lo que se traducía en un total de 50 unidades de análisis. Para el conjunto de las Illes Balears, si se estima un límite de 50 m, se deberían analizar 326 playas (70,3% de las inventariadas), si el límite se estableciera en 100 m, el número de playas a caracterizar sería de 208 (44,8%) y el conjunto de playas con una longitud superior a los 200 m comprendería 131 playas, lo que supone el 28,2% de las del archipiélago (Tabla 1.02).

Llegados a este punto se constató que la aplicación de los criterios de referencia del Informe Asturias-IH supondrían un recorte substancial del universo de playas que caracterizan el paisaje litoral de las Illes Balears. Por ejemplo, en Eivissa, el criterio *ad hoc* reduciría muchísimo el número de playas a estudiar, así como en el levante de Mallorca o el SE de Menorca. Excluyendo del análisis algunas playas que a efectos de potencial y recurso turístico tienen una contribución evidente. Por este motivo se adoptó una solución de compromiso, entre el coste computacional de la propagación del clima marino y los escenarios IPCC desde aguas profundas a aguas someras y la distribución espacial de las playas y su peso socioeconómico. En este sentido, los datos que se facilitan en el presente informe hacen referencia al riesgo en la costa ante el cambio climático asociado a sectores de litoral caracterizados por la presencia de una playa arenosa, ya

Tabla 1.02. Análisis exploratorio del número de unidades de análisis a abordar en el marco del proyecto PIMA ADAPTA_Balears en función de la naturaleza de la playa y de su extensión.

Isla	Total playas	Playas arenosas	Nº playa según longitud		
			Nº playas Longitud >50m	Nº playas longitud >100m	Nº playas longitud >200m
Mallorca	315	193	126	79	57
			62%	41%	30%
Menorca	204	132	88	55	28
			67%	42%	21%
Eivissa	148	102	77	49	30
			76%	48%	29%
Formentera	43	37	35	25	16
			95%	66%	43%
Total PIMA ADAPTA_Balears			326	208	131
			70%	45%	28%

que se asumen que el litoral rocoso o las playas de bloques y cantos tienen una respuesta diferenciada a las playas.

En este sentido, es importante insistir, a efectos de interpretación de los resultados y su uso en el desarrollo de la planificación estratégica y las políticas de adaptación, que **la evaluación del riesgo, la exposición y vulnerabilidad que se presentan a continuación, resultan de la modelización de la inundación costera para la totalidad de las playas arenosas del archipiélago**, de manera que para el conjunto de les Illes Balears se da cuenta de 464 unidades de análisis —la totalidad de las playas arenosas de las Illes Balears— que integran 124 km de longitud de playa, el 77,5% del litoral balear asociado a playas. Éste se reparte en 193 puntos de playa en Mallorca, 132 en Menorca, 102 en Eivissa y 37 en Formentera. No obstante, a efectos de modelización de la pérdida de superficie de playa seca asociada a cada escenario IPCC y su derivada de prestación de servicios ambientales en términos de recreación, tan sólo se ha considerado una población de 163 playas, de las cuales 83 se encuentran en Mallorca, 51 en Menorca, 25 en Eivissa i 6 en Formentera. Los criterios de selección de dichas playas están descritos en los puntos 3 y 4 del informe.

1.2.2 Naturaleza de la aproximación

Cabe destacar que el Informe Asturias-IH insistía en que la aproximación metodológica desarrollada tenía por objeto proveer de información de base (principales zonas afectadas, población, sistema económico, patrimonio, espacios naturales, etc.) para la planificación estratégica orientada a la adaptación a los efectos del cambio global en la costa. El enfoque del informe es, por tanto, **una aproximación regional** en la que prima focalizar la dimensión espacial y determinar los principales elementos-sistemas afectados en cada uno de los municipios, más que entrar en el detalle específico de una localidad y generar productos destinados a obra pública.

Este punto es importante, puesto que siguiendo la estela del Informe Asturias-IH y al hilo de las recomendaciones de la Oficina para el Cambio Climático, se ha focalizado el

estudio en los efectos de los escenarios climáticos del IPCC y el clima marino asociado en la componente *cross-shore* de la playa y se ha obviado los efectos que puedan condicionar la evolución de la planta de la playa en la que influyen las corrientes longitudinales y los cambios en la dirección del flujo medio de energía del oleaje. Por ello se insiste en este apartado introductorio que **los resultados y productos del presente estudio son óptimos en tanto y cuanto se persigue una visión regional, del archipiélago en su conjunto, del riesgo asociado al ascenso del nivel del mar y el régimen extremal marino asociado, con el objeto último de detectar las zonas de mayor impacto y establecer prioridades u orientar políticas sectoriales.** Aunque orientativos, los resultados **no deben entenderse como parámetros para ejecutar proyectos de obra pública y/o privada que precisarían de estudios de mayor detalle** y complejidad, así como mayor coste computacional que los que se han llevado cabo.

1.3 Resumen

- El presente documento recoge los resultados del informe de riesgos en la costa ante el cambio climático en el ámbito de la comunidad autónoma de las Illes Balears para evaluar la vulnerabilidad y exposición de activos naturales y socioeconómicos frente al ascenso del nivel del mar y el régimen extremo asociado.
- La aproximación metodológica desarrollada en la evaluación del riesgo en la costa ante el cambio climático para las Illes Balears se organiza en tres módulos: modelización de la inundación costera, impacto espacial de la inundación costera sobre la población, infraestructuras críticas, espacios naturales y sistema socioeconómico y, finalmente, la respuesta de cada uno de los subsistemas y lo que supondría en términos de pérdida económica.
- La evaluación se ha desarrollado el sector de costa asociado a 464 playas arenosas del archipiélago. No obstante, a efectos de modelización de la pérdida de superficie de playa seca y su derivada de prestación de servicios ambientales en términos de recreación, se ha considerado una población de 163 playas.
- Los potenciales eventos de riesgo se consideran para dos horizontes temporales, 2050 y 2100 y para dos escenarios climáticos previstos por el IPCC. En concreto, el RCP-4.5 y el RCP-8.5, que respectivamente suponen una leve reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera o, por el contrario, un nivel de emisiones a la atmósfera similar al actual.
- Los resultados y productos del presente estudio son óptimos en tanto y cuanto se persigue una visión regional del archipiélago en su conjunto con el objeto último de detectar las zonas de mayor impacto y establecer prioridades u orientar estrategias o políticas sectoriales.

Evaluación de la peligrosidad: inundación costera



2. Evaluación de la peligrosidad: inundación costera

Las zonas costeras y especialmente las playas arenosas son un espacio de gran relevancia socio-económica ya que concentran gran parte de las actividades humanas ligadas al litoral y una alta densidad de población; a la par que son una de las mayores áreas de biodiversidad del planeta (Neumann et al., 2015). Además de su contribución o papel como soporte de ecosistemas, las playas son principalmente elementos de protección natural de la costa frente a eventos extremos marinos (Vousdoukas et al., 2020).

Las playas se caracterizan por su gran variabilidad dinámica, respondiendo de forma relativamente rápida a los cambios del oleaje y, al mismo tiempo, están sujetas a cambios a largo plazo en los que juegan un papel importante las interacciones entre la morfología (p.e. cambios en el perfil topográfico y la planta de la playa) y los forzamientos (p.e. mareas, oleaje y corrientes). Con el fin de mejorar la comprensión de los procesos físicos en las playas y poder anticiparse así a los posibles cambios en su morfología como respuesta a forzamientos externos, es necesaria la monitorización y el análisis del estado de dichos sistemas litorales. En última instancia, esta información es relevante para fundamentar la toma de decisiones en gestión costera.

Una de las consecuencias más visibles y potencialmente dañinas del cambio climático derivado de la actividad humana es el aumento paulatino del nivel medio del mar. El nivel medio del mar viene aumentando desde principios del siglo XX en respuesta al incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Las observaciones y modelos apuntan que éste lo continuará haciendo durante las próximas décadas y siglos (Pörtner et al., 2019). El cambio climático está ligado a variaciones en los patrones climáticos que controlan los regímenes de tormentas que afectan a las costas, así, entre otros factores, cambios en el clima marino medio (altura de ola, período o dirección del oleaje) o en el régimen de extremos, afectan a los procesos que gobiernan la dinámica de las playas. Es por ello que, para disponer de una estrategia de adaptación de los usos y recursos costeros frente al cambio climático, es necesario cuantificar los cambios futuros de estos forzamientos.

El objetivo del presente módulo es anticipar la evolución de las playas frente a forzamientos cambiantes consistentes con escenarios de cambio climático desde el punto de vista físico y desde una perspectiva regional. Concretamente, se presenta una metodología para la estimación de los cambios de las playas de las Illes Balears durante el presente siglo. Para ello, se han utilizado los escenarios climáticos de evolución de emisiones de gases de efecto invernadero conocidos como RCP-4.5 y RCP-8.5 (*Representative Concentration Pathways*; vid. van Vuuren et al. 2011). Los forzamientos considerados incluyen la subida del nivel medio del mar, las ondas de tormenta (*storm surges*) y el oleaje. La marea astronómica se considera como un invariable, por lo que no se ha integrado en el estudio. Estos agentes afectan al estado de la playa mediante la inundación, la erosión, modificando la posición de la línea de costa y en el caso que haya suficiente espacio de acomodación produciéndose el retranqueo del sistema playa-duna. Su impacto se ha cuantificado usando modelos numéricos de aplicación a escala local (de playa) y forzados a partir de salidas de modelos climáticos globales regionalizados.

La evolución del nivel medio del mar a lo largo del siglo XXI se ha obtenido siguiendo la metodología de Kopp *et al.* (2014). Los forzamientos de *surges* y oleaje alrededor de las islas se han obtenido de un reanálisis numérico y un conjunto de proyecciones generados por el *Joint Research Centre* (JRC) de la Unión Europea (Vousdoukas *et al.*, 2020; Mentaschi *et al.*, 2017). Dado que el oleaje corresponde a los valores en aguas profundas, es necesario un trabajo previo para propagarlo hacia la costa antes de aplicar estos forzamientos conjuntamente a los modelos de inundación y erosión.

El presente módulo se estructura de la forma siguiente: En la Sección 2.1 se presentan en detalle los datos y forzamientos utilizados en el estudio. En la sección 2.2 se describe la metodología de propagación del oleaje desde aguas profundas hasta la costa, así como el cálculo del *wave setup* (contribución del oleaje al aumento temporal de nivel del marea en la costa) asociado a esas olas y la metodología para el cálculo de extremos y en la sección 2.3 se describe el modelado de la inundación. En la sección 2.4 se comentan algunos casos específicos. En el Anexo 2 se detalla el método utilizado para generar series temporales sintéticas de oleaje y *surges*.

2.1 Materiales y elementos de análisis

2.1.1. Las playas objeto de estudio

El conjunto de playas analizado en las Illes Balears consiste en 464 playas, que comprenden unos 124 km de longitud. Las playas se reparten de la siguiente manera: 193 playas en Mallorca (57 km), 132 playas en Menorca (21 km), 102 playas en Eivissa (20 km) y 37 playas en Formentera (26 km). Las figuras 2.01, 2.02 y 2.03 recogen la localización de las playas caracterizadas así como los puntos desde los cuales se ha propagado el oleaje o los puntos de forzamiento de las ondas de tormenta asociadas a los resultados de los reanálisis.

Dada la gran magnitud del conjunto y dado que no es posible realizar un estudio pormenorizado de cada una de las playas, se han aplicado simplificaciones a sus características morfosedimentarias que permiten una aproximación regional. Dichas aproximaciones descansan en la naturaleza de las playas de Baleares (vid. Gómez-Pujol *et al.*, 2019), puesto que ante la ausencia de cursos fluviales competentes para transportar sedimentos gruesos y arenosos, a la par que efímeros, y con ellos contribuir al balance sedimentario de la costa, la mayoría del sedimento es de origen biogénico y marino o si domina la componente terrígena esta procede principalmente de la erosión de los acantilados y en menor medida de contribuciones fluviales (Jaume y Fornós, 1992; Gómez-Pujol *et al.*, 2013). Por ello para playas que comparten ensenadas, se ha asumido un calibre de sedimento similar o en el caso de la pendiente de la berma o del *foreshore* se ha considerado un sector representativo –zona central de cada playa y/o célula sedimentaria– para la obtención de los valores. En el contexto de este trabajo es importante señalar que los métodos y aproximaciones utilizadas están orientados únicamente a playas arenosas. Por ello, cuando en algún momento se han obtenido resultados sobre otro tipo de terrenos, se ha tenido en cuenta el alcance limitado de los mismos. En concreto, en el estudio de inundación, se han realizado análisis sobre zonas extensas que contienen las playas bajo estudio.

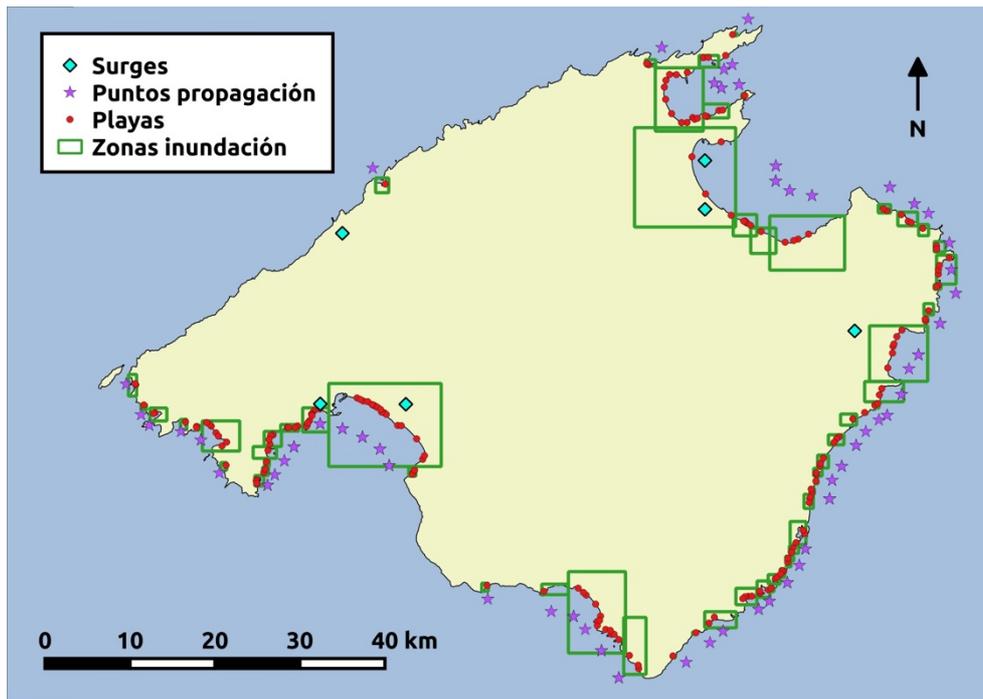


Fig. 2.01. Mapa de Mallorca con la localización de las playas estudiadas (círculos rojos), y sus correspondientes puntos de referencia para la propagación del oleaje (estrellas violetas, marcados como "puntos propagación") así como de los puntos de datos de *surges* (rombos azules), y zonas de análisis de inundación descritas en la Sección 2.3 (rectángulos de perímetro verde).

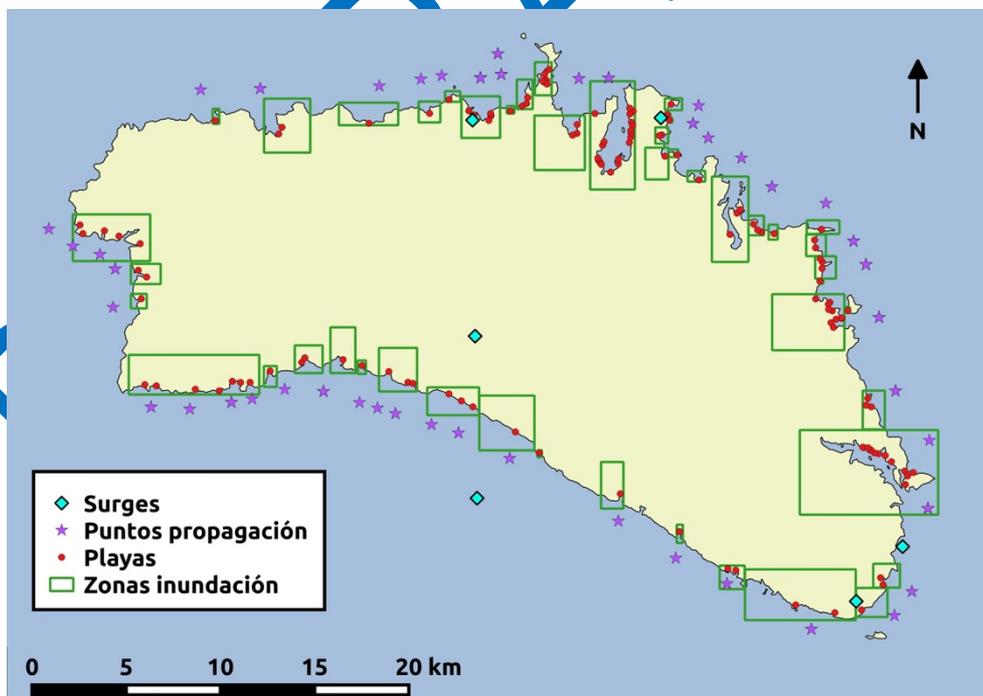


Fig. 2.02. Mapa de Menorca con la localización de las playas estudiadas (círculos rojos), y sus correspondientes puntos de referencia para la propagación del oleaje (estrellas violetas, marcados como "puntos propagación") así como de los puntos de datos de *surges* (rombos azules), y zonas de análisis de inundación descritas en la Sección 2.3 (rectángulos de perímetro verde).

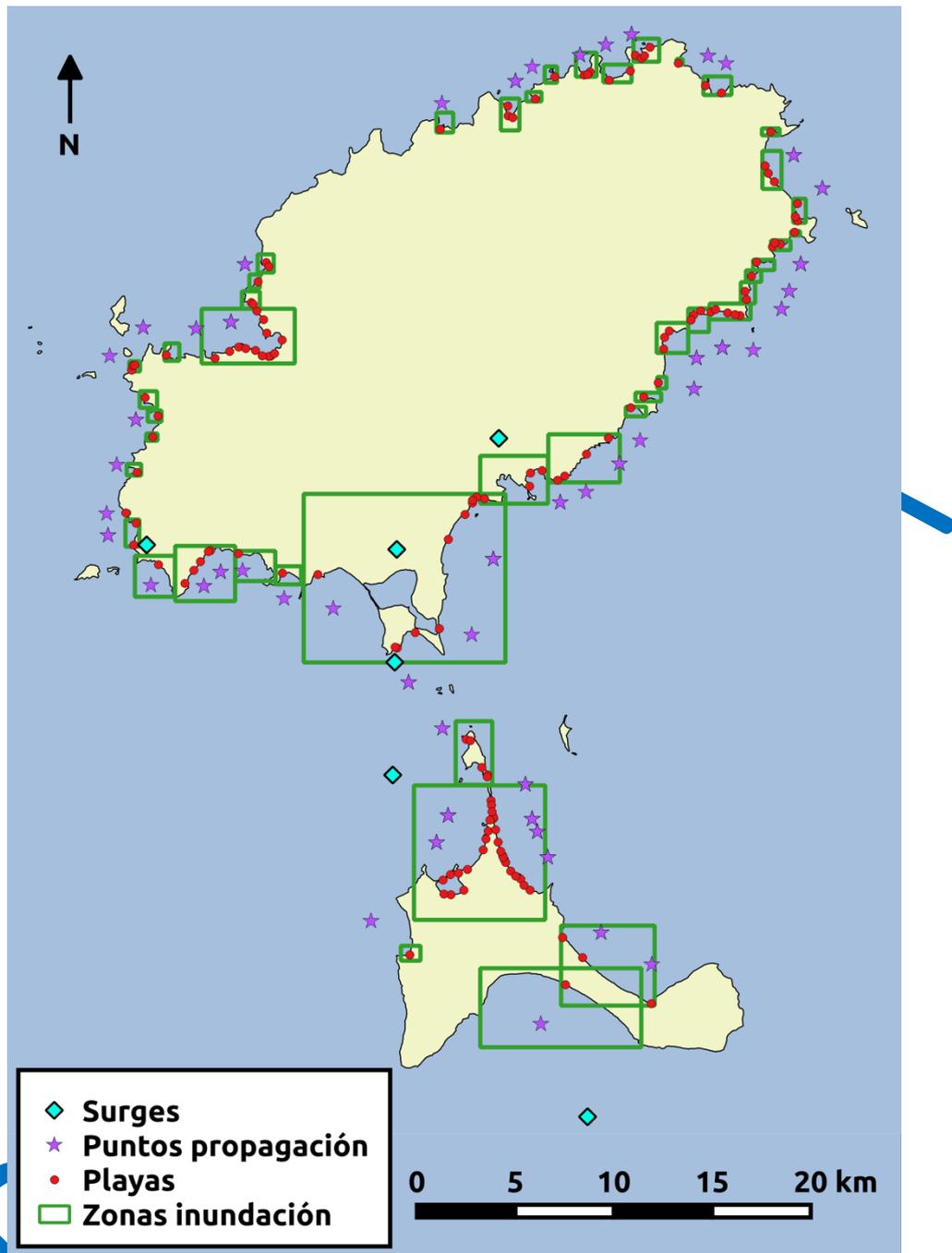


Fig. 2.03. Mapa de Eivissa y Formentera con la localización de las playas estudiadas (círculos rojos), y sus correspondientes puntos de referencia para la propagación del oleaje (estrellas violetas, marcados como “puntos propagación”) así como de los puntos de datos de surges (rombos azules), y zonas de análisis de inundación descritas en la Sección 2.3 (rectángulos de perímetro verde).

2.1.2. Parámetros morfológicos de las playas

A efectos de implementar el modelo de inundación las variables utilizadas para describir las características de las playas son las siguientes: la pendiente *foreshore* de las playas, la altura de la berma de la playa y el calibre medio del sedimento (Fig. 2.04), así como el modelo digital de elevaciones para los espacios ubicados detrás de las playas.

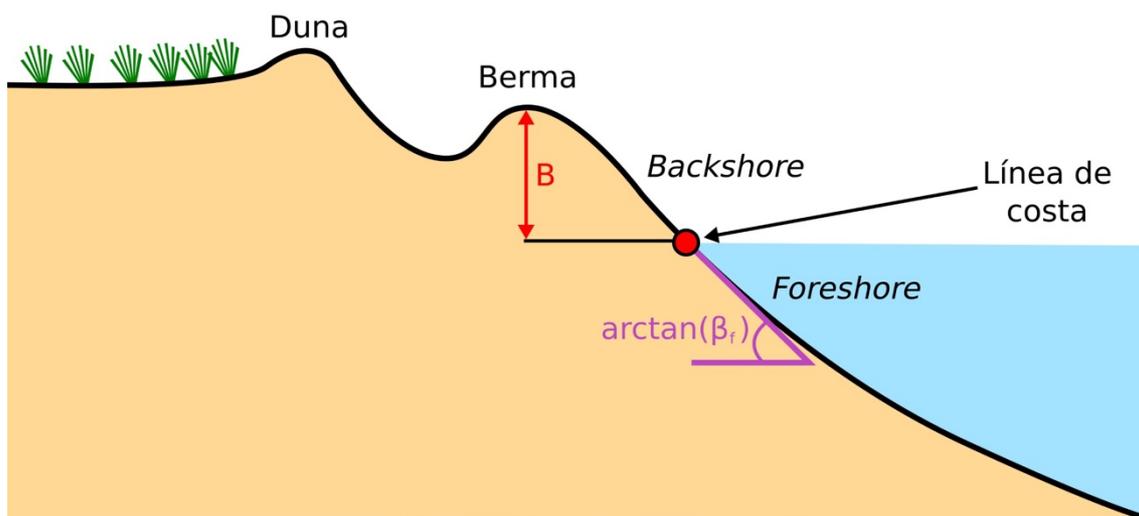


Fig. 2.04. Croquis de los parámetros morfológicos de la playa utilizados en el estudio

La pendiente *foreshore* de las playas (β_f) se ha obtenido a partir de medir la distancia entre la isóbata de 10 m y la línea de costa oficial, usando los datos de las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina. Previamente se ha contrastado la correspondencia de dicha aproximación con perfiles batimétricos disponibles de diferentes playas de las Illes Balears, obteniéndose un grado de correlación alto.

En la Fig. 2.05 se presentan las relaciones entre la pendiente de la playa obtenida mediante levantamientos topo-batimétricos y la pendiente calculada a partir de la carta náutica. Considerando los datos de una playa altamente encajada y con una laja que disipa su oleaje, el grado de correlación entre ambas variables alcanza un valor de 0,9, mientras que si se excluye dicha playa por sus características específicas, el coeficiente de correlación se queda en un 0,86 y se acepta la aproximación para extrapolar la pendiente del *foreshore* para el resto de playas objeto de estudio.

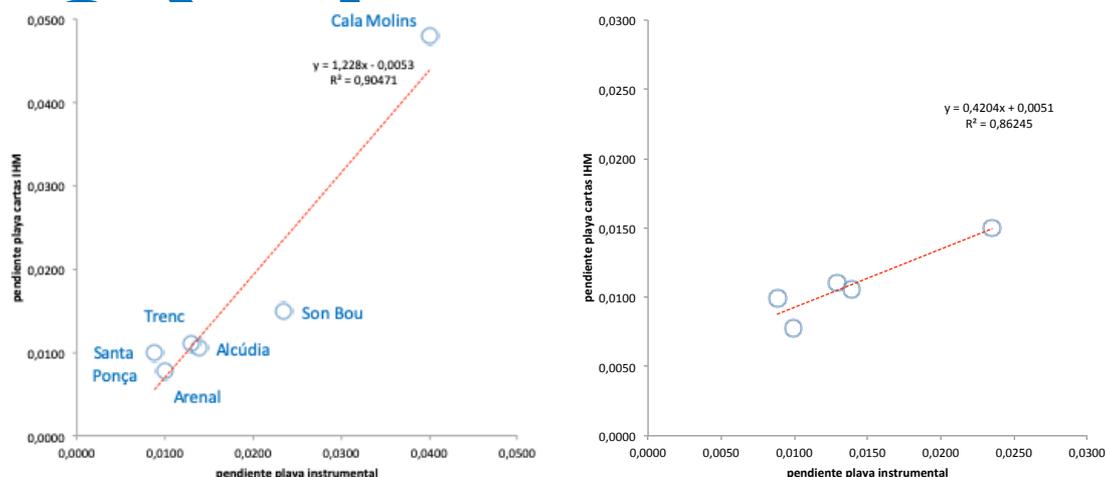


Fig. 2.05. Correlación entre el pendiente de playa instrumental y el obtenido de las cartas náuticas para diferentes playas de las Illes Balears.

La altura de berma de las playas (B) se ha calculado utilizando las nubes de puntos de la primera cobertura LIDAR de 2014 del Instituto Geográfico Nacional, IGN. Estos datos tienen una resolución de 2 m, aunque en la malla de puntos bruta pueden encontrarse puntos de cota topográfica cada 20 cm que es con la que finalmente se ha obtenido, playa a playa, dicho valor.

En cuanto al calibre del sedimento, se ha adoptado el percentil 50 (D_{50}) –al uso en ingeniería de costas– para caracterizar la textura del sedimento. No existe una base de datos conjunta y homogenizada para las Illes Balears, por lo que para las playas arenosas de Menorca se han tomado los datos del estudio de Gómez-Pujol *et al.* (2013) y para el resto de islas, se han utilizado los datos relativos a los informes de calidad de las aguas de baño que realiza anualmente la *Direcció General de Salut Pública* del Govern Balear. En dichos informes se ofrece una muestra de sedimento para una selección de playas de uso turístico y se da la contribución de cada fracción de arena desde 2 mm a 63 μm para cada intervalo textural (p.e. arenas gruesas, arenas medianas, arenas finas, arenas muy finas, etc.), por lo que se ha procedido al cálculo de sus parámetros granulométricos mediante el método de Folk y Ward y el programa Gradistat (Blotty Pye, 2001) y se han expresado los resultados de D_{50} en μm .

También ha sido necesario contar con información topográfica y batimétrica del archipiélago. Para la topografía, se ha utilizado el Modelo Digital del Terreno (MDT) de Balears elaborado por SITIBSA¹. La nube de puntos del MDT se ha obtenido mediante vuelos con aviones equipados con sensores LIDAR. Este MDT se materializa en forma de un archivo ráster que cubre la totalidad del archipiélago, con un tamaño de píxel de 2 m.

Tabla 2.01. Descripción de la geometría de las fuentes de datos de batimetría. “Rango Xutm” y “rango Yutm” se refiere al rango de latitud y longitud para los que las distintas fuentes proporcionan datos, todas ellas referidas a la proyección UTM31N.

Nombre	rango $X_{utm}[m]$	rango $Y_{utm}[m]$	paso de malla [m]
Malla Mallorca SAPO	[413794.4, 550294.4]	[4324849.1, 4431849.1]	500
Malla Menorca SAPO	[553131.1, 621081.1]	[4397974.3, 4446124.3]	450
Malla Pitiusas SAPO	[335394.6, 387144.6]	[4272973.8, 4336423.8]	450
Malla Balear SAPO	[286200.0, 630600.0]	[4262600.0, 4447400.0]	1400
Malla ICM	[238584.6, 735457.2]	[4261187.0, 4876242.1]	1000

Para obtener la batimetría se han combinado tres fuentes de datos. Como fuente principal se han usado las batimetrías de las mallas de cómputo de SAPO (Sistema de Agitación Portuaria de Puertos del Estado y SOCIB, que proporciona las condiciones de oleaje operacional en aguas profundas en las Illes Balears)². Estas batimetrías consisten en tres mallas de alta resolución cerca de las islas y una malla de resolución inferior que cubre, además, la zona entre las islas. Éstas se han complementado con la batimetría del Mediterráneo Noroccidental del ICM-CSIC³, que tiene información para las zonas más alejadas de las islas. La profundidad se ha obtenido mediante interpolación lineal sobre

1 https://ideib.caib.es/geoserveis/services/public/GOIB_Altimetria_IB/MapServer/WMSServer?request=GetCapabilities&service=WMS

2 <https://www.socib.eu/?seccion=modelling&facility=sapo>

3 <https://gma.icm.csic.es/sites/default/files/geowebs/MCB/CBSmaps.htm>

los puntos de las mallas de cómputo que se han utilizado en el estudio, utilizando la función *griddata* de la librería *SciPy* en Python. Con la intención de caracterizar mejor las zonas cerca de la costa, también se han añadido los datos del modelo de elevación del terreno del Instituto Geográfico Nacional (que proporciona datos donde hay tierra emergida con un paso de malla de 200 m). Las características de las distintas fuentes de datos se muestran en la Tabla 2.01.

2.1.3. Forzamientos físicos regionalizados: nivel de mar, *storm surges* y oleaje

Las variables que se utilizan para caracterizar los forzamientos físicos que actúan sobre las playas son las siguientes:

- Oleaje, incluyendo altura significativa de ola (H_s), periodo de pico (T_p) y dirección de pico a una profundidad somera de referencia en cada playa, que se ha establecido a 30 m de profundidad. El oleaje genera una sobre-elevación del nivel del mar, conocida como *wave setup* que es importante a efectos de inundación costera.
- *Storm surges* (ondas de tormenta), generadas por variaciones de la presión atmosférica y el viento.
- Marea astronómica. En general, no se consideran los efectos de esta magnitud en el estudio, puesto que se trabaja en una región micromareal. Sin embargo, se ha tenido en cuenta para calibrar el modelo de erosión, ya que en este proceso se requería ajustar el modelo para replicar de la forma más precisa posible los datos reales. En este caso, se han utilizado los datos del mareógrafo más cercano.
- Nivel del mar en la costa, calculado como la suma de *setup*, *surges* y marea astronómica (este término sólo se añade para la calibración del modelo de erosión) para el clima presente y añadiendo las proyecciones de aumento del nivel medio del mar para el siglo XXI (Fig. 2.06).

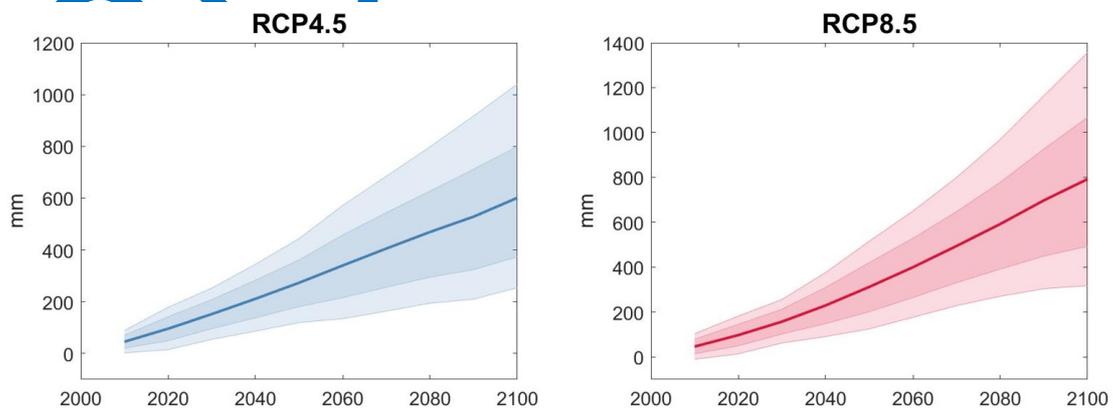


Fig. 2.06. Proyecciones de aumento de nivel del mar bajo los escenarios climáticos RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha) calculados según Kopp *et al.* (2014). Las zonas sombreadas representan la dispersión alrededor de la mediana (línea continua) correspondiente a los intervalos 5-95% y 17-83%.

Las proyecciones de aumento de nivel del mar regional se han obtenido a partir de la metodología de Kopp et al. (2014). Las series, representadas en la Fig. 2.06, muestran la evolución bajo los dos escenarios considerados, RCP-4.5 y RCP-8.5. Las componentes que se incluyen en el aumento de nivel del mar son la expansión térmica del océano por absorción de calor, así como la contribución del deshielo de glaciares y capas polares, todo ello regionalizado.

Los datos de *surges* y oleaje en aguas profundas se han obtenido de simulaciones numéricas globales generadas por el JRC, de las cuales se han extraído los puntos de malla alrededor de las islas. El conjunto de simulaciones numéricas comprende un reanálisis del periodo 1979-2014, forzado con campos atmosféricos de la simulación ERA-Interim, y proyecciones a lo largo del siglo XXI correspondientes a 6 modelos climáticos globales distintos (Vousdoukas *et al.*, 2017; Mentaschi *et al.*, 2017). Los puntos de malla de las simulaciones se representan en la Fig. 2.07 y tienen una resolución de aproximada de 25 km cerca de la costa. La resolución temporal de las series de *surges* es de 6 horas, mientras que la de las series de oleaje es de 3 horas.

Con el fin de cuantificar los cambios proyectados en estas dos variables, se han comparado los valores de las proyecciones de los 6 modelos climáticos. Es importante señalar que los datos de oleaje se refieren siempre a aguas profundas y por tanto es necesario realizar una propagación hacia la costa para poder cuantificar sus valores en cada una de las playas de estudio.

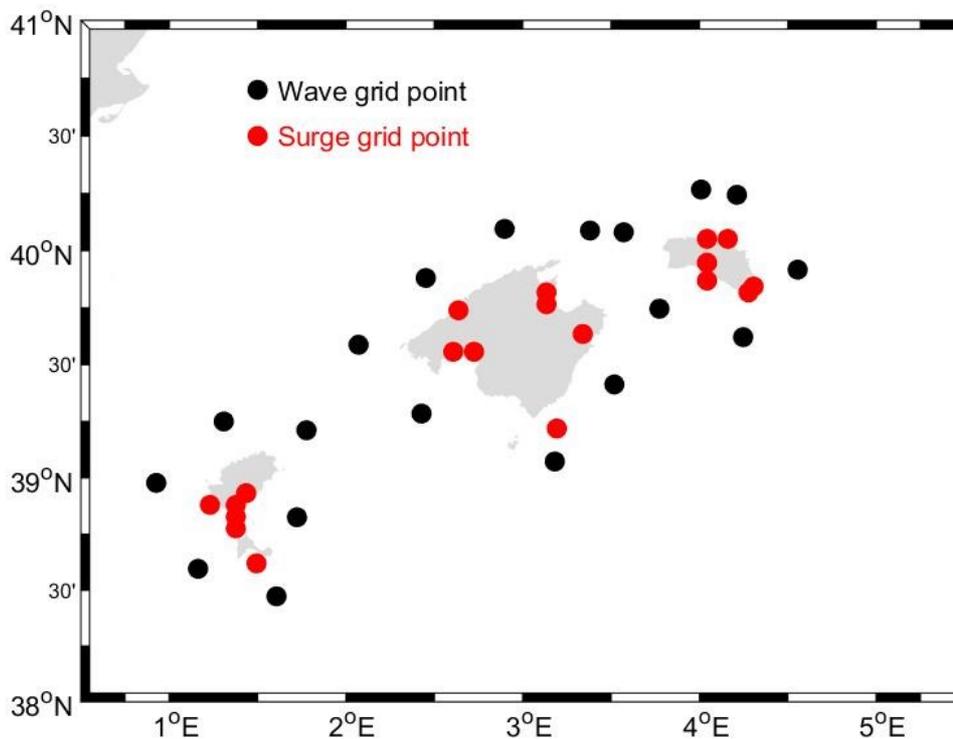


Fig. 2.07. Puntos de malla extraídos de las simulaciones globales de *surges* (en rojo) y oleaje (en negro).

En cuanto a la comparación de los extremos de *surges* y de altura significativa de ola (*Hs*) de finales del siglo (2070-2099) con los de su correspondiente simulación histórica (1970-1999), las diferencias en los valores correspondientes a un periodo de retorno de 50 años se representan en las Fig. 2.08 y Fig. 2.09 para las *surges* y para *Hs*, respectivamente. Los mapas representan las diferencias promedio entre los 6 modelos y sus desviaciones estándar para cada uno de los puntos de malla.

A partir de estos resultados se concluye que la incertidumbre en los cambios proyectados (representada aquí como la dispersión de los 6 modelos) es mayor que los propios cambios (el promedio) en casi todos los casos. Por lo tanto, a lo largo de este trabajo se utilizarán siempre las salidas de los reanálisis para caracterizar tanto el régimen medio como el extremal de los forzamientos de alta frecuencia.

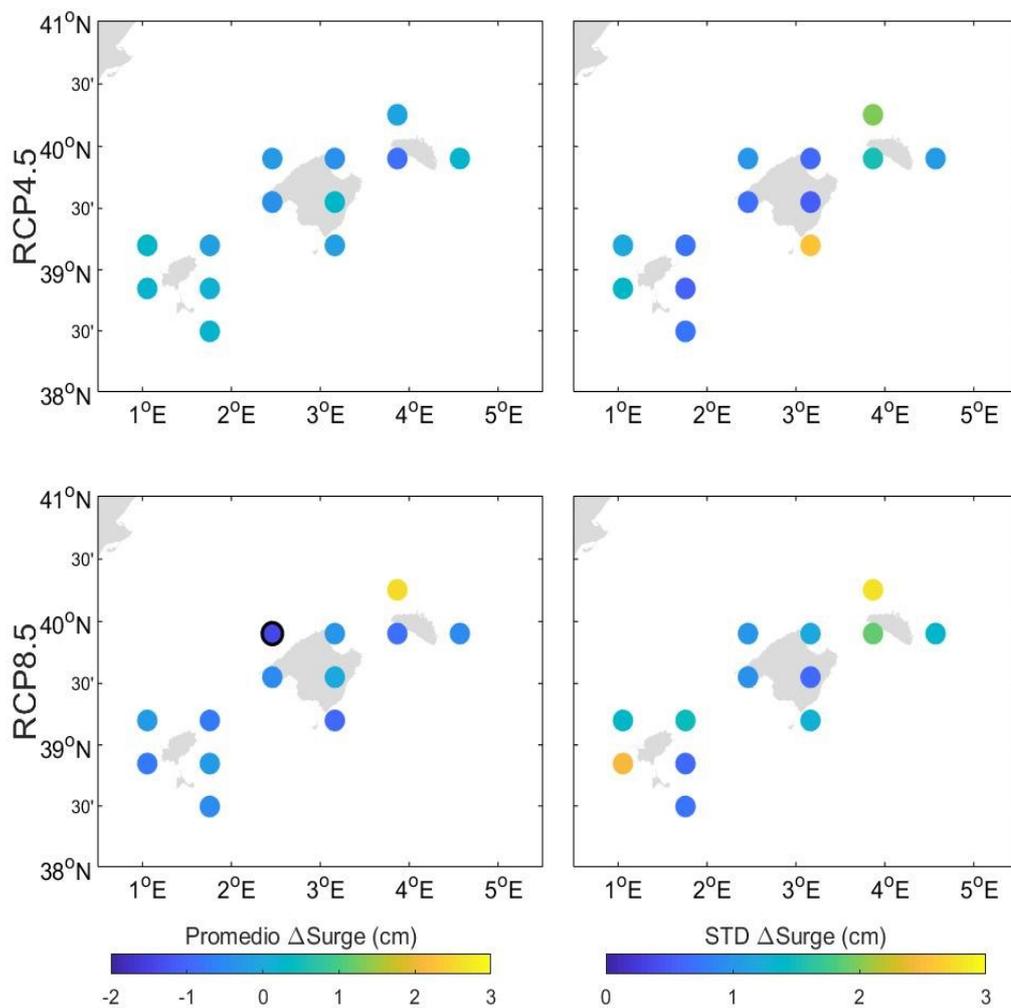


Fig. 2.08. Cambios proyectados en el nivel de retorno de 50 años para las *surges* calculados como la diferencia entre las proyecciones en 2070-2099 y la simulación histórica en 1970-1999. La columna de la izquierda representa el promedio de los cambios en los 6 modelos y la columna de la derecha son las desviaciones estándar correspondientes, para los dos escenarios RCP-4.5 (fila superior) y RC-P8.5 (fila inferior). Los puntos señalados con un perímetro negro indican que el cambio promedio es mayor que la dispersión dada por la desviación estándar.

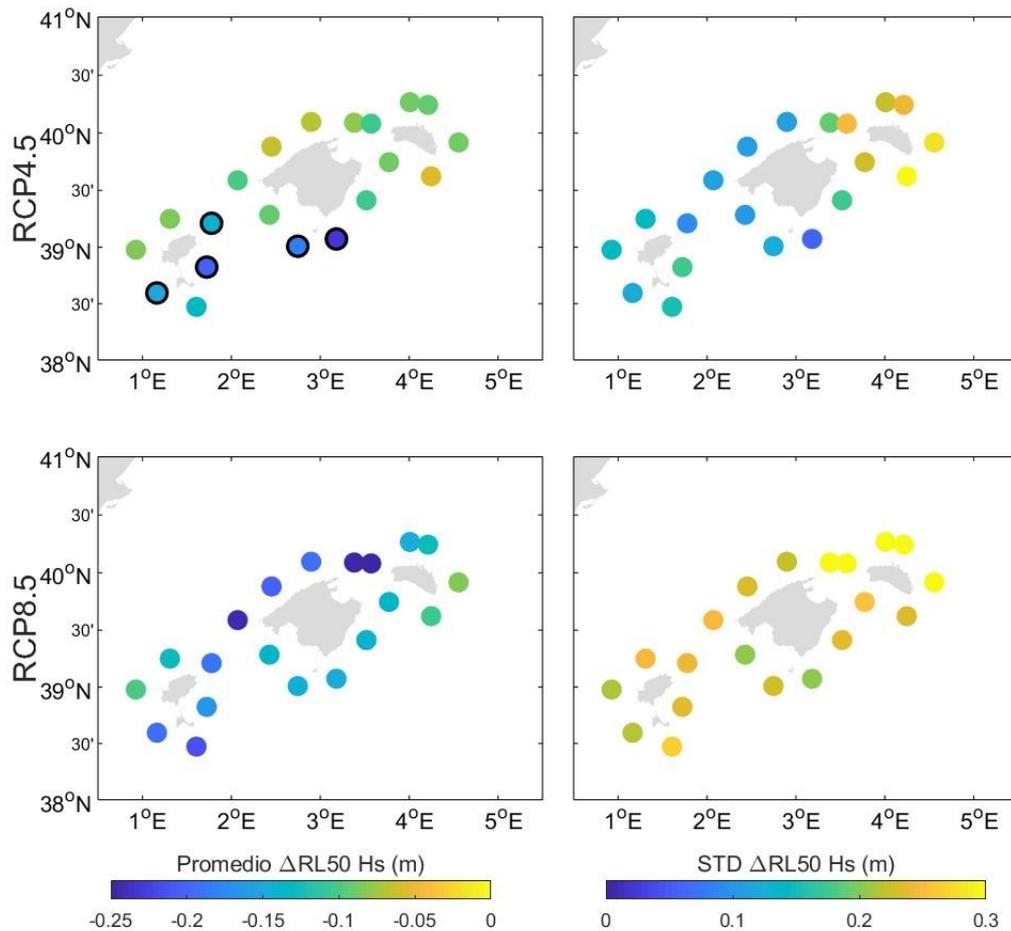


Fig. 2.09. Cambios proyectados en el nivel de retorno de 50 años para la Hs calculados como la diferencia entre las proyecciones en 2070-2099 y la simulación histórica en 1970-1999. La columna de la izquierda representa el promedio de los cambios en los 6 modelos y la columna de la derecha son las desviaciones estándar correspondientes, para los dos escenarios RCP-4.5 (fila superior) y RCP-8.5 (fila inferior). Los puntos señalados con un perímetro negro indican que el cambio promedio es mayor que la dispersión dada por la desviación estándar.

2.2 Propagación del oleaje de aguas profundas a aguas someras

Las series temporales de oleaje en aguas profundas descritas en la sección anterior no son representativas del oleaje que afecta a las playas en la costa. A medida que el oleaje se traslada hacia la costa sufre una serie de procesos físicos debido a la pérdida de profundidad (refracción, difracción y asomeramiento). En consecuencia, se ha utilizado el modelo espectral SWAN (*Simulating Waves Nearshore*)⁴ para propagar las series originales del reanálisis del oleaje hasta la costa. Se trata de un modelo del estado del arte y ampliamente utilizado por la comunidad científica.

Se ha definido, para cada playa, un punto de referencia cercano hasta el que se propagan las series de aguas profundas (véanse las Fig. 2.01, 2.02 y 2.03). Se asume que el oleaje que se calcula para cada punto de referencia es representativo del que llega a

⁴ <http://swanmodel.sourceforge.net/>

la playa a la que se ha asociado y se usa para calcular el *wave setup* y la altura de ola en el momento de la rotura para la playa asociada. La posición de estos puntos de referencia está determinada por la resolución de las mallas computacionales. En consecuencia, se localizan sobre profundidades de entre 13 m y 60 m. Cuando existen playas cercanas entre sí se utiliza el mismo punto de referencia. En ocasiones las limitaciones computacionales y la resolución de la batimetría provocan que la premisa de un punto de referencia cercano y representativo no sea válida. En la Fig. 2.10 se presenta un ejemplo ilustrativo de dicha situación.

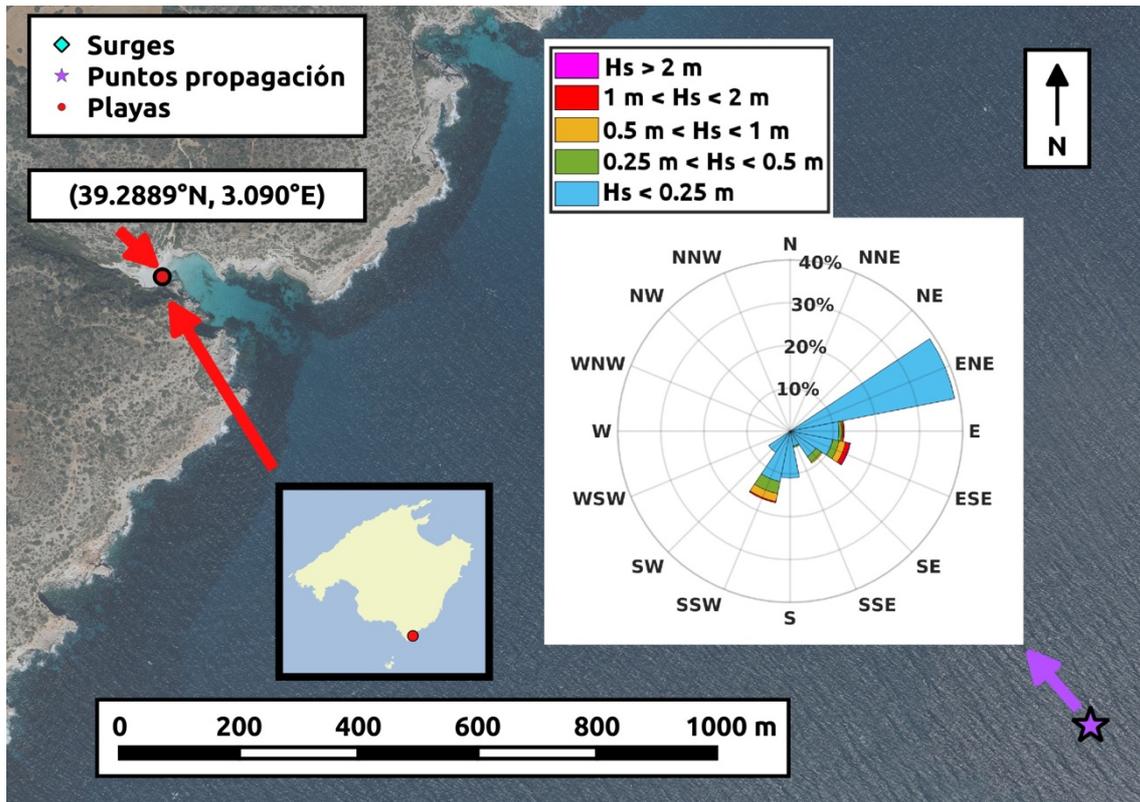


Fig.2.10. Cala des Màrmols (punto rojo) y su punto de referencia (estrella púrpura). El gráfico polar incrustado en la figura muestra la rosa de oleaje asociado al punto de referencia. Nótese que la playa tiene una bocana orientada hacia el sureste, con lo que las direcciones más frecuentes del oleaje presente en el punto de referencia (ENE y SSW) no pueden darse en la playa. Las flechas rojas indican la localización de la playa, dando su latitud y longitud, así como su posición sobre el mapa de Mallorca.

Dado que la propagación numérica del reanálisis de varias décadas es computacionalmente inviable, se ha seleccionado un conjunto de casos representativos del clima marítimo para parametrizar los cambios en H_s entre mar abierto y costa en cada playa. Se ha asumido que el periodo de la ola queda inalterado por la propagación. Para la parametrización de la función de transferencia de H_s entre los puntos de datos en aguas profundas (descritos en la Sección 2.1.3) y un punto de referencia cercano a la costa nos basamos en la conservación de energía. Siguiendo el desarrollo presentado por Dean y Dalrymple (1991) se puede escribir la relación entre estas alturas de ola como:

$$\frac{H_r}{H_0} = G(h_r, T_p) F(\theta_0) \quad [\text{Ec. 1}]$$

$$G(h_r, T_p) = \frac{T_p}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{h_r}} \sqrt{\frac{k_r h_r}{1 + \xi_r}} \quad [\text{Ec. 2}]$$

donde H_r es la altura de ola en un punto de referencia cercano a la costa, H_0 es la altura de ola en aguas profundas, θ_0 es el ángulo de incidencia del oleaje en aguas profundas, $G(h_r, T_p)$ es un factor que viene descrito por la ley de Green, g es la aceleración de la gravedad, k_r es el número de onden el punto de referencia, h_r es la profundidad en el mismo punto cercano a costa, $\xi = 2(k_r h_r) / \sinh(2k_r h_r)$ y $F(\theta_0)$ es una función que depende de θ_0 , la cual indica cómo se curvan los frentes de onda entrantes debido a la batimetría según convergen o divergen de los rayos asociados a los frentes de onda. El factor $G(h_r, T_p)$ depende de la profundidad del punto de referencia cercano a la costa (h_r) y del periodo de la ola (T_p). El número de onda (k_r) es función de la profundidad (h_r) y del período del oleaje (T_p). Por tanto, es posible calcular la altura de ola en el punto de referencia cercano a la costa si se conocen los parámetros del oleaje en aguas profundas (H_0 , T_p y θ_0), la profundidad del punto de referencia y el efecto refractivo de la batimetría entre los dos puntos ($F(\theta_0)$). Puesto que el punto de referencia se puede escoger arbitrariamente y la serie de estados del mar en aguas profundas son conocidas, la única limitación para obtener el oleaje en los puntos de referencia de las playas es estimar la forma de $F(\theta_0)$, para lo que se han utilizado propagaciones numéricas, como se explica a continuación.

2.2.1. Propagaciones numéricas con SWAN

Se han definido 3 mallas computacionales sobre las que se aplica el modelo de propagación SWAN: una para Mallorca, una para Menorca, y otra para las Pitiusas (Fig. 2.11), de tal manera que cada fachada marítima de las islas esté asociada a uno de los lados de las mallas. A su vez, cada lado de la malla está asociada a uno de los puntos de datos del oleaje en aguas profundas presentados en la Fig. 2.07. Ha sido necesario extrapolar la batimetría para la zona al sureste de Formentera (enmarcada en violeta en la Fig. 2.11) debido a la falta de datos sobre esta zona de la malla de las Pitiusas. Para las propagaciones se asume que cada punto de datos de oleaje de aguas profundas es representativo de toda la arista del rectángulo correspondiente. Las coordenadas de los puntos de datos y de las mallas se especifican en las Tablas 2.02 y 2.03, respectivamente.

Tabla 2.02. Posición (en coordenadas UTM31N) de los puntos de datos del reanálisis de oleaje. La columna ID indica el número que identifica al punto de datos en la Figura 2.11

ID	X [m]	Y [m]	ID	X [m]	Y [m]
1	394390	4340922	11	544646	4362774
2	389154	4298176	13	450647	4348525
4	340018	4273497	15	453122	4414704
5	320389	4316389	18	548727	4436896
8	632963	4419755	19	585815	4457921
9	607066	4386503			

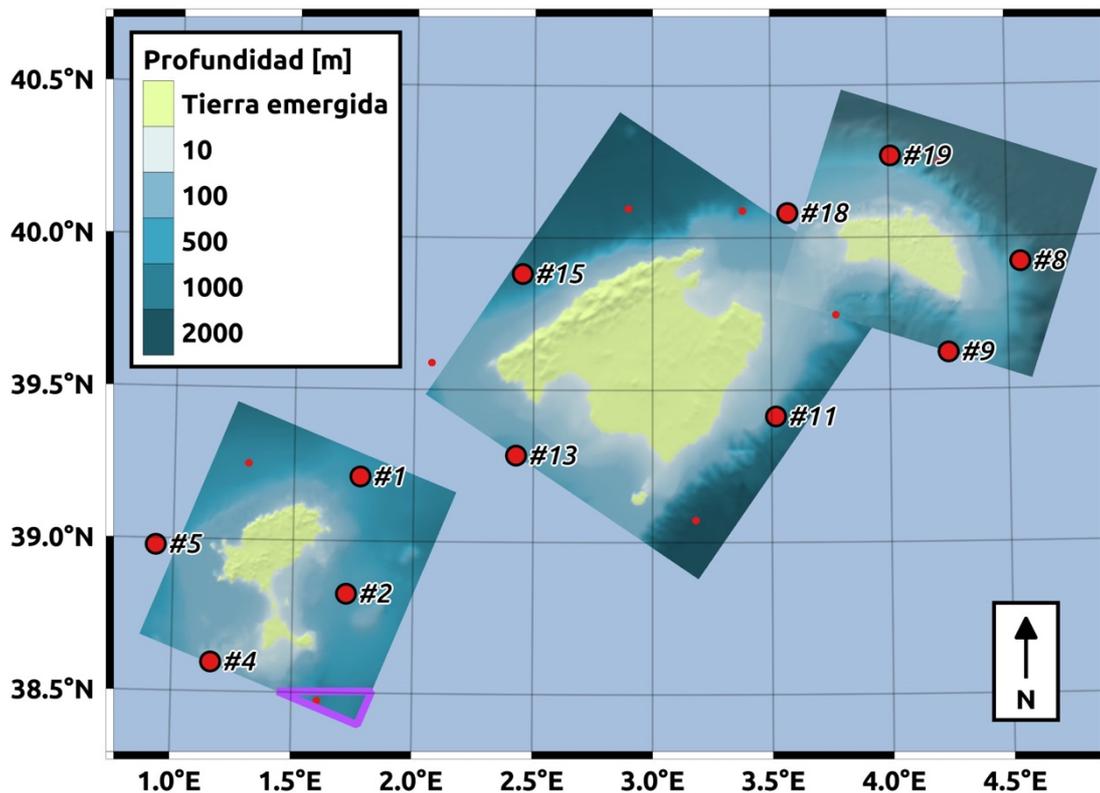


Fig. 2.11. Mallas computacionales para la propagación del oleaje. El mapa de color en las mallas representa la profundidad asociada a cada punto de malla. El conjunto de puntos de datos de oleaje del reanálisis se muestran en rojo. Los puntos utilizados en la propagación se muestran en un tamaño mayor e identificados con un número. El triángulo violeta indica la zona para la que se ha definido la batimetría de forma artificial, extrapolando los datos disponibles.

A cada playa puede llegar oleaje procedente de distintas direcciones (*i.e.* asociado a más de un punto de datos). Por ello, hemos considerado siempre cuatro posibles fuentes de datos; esto implica realizar cuatro grupos de propagaciones por cada malla, propagando en cada uno oleaje desde una arista distinta. Los datos resultantes de dichos grupos de propagaciones se han combinado más tarde para cada una de las playas (véase la Sección 2.2.2).

Tabla 2.03. Definición de las mallas de cálculo: Los parámetros describen un rectángulo rotado de la siguiente manera. P1 indica la coordenada X de la esquina inferior izquierda del rectángulo antes de ser rotado. P3 indica la longitud del lado del rectángulo paralelo al eje X antes de ser rotado. P2 indica la coordenada Y de la esquina inferior izquierda del rectángulo antes de ser rotado. P4 indica la longitud del lado del rectángulo paralelo al eje Y antes de ser rotado. P5 indica el giro en grados sexagesimales que se le aplica al rectángulo para definir la orientación de la malla (en el sentido anti horario). P6 indica el paso de malla; éste es uniforme y el mismo en ambas direcciones.

Malla	P_1 [m]	P_2 [m]	P_3 [m]	P_4 [m]	P_5 [°]	P_6 [m]
Mallorca	418350.2	4370945.9	119000.0	124000.0	-34.377	500.0
Menorca	544965.3	4406099.0	96500.0	79000.0	-17.189	500.0
Pitiusas	314781.3	4283840.3	85000.0	91500.0	-22.918	500.0

Los casos propagados que se utilizan para la parametrización de la función de transferencia de los parámetros del oleaje han sido definidos de la siguiente manera: para

.....

cada punto de datos en aguas profundas se dividen los estados de mar de toda la serie temporal original en función de su dirección de pico (θ_0), de forma que queden agrupados por octantes (N, NE, E, SE...). Los casos propagados son los asociados a los máximos mensuales de altura de ola de cada uno de los octantes. Como se verá en la siguiente sección, estas propagaciones son suficientes para caracterizar el factor $F(\theta_0)$ que aparece en la Ecuación 1.

2.2.2. Parametrización de los cambios en el oleaje y combinación de fuentes

Para cada par de alturas de ola (en aguas profundas y propagada hasta el punto de referencia de cada playa) se calcula el factor de Green según la Ecuación 2. Mediante el factor de Green y los valores de altura de ola en el punto de referencia y en mar abierto se calcula el factor angular $F(\theta_0)$ de la Ecuación 1. De esta manera, se construye un conjunto de pares " (θ_0, F) " que permiten estimar la forma del factor angular $F(\theta_0)$. Para obtener el factor direccional asociado a cualquier dirección de entrada, se ajusta el conjunto de pares " (θ_0, F) " a una curva definida, tras varias pruebas de sensibilidad, como:

$$F_{fit}(\theta_0) = p_1 \left(1 - \left(\frac{\theta_0 - p_2}{\pi} \right)^{p_3} \right)^{p_4} \quad [\text{Ec. 3}]$$

donde las cantidades (p_1, p_2, p_3, p_4) son parámetros ajustados mediante mínimos cuadrados. Los resultados para uno de estos ajustes se presentan en la Fig. 2.12, a modo ilustrativo. Una vez estimados los cuatro factores $F(\theta_0)$ para cada punto de referencia (uno por cada punto de datos en aguas profundas), se calculan las cuatro series temporales completas de oleaje en dicho punto usando la ecuación 1, para la cual ya conocemos todos los términos.

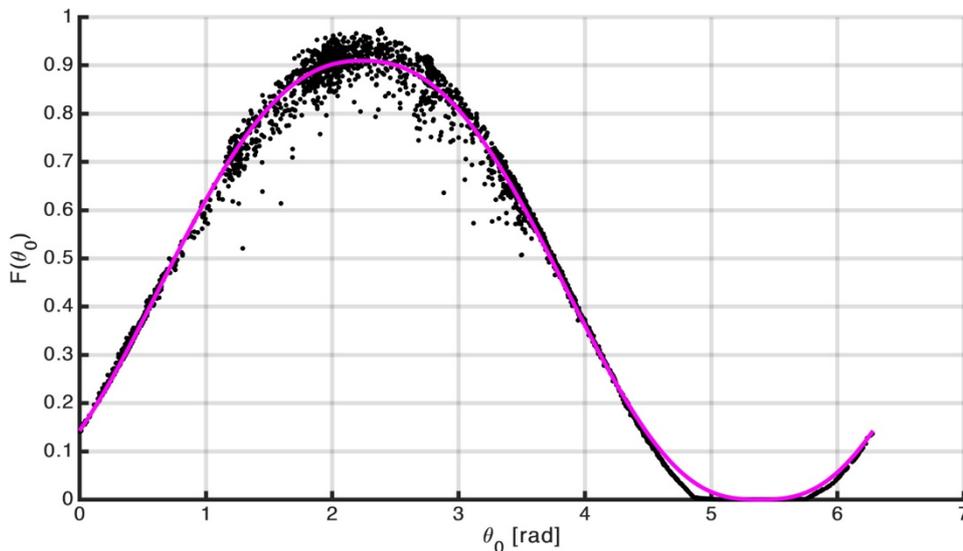


Fig. 2.12. Factor $F(\theta_0)$ calculado utilizando los datos del oleaje propagado numéricamente (puntos negros) y ajustado mediante la curva descrita por la Ecuación 3 (línea violeta). En el eje horizontal se representa la dirección del oleaje en aguas profundas, y en la vertical el valor del factor $F(\theta_0)$ calculado para cada propagación.

Respecto a la dirección del oleaje se han utilizado los pares de dirección de pico en aguas profundas y en el punto de referencia (resultantes de la propagación numérica) para construir una aproximación al cambio de la dirección de pico durante la propagación. Para ello se han dividido las direcciones de pico en aguas profundas en intervalos de 1° y se ha calculado la media circular (ángulo del promedio de exponenciales complejas) de las direcciones de pico en el punto de referencia asociadas. Para evitar el efecto del oleaje de pequeña amplitud, cuya dirección puede quedar mal caracterizada, se ha considerado sólo los datos asociados a una altura significativa mayor que 10 cm. Esta relación se usa para generar cuatro series (una por cada punto de datos en aguas profundas) tri-horarias completas de la dirección de pico del oleaje en cada punto de referencia. Como se ha mencionado anteriormente, se asume que las series de periodos de pico en el punto de referencia correspondientes son idénticas a las de periodos de pico en aguas profundas del punto de datos correspondiente.

Como resultado de todo el proceso se obtienen 4 triadas de series temporales (H_s, T_p, θ_p) que se combinan considerando en cada paso de tiempo la que presenta el valor máximo de altura de ola, obteniendo así una única serie temporal de (H_s, T_p, θ_p) para cada punto de referencia (i.e. asociado a cada playa).

2.2.3. Cálculo del *wave setup*

Usando el oleaje obtenido en los puntos de referencia mediante la propagación del oleaje se calcula la sobreelevación o *wave setup* que éste produce en cada una de las playas. Para ello se parte de la parametrización empírica de Stockdon (Stockdon et al., 2006), en la que el *setup* (η_i) puede calcularse a partir de la altura significativa de ola en aguas profundas H_0 , la longitud de onda en aguas profundas L_0 y la pendiente de la playa β_f de la forma:

$$\langle \eta \rangle = 0.35 \beta_f \sqrt{H_0 L_0} \quad [\text{Ec. 4}]$$

El valor 0,35 que aparece en esta ecuación es una constante que proviene de ajustar a una recta un conjunto de medidas experimentales. La longitud de onda en aguas profundas L_0 depende exclusivamente del periodo del oleaje T_p , el cual queda inalterado durante la propagación:

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T_p^2 \quad [\text{Ec. 5}]$$

Sin embargo, esta parametrización no incluye el cambio en la dirección del oleaje durante su propagación desde aguas profundas hasta la costa. Sino que asume que el oleaje llega perpendicular a la playa. Tampoco tiene en cuenta el efecto de la batimetría que se introduce de forma aglutinada en el factor $(F(\theta_0))$.

Esta premisa no es realista en el caso que nos ocupa y por ello se ha modificado la ecuación de Stockdon para utilizar la altura de ola del punto de referencia, e incorporar así la información de la propagación. Por tanto, el *setup* queda expresado como:

$$\langle \eta \rangle = \Gamma \beta_f \sqrt{H_r L_0} \quad [\text{Eq.6}]$$

donde H_r indica la altura significativa de ola en el punto de referencia y Γ un factor constante a determinar.

Teniendo en cuenta las dos expresiones, los coeficientes 0.35 y Γ , se pueden relacionar de la siguiente manera:

$$0.35 \approx \Gamma \sqrt{\frac{H_{ref}}{H_0}} \quad [\text{Eq. 7}]$$

Si se aísla el factor Γ en esta última ecuación se puede estimar su valor para cada punto de referencia utilizando el conjunto de pares de alturas de ola en aguas profundas (H_0) y propagadas (H_r). Puesto que para cada punto de referencia se dispone de cuatro pares de dichas series (una por cada punto de datos en aguas profundas), se estiman cuatro valores para el factor Γ y se calculan cuatro series temporales de *setup* independientes para cada punto de referencia. Para realizar dichas estimaciones del factor Γ , tan sólo debe de tenerse en cuenta el oleaje que llega al punto de referencia. Es decir, deben descartarse los pares de altura de ola que presenten un cociente demasiado pequeño, puesto que no se puede extraer información sobre el factor Γ de éstos (división por un número cercano a cero).

En detalle, el proceso utilizado para estimar el factor Γ asociado a cada punto de referencia y punto de datos en aguas profundas es el siguiente:

- 1) En primer lugar, se descartan todos los pares de alturas de ola que presenten un cociente H_r/H_0 inferior a 0,05.
- 2) En segundo lugar, se calcula la arcotangente asociada a todos los cocientes H_r/H_0 restantes, lo cual indica el ángulo que forma la recta que definen los pares (H_0, H_r) con el eje $H_r = 0$.
- 3) En tercer lugar, se computa la media de esos ángulos. Finalmente, se asigna el valor de la tangente de dicho ángulo promedio como estimación del factor Γ .

De esta manera se obtienen cuatro series temporales de *setup* para cada playa, al combinar su pendiente (β_f) junto con los cuatro factores Γ obtenidos para su punto de referencia y con las cuatro series de alturas de ola en dicho punto de referencia según indica la Ecuación 6. Se interpretan estas cuatro series temporales de *setup* como contribuciones al mismo fenómeno provenientes de las cuatro fachadas marítimas de la isla y, por tanto, para obtener el total se suman dichas contribuciones resultando en una única serie de *setup* para cada playa.

2.2.4. Cálculo de extremos

El régimen extremal se determina a partir de la metodología de picos sobre umbral (*Peaks Over Threshold*, POT, por sus siglas en inglés) en la que se seleccionan los valores de la serie que superan un cierto valor, definido en nuestro caso por el percentil 99 de altura de ola significativa combinada que se ha obtenido según explica la Sección 2.2.2.

Para asegurar la independencia entre episodios extremos se requiere una separación de al menos 3 días entre sí. La distribución de picos de altura de ola se ha ajustado a una función de distribución de Pareto Generalizada (GPD) y se han determinado los parámetros de la distribución mediante máxima verosimilitud.

Además de caracterizar la intensidad (o amplitud) de los episodios extremos, se ha usado la serie de excedencias sobre el umbral para determinar la mediana de las duraciones de los eventos extremos.

2.3 Inundación costera

En esta sección se distinguen dos tipos de inundación. En primer lugar, la inundación permanente, inducida por la subida paulatina del nivel medio del mar (véase la Sección 2.1.3). El aumento de nivel medio del mar produce un retroceso continuado de la línea de costa que, a su vez, aumenta la exposición y vulnerabilidad ante los efectos de los temporales marinos. El segundo tipo de inundación considerado es la inundación temporal (o extrema), generada por episodios extremos en las componentes de alta frecuencia del nivel del mar asociados a dichos temporales marinos. En concreto, se consideran la suma de contribuciones del *setup* y las *surges*. Se descarta la marea astronómica, puesto que en el ámbito de estudio, ésta alcanza magnitudes pequeñas, especialmente al compararla con las del *setup* y las *surges* durante episodios de tormenta.

Muchas de las playas de interés son adyacentes a zonas urbanas y puertos. En estos casos es muy importante poder caracterizar las viviendas y demás obstáculos de pequeña escala que el mar pueda encontrarse durante la inundación extrema, así como los posibles caminos que pueda utilizar para propagarse (como calles y cursos de torrentes). Por ello, en ambos casos se han combinado los forzamientos locales con información topográfica de alta resolución y correcciones del MDT.

Cada proyección de aumento de nivel medio del mar bajo los escenarios RCP-4.5 y RCP-8.5 está asociada a un intervalo de confianza que caracteriza su incertidumbre (Fig. 2.05). Se han planteado dos horizontes temporales, correspondientes a los años 2050 y 2100. Los valores de los rangos de las proyecciones para ambos escenarios y periodos se indican en la Tabla 2.4. Dado que las proyecciones son similares para mitad de siglo, se han considerado solamente las del escenario RCP8.5. La inundación permanente se ha calculado para los 6 valores indicados, con el fin de obtener un rango de los impactos esperados por la sumersión de las zonas de costa. Las nuevas líneas de costa generadas en cada uno de estos casos son la base a partir de la cual se introducen los forzamientos correspondientes a los episodios extremos.

Debido al alto coste computacional que implica generar las inundaciones a alta resolución espacial ha sido necesario delimitar las zonas de estudio, para lo cual se han agrupado playas cercanas y evaluado los impactos separadamente. Mediante la inspección visual del mapa topográfico descrito con anterioridad y de la línea de costa (por medio de un registro de vídeo de vuelos sobre el perímetro de todas las islas del archipiélago), se han identificado las zonas potencialmente inundables en el entorno de las playas. Se calcula los efectos de la inundación exclusivamente sobre estas zonas.

Tabla 2.4. Proyecciones de aumento de nivel medio del mar para los dos horizontes temporales considerados (años 2050 y 2100). Los casos con trama gris no se consideran por la similitud entre los escenarios RCP-4.5 y RCP-8.5.

	RCP-4.5		RCP-8.5	
	2050	2100	2050	2100
Límite superior	16,3 cm	32,4 cm	18,0 cm	46,1 cm
Límite inferior	33,1 cm	79,9 cm	36,1 cm	103,1 cm

2.3.1. Cálculo de la inundación permanente

La inundación permanente es el resultado de inundar todas las cotas que estén por debajo del nivel medio del mar considerado. Sin embargo, se dan algunas situaciones que requieren un análisis manual más detallado. Éstas incluyen canales que no quedan bien representados por el modelo de elevaciones porque su anchura es inferior a la resolución del mismo, zonas planas cuya cota coincide aproximadamente con el nivel del mar, barreras elevadas pero demasiado estrechas como para ejercer de protección efectiva contra el mar (por ejemplo los muros que separan el jardín de una vivienda de la calle), masas de agua interiores que están mal caracterizadas en el modelo de elevaciones (la elevación dichas zonas se obtiene por interpolación de las elevaciones del terreno colindante). En todos estos casos se ha asegurado manualmente que la conectividad entre zonas inundables queda bien representada. Además, se ha aplicado un algoritmo de *flood fill* para eliminar las zonas que no están conectadas con el mar superficialmente.

El resultado del proceso de inundación permanente es una máscara que indica qué píxeles del ráster de elevaciones quedan inundados y cuáles no. Finalmente, se aplica una última corrección que consiste en eliminar de la máscara de inundación las zonas de tierra que son demasiado pequeñas, es decir, las formadas por una cantidad de píxeles menor que cierto umbral. El umbral se ha fijado en 100 píxeles (400 m²) si toda la zona sobresale menos de 10 cm respecto del nivel medio del mar considerado, y 30 píxeles (120 m²) en caso contrario. Mediante esta última corrección se obtiene una máscara de inundación suave, de la que se extrae la nueva línea de costa resultado de la inundación permanente (identificada a partir de los puntos de la máscara que no están inundados pero que tienen un primer vecino que sí lo está)⁵.

2.3.2. Cálculo de la inundación episódica o extrema

A diferencia de la inundación permanente, la inundación temporal debido a un evento extremo tiene una duración de entre unas pocas horas y unos pocos días, durante la cual el nivel del mar aumenta rápidamente y la masa de agua se propaga tierra adentro para luego retroceder. Con el objetivo de calcular esta inundación transitoria se ha aplicado el modelo numérico LISFLOOD de la Universidad de Bristol (Bates et al., 2010), que implementa las ecuaciones de Navier-Stokes simplificadas para aguas someras (SWE, por sus siglas en inglés), en su versión unidimensional (ecuaciones de Saint-Venant).

El modelo se implementa sobre la malla del modelo digital de elevaciones considerando la formulación de Manning para calcular la fricción de fondo. La

⁵ También conocido como "relleno por difusión", este tipo de algoritmos detecta todos los píxeles del mismo color que un píxel inicial, que no están separados por píxeles de otro color (Rogers, 1998).

discretización que utiliza el modelo requiere introducir difusión en las ecuaciones de Saint-Venant, la cual queda controlada por un factor de peso (simbolizado por la variable θ en el modelo). Este factor se ha fijado en 0,9 para todas las simulaciones. El número de Courant se ha fijado en 0,7.

El modelo de inundación requiere como entradas la malla de elevaciones del terreno, los valores del parámetro de Manning (fricción) en cada punto, las condiciones iniciales de la profundidad del agua en cada punto de malla y los forzamientos. Para el parámetro de Manning, se utiliza un valor constante de 0,06, un valor intermedio dentro del rango de valores posibles. Como forzamiento se ha impuesto la variación del nivel del mar de un episodio extremo tipo, que se describen en el siguiente párrafo. Se impone esta condición sobre la línea de costa externa, sin incluir aquellos puntos que estén tras una conexión muy estrecha, tales como canales, torrentes, bahías muy cerradas, etc. La clasificación entre puntos de línea de costa internos y externos se ha realizado de forma manual. La serie de nivel del mar utilizada contiene las contribuciones de las *surges* y del *wave setup*.

La variación del nivel del mar durante un episodio extremo típico se define como un aumento lineal desde el nivel medio del escenario considerado hasta el valor correspondiente a un nivel con periodo de retorno de 100 años, seguido de una bajada lineal hasta el nivel medio considerado. Esta aproximación se basa en la observación de que las tormentas definidas como los excesos sobre un umbral siguen una evolución aproximadamente triangular (véanse la Sección 2.2.4 y la Fig. 2.13). La duración del episodio extremo tipo se ha definido como la mediana de las duraciones de los eventos extremos en la serie temporal de nivel del mar de la playa correspondiente.

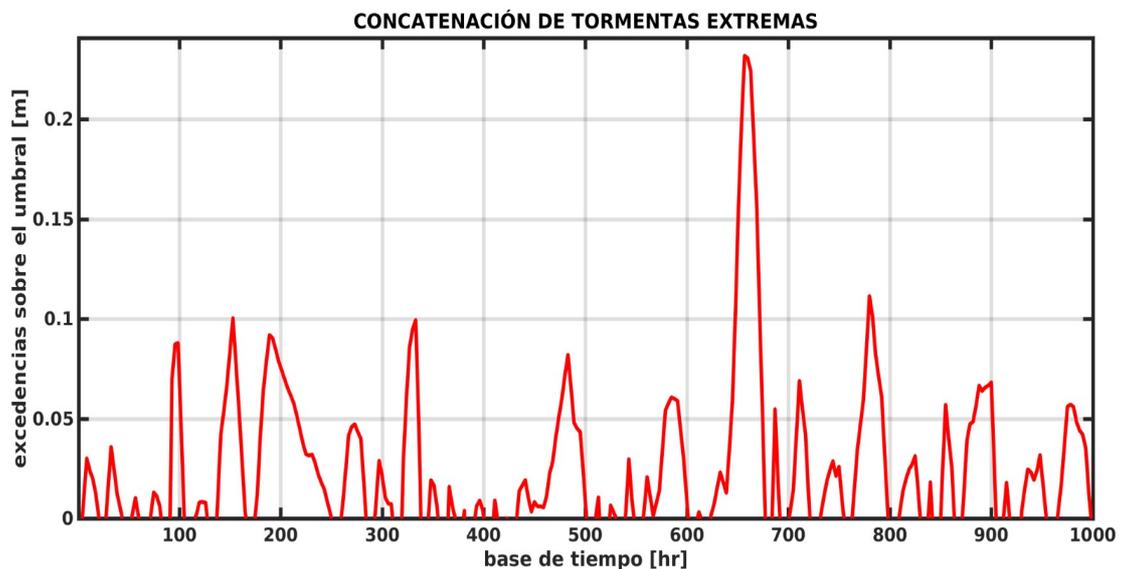


Fig. 2.13. Excedencias (incrementos de nivel del mar respecto del umbral) para las primeras tormentas extremas que se observan en una de las playas del estudio, en metros. Las sucesivas tormentas extremas se han concatenado una detrás de la otra. Así pues, el valor absoluto en el eje horizontal no tiene ninguna relevancia. Tan sólo los intervalos sobre este eje aportan alguna información (en concreto, permiten ver la duración de cada uno de los fragmentos, en horas).

En las zonas inundables que contienen más de una playa se ha utilizado un forzamiento común, forzando con la media de las series de nivel del mar de todas las playas contenidas en la zona. Esta media es ponderada, donde el peso que se le da al nivel del mar de cada playa es proporcional a la longitud de ésta.

En cada localización se simula la inundación durante un día. De esta manera se asegura que la inundación ha llegado a su máximo, puesto que la duración de los eventos forzados siempre es inferior al día. El resultado es una máscara, similar a la del cálculo de inundación permanente, que indica qué puntos del ráster de elevaciones han quedado inundados durante el evento extremo simulado.

2.4 Casos especiales

Dentro del conjunto de zonas de inundación que se han definido hay un par de particularidades que deben ser señaladas.

2.4.1. Áreas protegidas de los temporales

Existen zonas que se encuentran resguardadas en su práctica totalidad del oleaje incidente. En estos casos, el único forzamiento marino que puede llegar hasta ellas es el de las *surges*. Por ello, en estos casos no se ha considerado el *setup* del oleaje. Concretamente, esto ocurre: en Mallorca en las zonas del puerto de Sóller, el puerto de Manacor, Portocolom, Cala Ferrera, Cala Mondragó, Cala Xinxell y el puerto de Andratx. En Menorca en las zonas del Port de Sanitja, Fornells, el Arenal d'en Castell, Montgofra y el puerto de Maó; y en Ibiza en la zona del puerto de Sant Miquel.

2.4.2. Áreas semi-protegidas de los temporales

Se constata la existencia de zonas extensas que presentan un comportamiento mixto: parte de su costa queda expuesta al oleaje que llega de alta mar, pero otra parte queda resguardada de éste, generalmente conteniendo un puerto. Cada caso debe ser analizado en detalle y por separado. Puesto que este estudio se centra exclusivamente en playas, sólo hemos hecho un estudio metodológico más detallado sobre dos zonas, como ejemplo. Se ha escogido la zona de la ciudad de Eivissa y el norte de Formentera (Port de la Savina, Estany d'es Peix y Estany Pudent) para ilustrar dicha aplicación.

Primero, se ha clasificado la costa de las zonas de ejemplo en diferentes subzonas. Cada subzona se ha forzado con una tormenta de evolución temporal triangular cuyo valor máximo es diferente entre ellas, aunque todos los eventos tienen la misma duración. Se han utilizado las pendientes de las playas de la costa expuesta de cada subzona para calcular el *setup* en cada una de ellas, mientras que en aquellas resguardadas (puertos e interior del Estany des Peix) se han utilizado sólo las *surges*. En la Fig. 2.14 se presentan los puntos de la línea de costa que se usan para forzar la simulación de inundación extrema en la ciudad de Eivissa, representados con un color distinto en función de la subzona a la que se han asociado. La Fig. 2.15 muestra el equivalente en la zona del norte de Formentera.



Fig. 2.14. Puntos de la línea de costa usados para forzar las simulaciones en la zona de inundación de la ciudad de Eivissa para uno de los casos de análisis. Los distintos colores indican las distintas subzonas definidas. Los círculos rojos indican la posición de las playas consideradas en el proyecto. El número que acompaña cada punto rojo es la pendiente (β_f) de esa playa. Los números de colores indican la pendiente considerada en el cálculo del *setup* en cada subzona.

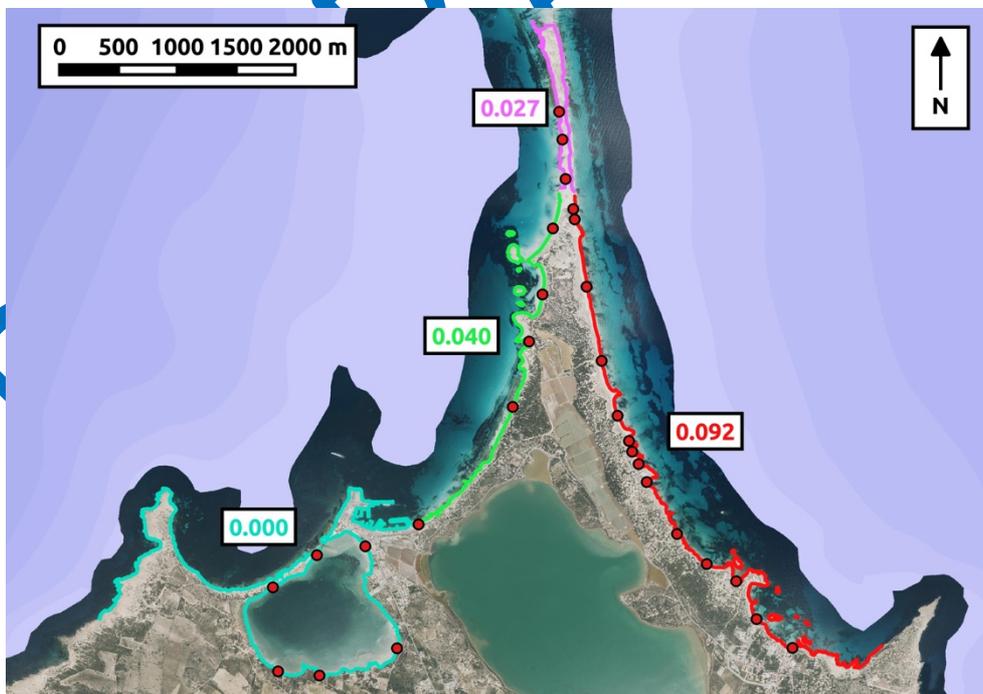


Fig. 2.15. Puntos de la línea de costa usados para forzar las simulaciones en la zona de inundación del norte de Formentera, para uno de los casos de análisis. Los distintos colores indican las distintas subzonas. Los círculos rojos indican la posición de las playas consideradas en el proyecto. Los números de colores indican la pendiente considerada en el cálculo del *setup* en cada subzona.

2.5 Ejemplo de resultados

A continuación presentamos algunos ejemplos de los resultados obtenidos en la inundación, con la intención de mostrar las salidas descritas en la metodología, así como para destacar algunas zonas problemáticas.

2.5.1. Albufera des Grau

Los resultados de la inundación permanente se representan en la Figura 2.16. En este caso la extensión de la inundación extrema es muy pequeña, debido a la protección de la playa de la entrada de la Albufera des Grau. Es notable la gran extensión de la inundación permanente para el nivel más bajo (18 cm), seguramente debido a que la Albufera des Grau presenta terrenos muy planos y con una cota muy baja. Se recomienda interpretar con precaución las zonas extensas de cotas bajas (como éstas) ya que el error del modelo digital de terreno puede ser relativamente mayor (p.e., puede confundirse fácilmente terreno emergido y sumergido, y las zonas con vegetación densa en la interfaz entre tierra y agua pueden dificultar la extracción de datos correctos). La Figura 2.16 muestra con claridad el aumento de zonas inundadas para subidas del nivel medio del mar más altos (79 cm y 103 cm), que tienen mayor fiabilidad.

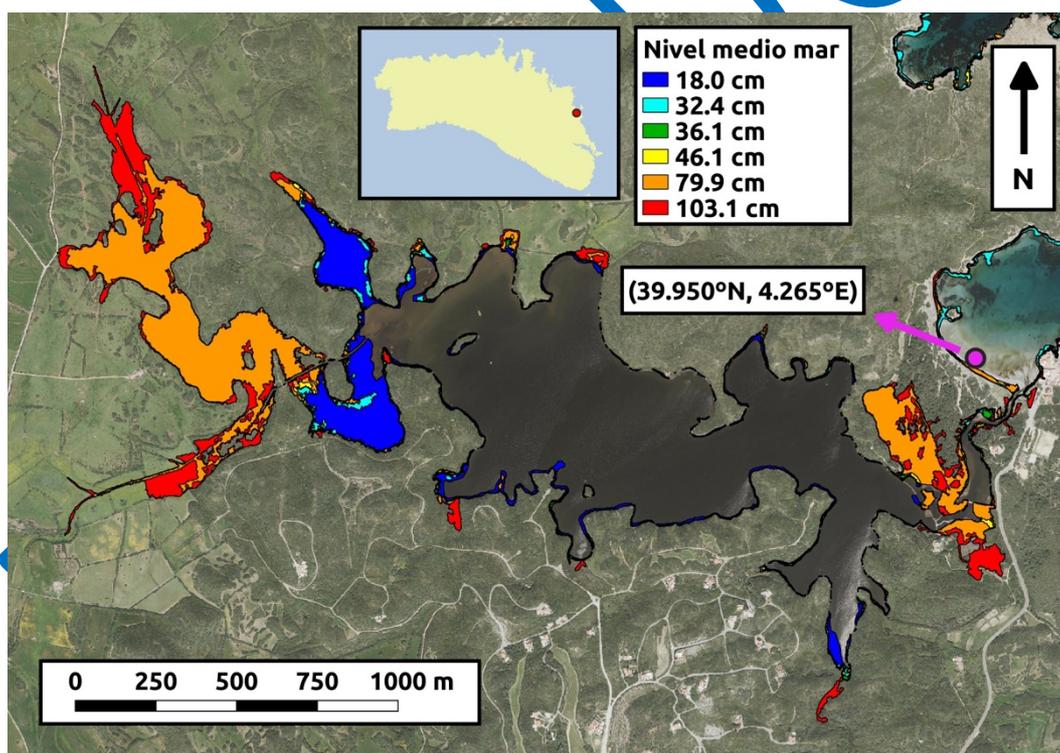


Fig. 2.16. Inundación permanente en la Albufera de Menorca. Los distintos colores identifican el caso de nivel medio del mar al cual se asocian. Se incluye la localización de una playa cuya erosión se presentará en secciones posteriores.

2.5.2. Eivissa

La Fig. 2.17 presenta los resultados para la inundación calculada sobre la ciudad de Eivissa y la playa de Talamanca, tanto permanente como extremal. Como puede observarse en la imagen que muestra la extensión de la inundación permanente, los efectos son poco notorios por debajo de medio metro, pero aumentan si el nivel medio

del mar sube alrededor de un metro, quedando inundadas las calles más cercanas al mar. Por otro lado, esta zona ha sido una de las escogidas para utilizar un forzamiento más realista, dividiendo su costa en diferentes subzonas (vid. Fig. 2.14). Nótese que en el mapa extremal solamente se representa el área inundada por efecto del episodio extremo, a la que hay que añadir el área inundada permanente.

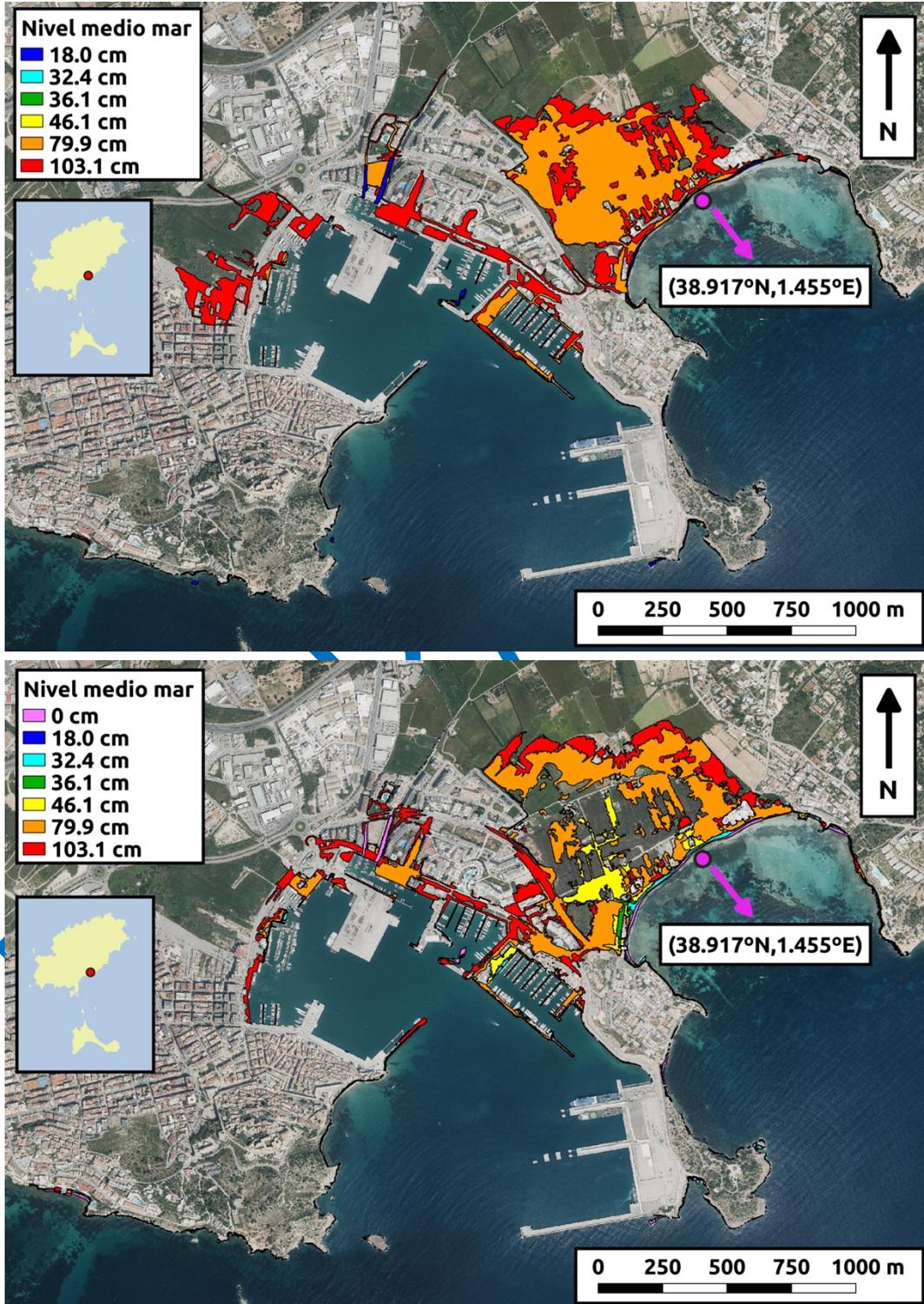


Fig. 2.17. Inundación permanente (imagen superior) y extrema (imagen inferior) en la ciudad de Eivissa. Los distintos colores identifican el caso de nivel medio del mar al cual se asocian. Se incluye la localización de una playa cuya erosión se en próximas secciones.

En concreto, dentro del puerto sólo se ha forzado la sobreelevación que producirían las *surges*. Para los casos asociados a un nivel medio del mar más alto puede apreciarse como la inundación llena casi por completo la zona entre el puerto y la playa de Talamanca.

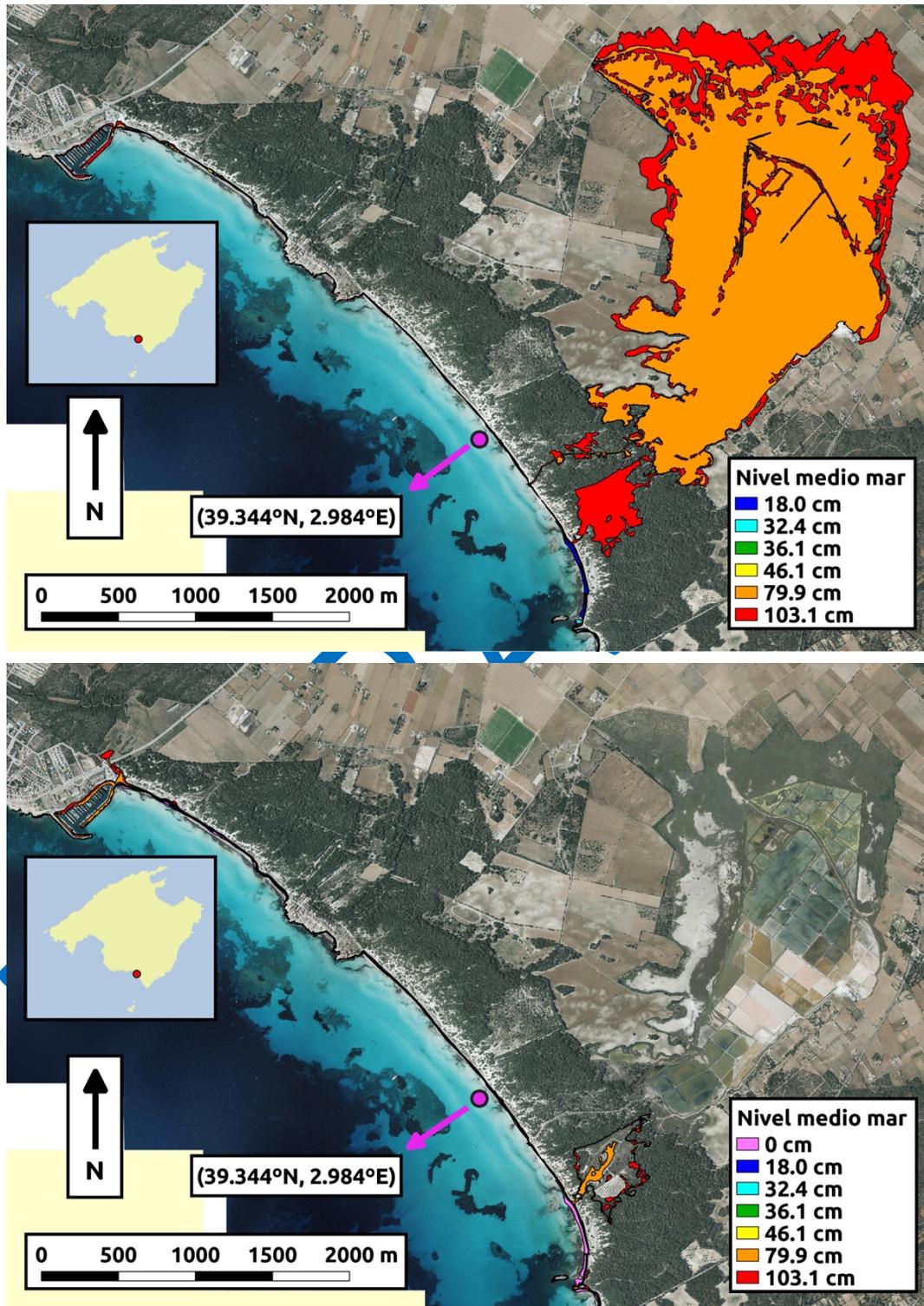


Fig. 2.18. Inundación permanente (imagen superior) y extrema (imagen inferior) en la zona de la playa de Es Trenc. Los distintos colores identifican el caso de nivel medio del mar al cual se asocian. Se incluye la localización de una playa cuya erosión se presentará más adelante.

2.5.3. Es Trenc

Los resultados de la inundación de esta zona pueden apreciarse en la Figura 2.18. Destaca la enorme extensión de la inundación permanente para los casos de subida de nivel medio del mar de 79 cm y 103 cm. Este caso es especialmente interesante porque sirve de ejemplo para zonas que corren el riesgo de quedar inundadas por tener una conexión angosta con el mar (véanse las zonas estrechas que conectan el mar y la gran zona inundada del interior, en la imagen superior de la Figura 2.18). Por esto es especialmente importante utilizar un MDT de alta resolución y llevar a cabo un proceso de corrección manual de la inundación permanente.

2.5.4. Pollença

Los resultados del estudio de inundación sobre la bahía de Pollença se muestran en las Fig. 2.19 (mitad norte de la bahía) y 2.20 (mitad sur de la bahía).

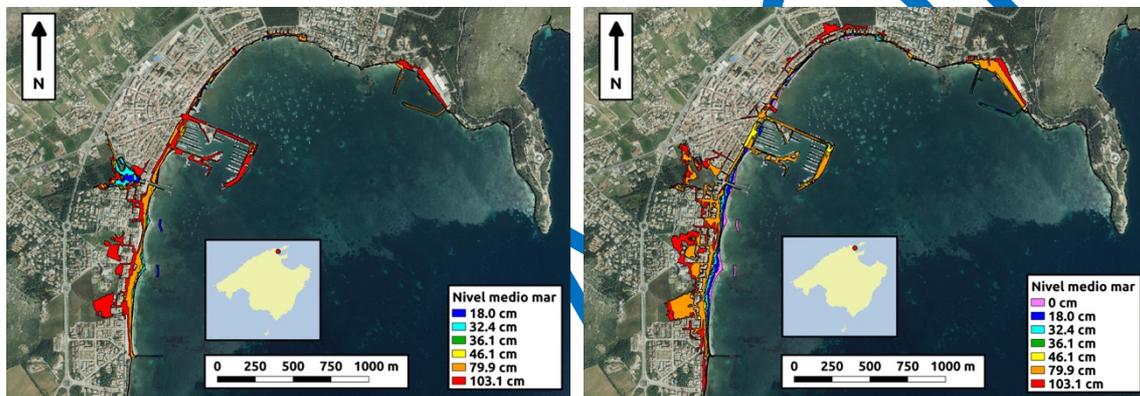


Fig. 2.19. Inundación permanente (imagen izquierda) y extrema (imagen derecha) en la mitad norte de la bahía de Pollença. Los distintos colores identifican el caso de nivel medio del mar al cual se asocian.

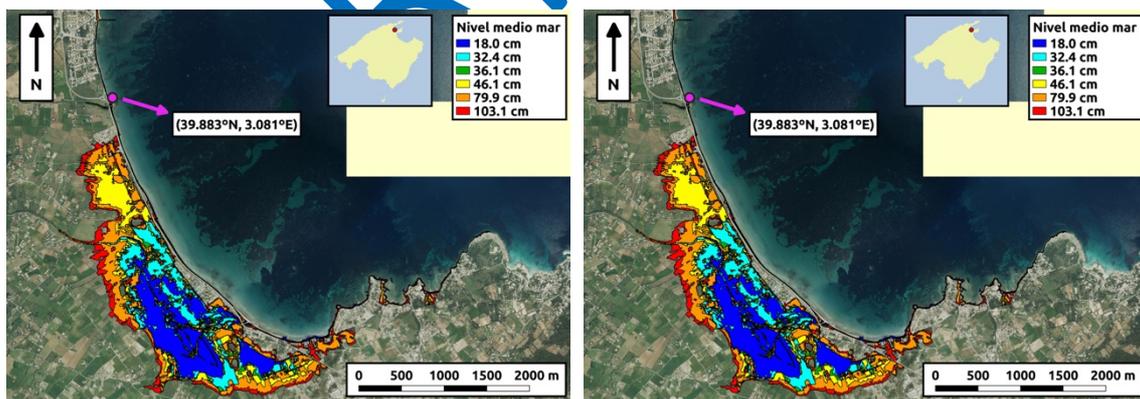


Fig. 2.20. Inundación permanente (imagen izquierda) y extrema (imagen derecha) en la mitad sur de la bahía de Pollença. Los distintos colores identifican el caso de nivel medio del mar al cual se asocian. Se incluye la localización de una playa cuya erosión se presentará más adelante.

Respecto a la inundación permanente, destaca la inundación de las calles más cercanas al mar, tanto en el Port de Pollença como en la zona de Marina (al sur de la bahía). Cabe remarcar la existencia de zonas inundadas por medio de canales angostos (zona de la Albufereta en la mitad sur de la bahía), así como pasaba con las salinas que

hay tras la playa de Es Trenc. De nuevo aparece una gran extensión de inundación asociada a los niveles más bajos de subida de nivel medio del mar (18 cm). Este efecto es análogo al caso analizado en la Albufera des Grau de Menorca.

En el caso de la Albufereta es muy remarcable el aumento de la zona inundada en su límite más septentrional. La inundación por eventos extremos tiene un gran impacto en el Port de Pollença, tanto al norte como al sur del puerto. Esta zona, por su geometría y tamaño, sería un caso ideal de estudio detallado. En el presente estudio, los puntos de referencia se encuentran a la salida de la bahía (Fig. 2.21) debido a la resolución de la batimetría y la malla de cálculo. Sin embargo, se observa que las playas del sur quedan más expuestas, mientras que las del norte están más resguardadas (por la orientación de la bahía y a la presencia de la Punta de l'Avançada), con lo que los forzamientos en la línea de costa podrían diferir y resultar en impactos distintos a los representados aquí.

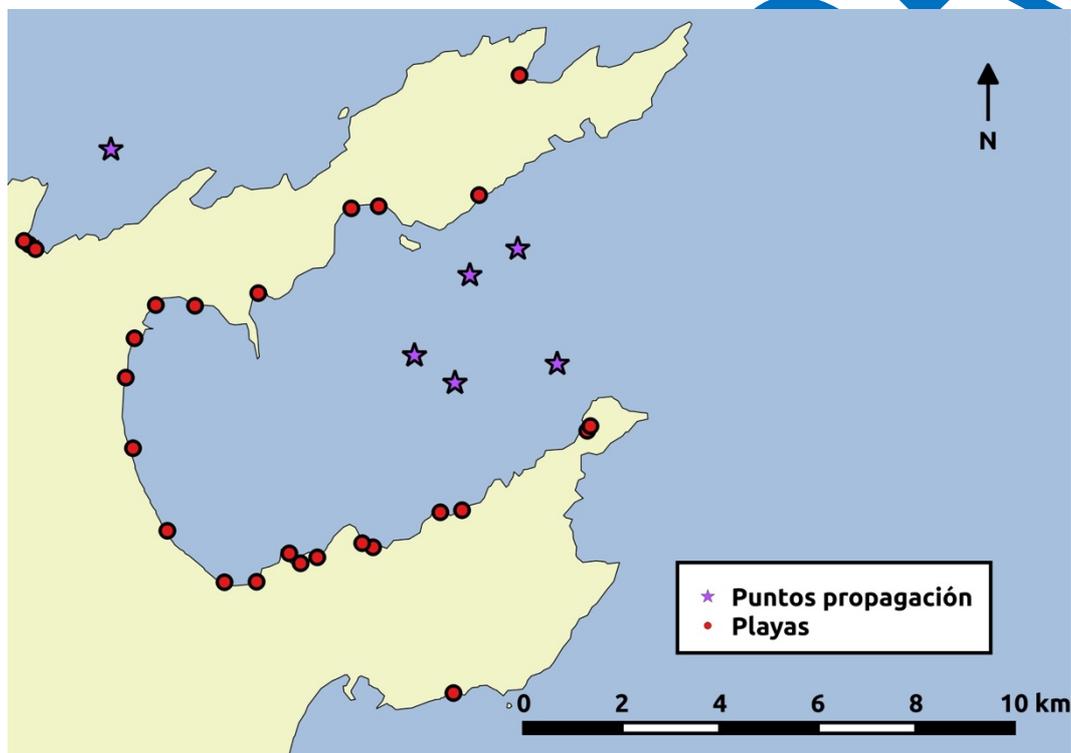


Fig. 2.21. Disposición de las playas (puntos rojos) y puntos de referencia (estrellas violeta) sobre la bahía de Pollença.

2.6 Resumen

- En este trabajo se han evaluado y cuantificado los efectos de la inundación sobre el conjunto de playas del archipiélago balear, basándose en las metodologías del estado del arte con un enfoque regional.
- Para la realización de este análisis ha sido necesario desarrollar nuevas técnicas que han permitido generar la información en los casos de estudio.
- Concretándose en:
 - Un método para la propagación de series temporales de oleaje largas (típicamente de varias décadas) mediante un submuestreo previo de estados de mar representativos. El método se basa en la ley de Green y utiliza un conjunto reducido de propagaciones para estimar el factor de dirección que ésta requiere ($F(\theta_0)$).
 - Una mejora en la formulación de Stockdon et al. (2006) para el cálculo del *setup*, que utiliza el oleaje en un punto de referencia cercano a la playa en lugar del que ocurre en aguas profundas. Esta mejora permite evitar situaciones en la formulación original en las que el oleaje de aguas profundas no llega a propagarse hasta la playa, pero para los que se da un *setup* mayor que cero.
 - Un método para calcular las zonas inundadas por la subida permanente del nivel medio del mar, que va más allá del ascenso de cota y que considera la conectividad superficial.
 - La implementación y ejecución de un modelo numérico para simular la propagación sobre tierra de un episodio extremo marino causado por la combinación de *storm surges* y oleaje.

2.7 Productos

- Una base de datos espacial en la que se facilitan las áreas inundadas de forma permanente para el sector costero asociado a la ribera de 464 playas arenosas, en función de dos horizontes temporales (2050 y 2100) y de dos escenarios de emisiones de CO₂ (RCP-4.5 y RCP-8.5); así como aquellas áreas inundadas por el evento de tormenta más adverso con un periodo de retorno de 100 años para los mismos horizontes temporales y escenarios de emisiones.
- Una base de datos espacial en la que se facilitan datos de clima marítimo, marea astronómica, ondas de tormenta, períodos de retorno, etc. para cada una de las playas caracterizadas.

BORRADOR

Evaluación de la peligrosidad: erosión de playas



3. Evaluación de la peligrosidad: erosión de playas

En este estudio, se entiende por erosión el retranqueo de la línea de costa debido a los forzamientos marinos, es decir, el efecto de la subida del nivel medio del mar, así como el efecto de las tormentas mediante *surges* y oleaje. Las playas responden a estas condiciones movilizándolo su sedimento y reconfigurándolo con una nueva distribución espacial. Tradicionalmente, se separa este transporte de sedimentos entre el que discurre a lo largo de la línea de costa (*long-shore*) y el que se mueve de forma perpendicular a la línea de costa (*cross-shore*). Aquí consideraremos sólo el transporte *cross-shore* y sus implicaciones en la evolución temporal de la línea de costa.

3.1 Modelo de erosión

Para el cálculo de la erosión se ha utilizado el modelo de evolución de línea de costa propuesto en Miller y Dean (2004). Se basa en asumir que, dados unos valores concretos para los forzamientos, cada perfil de la batimetría tiende a su configuración de equilibrio. Cuando los forzamientos cambian, el perfil de equilibrio cambia. Se asume que el perfil de equilibrio sigue el modelo de Dean y Dalrymple (1991):

$$h(y) = Ay^{2/3} \quad [\text{Ec. 8}]$$

donde $h(y)$ es la profundidad del perfil, y es la coordenada perpendicular a la línea de costa (el origen de coordenadas está sobre la línea de costa, e y crece en dirección al mar), y A es una constante a determinar que puede obtenerse como:

$$A = 0.067 w_s^{0.44} \quad [\text{Ec. 9}]$$

donde w_s es la velocidad de sedimentación de la arena. Para calcularla, se ha utilizado la relación de van Rijn (1984):

$$w_s = \begin{cases} \frac{g(s-1)}{18\nu} \left(\frac{D_{50}}{1000} \right)^2, & D_{50} < 0.1 \text{ mm} \\ \frac{10\nu}{D_{50}/1000} \left(\sqrt{1 + 0.01 \frac{g(s-1)}{\nu^2} \left(\frac{D_{50}}{1000} \right)^2} - 1 \right), & 0.1 \text{ mm} < D_{50} < 1 \text{ mm} \\ 1.1 \sqrt{g(s-1) \frac{D_{50}}{1000}}, & D_{50} > 1 \text{ mm} \end{cases} \quad [\text{Eq. 9}]$$

donde D_{50} es el calibre mediano del sedimento, g es la aceleración de la gravedad, ν es la viscosidad cinemática del agua, y s es la densidad relativa del sedimento, que se ha tomado constante e igual a 2,65.

Los forzamientos marinos generan cambios en el nivel del mar y el perfil de la playa responde hasta alcanzar de nuevo el perfil de equilibrio. Esto produce un cambio en la anchura de la playa seca que viene determinado por:

$$\Delta y_{eq}(t) = -W^*(t) \frac{0.106H_b(t) + SS(t)}{B + 2H_b(t)} \quad [\text{Eq. 11}]$$

donde H_b es la altura significativa del oleaje en el punto de rotura y SS es el *storm surge*. B es la altura de berma de la playa, y W^* es la anchura del perfil activo, la cual puede calcularse de la siguiente manera:

$$W^* = \left(\frac{h_b}{A}\right)^{3/2} = \left(\frac{H_b}{\gamma A}\right)^{3/2} \quad [\text{Eq. 12}]$$

donde h_b es la profundidad en el punto de rotura y γ es el índice de rotura (proporción entre la altura del oleaje y la profundidad en la zona de rompientes). Asumimos una profundidad de rotura constante característica para cada playa para la cual se cumple la relación de similitud del índice de rotura.

Recientemente, Toimil et al. (2017) han incluido el efecto de la marea astronómica modificando la Ec. 11 como:

$$\Delta y_{eq}(t) = -W^*(t) \frac{0.106H_b(t) + SS(t) + AT(t)}{B + 2H_b(t)} \quad [\text{Eq. 13}]$$

donde AT indica la marea astronómica. El retroceso de la línea de costa debido a la subida del nivel medio del mar (SLR) según estos autores es:

$$R_{SLR}(t) = -W^*(t) \frac{SLR}{B + h_b} \quad [\text{Eq. 14}]$$

lo que permite calcular la posición de la línea de costa que se corresponde con el perfil de equilibrio como:

$$y_{eq}(t) = y_0 + \Delta y_{eq}(t) + R_{SLR}(t) \quad [\text{Eq. 15}]$$

donde y_0 es una posición de línea de costa de referencia (la que se observa en el caso en que no haya forzamientos marinos).

Miller y Dean (2004) indican a partir de evidencias observacionales que la evolución de la línea de $y(t)$ se puede describir como:

$$\frac{dy(t)}{dt} = -k \left(y(t) - y_{eq}(t) \right) \quad [\text{Eq. 16}]$$

donde la constante k toma distintos valores en función de si la playa se está erosionando: $y > y_{eq}$ (se usa la constante k_{ero}), o está creciendo: $y < y_{eq}$ (se usa la constante k_{acc}).

Finalmente, se pueden discretizar estas ecuaciones para las fases de erosión y de crecimiento (en adelante acreción), respectivamente como:

$$y^{n+1} = \frac{y^n + K_{ero} [(y_{eq}^{n+1} - y_{eq}^n) - y^n]}{1 + K_{ero}}, \quad K_{ero} = \frac{k_{ero}\Delta t}{2} \quad [\text{Eq. 17}]$$

$$y^{n+1} = \frac{y^n + K_{acc} [(y_{eq}^{n+1} - y_{eq}^n) - y^n]}{1 + K_{acc}}, \quad K_{acc} = \frac{k_{acc}\Delta t}{2} \quad [\text{Eq. 18}]$$

3.2 Ajuste del modelo de erosión

La subida de nivel medio del mar ha sido tratada de forma determinista, interpolando las proyecciones a la resolución temporal requerida. Los datos de oleaje y *surges* se han tratado de forma estadística, ajustando un modelo autorregresivo (AR) a cada serie de datos para luego generar series sintéticas que tengan las mismas propiedades estadísticas que las series originales.

La serie temporal de *surges* que se ha usado para cada playa es la misma que para el modelado de la inundación. Para el oleaje, se ha utilizado la ley de Green [Ec. 2] con un factor de dirección unitario ($F(\theta_0) = 1$) para propagar las cuatro series de datos desde el punto de referencia hasta la profundidad de rotura de la playa. Se ha definido la serie de alturas de ola de rotura como el máximo instantáneo de estas cuatro series propagadas.

El ajuste de la profundidad de rotura y constantes de erosión y acreción se ha realizado a partir de los datos de la posición de la línea de costa en la playa de Son Bou (Menorca), los cuales han sido obtenidos mediante los productos de videomonitorización costera del SOCIB y tal como se ha desarrollado previamente para dicha playa en el artículo científico de Enríquez et al. (2019).

Se dispone de puntos de coordenadas UTM que conforman la línea de costa de la playa, en intervalos de 15 días entre los años 2013 y 2016. A partir de las series de oleaje, *surges* y marea astronómica (se toman los datos del mareógrafo de Maó) para esos años se han ajustado la profundidad de rotura, así como las constantes de acreción y erosión para que la línea de costa que predice el modelo de Miller y Dean (2004) se asemeje lo máximo posible a la evolución de la línea de costa que describen los datos de las cámaras de vídeo.

Se minimiza una función de coste basada en el error cuadrático entre las medidas y la serie modelada interpolada a las mismas fechas, con unos términos extra que añaden un coste muy alto si los parámetros se salen del rango de parámetros posibles. Se definen estos rangos a partir de los que listan (Miller y Dean, 2004) como resultado del análisis de diversas playas. El resultado de la optimización devuelve una constante de erosión de $2,39 \cdot 10^{-2} \text{h}^{-1}$, una constante de acreción de $2,25 \cdot 10^{-3} \text{h}^{-1}$ y una profundidad de rotura de 63 cm. Los resultados se muestran en la Fig. 3.01.

Para definir la profundidad de rotura en cada playa se utiliza un criterio de similitud del oleaje. En concreto, se propaga el oleaje hasta un conjunto de profundidades candidatas a ser la profundidad de rotura, utilizando la ley de Green con factor de dirección unitario. Seguidamente, se calcula un estadístico (definido más adelante) sobre estas series de oleaje, que devuelvan un valor característico del oleaje a cada una de estas profundidades. Se calcula el índice de rotura γ , como el cociente entre los valores característicos de altura de ola y su profundidad correspondiente. Finalmente, se escoge

la profundidad que arroja un índice de rotura lo más cercano al índice de rotura que se ha marcado como definitorio de la misma. Las dos métricas que hay que definir son, por tanto, el estadístico que represente un valor característico del oleaje y el valor del índice de rotura.



Fig. 3.01. Evolución de la posición media de la línea de costa en Son Bou respecto a una referencia, según los datos obtenidos de las cámaras de video del SOCIB (verde) y el modelo de Miller y Dean (2004) optimizado, con los valores $k_{ero} = 2,39 \cdot 10^{-2} h^{-1}$, $k_{acc} = 2,25 \cdot 10^{-3} h^{-1}$ y $h_b = 63 \text{cm}$ (en rojo).

Los valores para el índice de rotura en la literatura (para H_s) oscilan entre 0,5 y 1,15. El grueso de la bibliografía utiliza un valor dentro del rango 0,71 – 0,78. Sin embargo, algunos autores y el US Corps of Engineers consideran 0,6 (Thornton y Guza, 1983; Smith, 1993 y el Informe Asturias–IH usa 0,55 (Toimil et al., 2017). En consecuencia, se proponen una serie de estadísticos, para ver qué valor arrojan para el índice de rotura (γ) utilizando el oleaje de Son Bou y una profundidad de rotura de 63 cm. Se decide utilizar los percentiles de la serie de altura de ola como estadísticos. Siendo el que mejor se ajusta a los intereses del estudio el percentil 70 como estadístico para caracterizar la serie de oleaje, y un valor de 0,71 para el índice de rotura (γ). Se presentan los resultados en la Fig. 3.02.

En resumen, para calcular la erosión sobre el conjunto de playas del estudio se utiliza una constante de erosión (k_{ero}) igual a $2,39 \cdot 10^{-2} h^{-1}$ y una constante de acreción (k_{acc}) igual a $2,25 \cdot 10^{-3} h^{-1}$. La profundidad de rotura se calcula en cada playa como la que devuelve un índice de rotura (γ) lo más cercano a 0,71, de entre todos los calculados a distintas profundidades, utilizando el percentil 70 de la serie de datos del oleaje para obtener el valor característico de dicha serie.

3.3 Análisis de la erosión

El cálculo de la erosión se realiza con una aproximación probabilística: se han generado 500 series sintéticas tanto de oleaje en la zona de rotura como de *surges*, que son estadísticamente consistentes con las series originales pero que tienen cronologías diferentes. Cada una de las series sintéticas tiene la misma resolución temporal (3 horas)

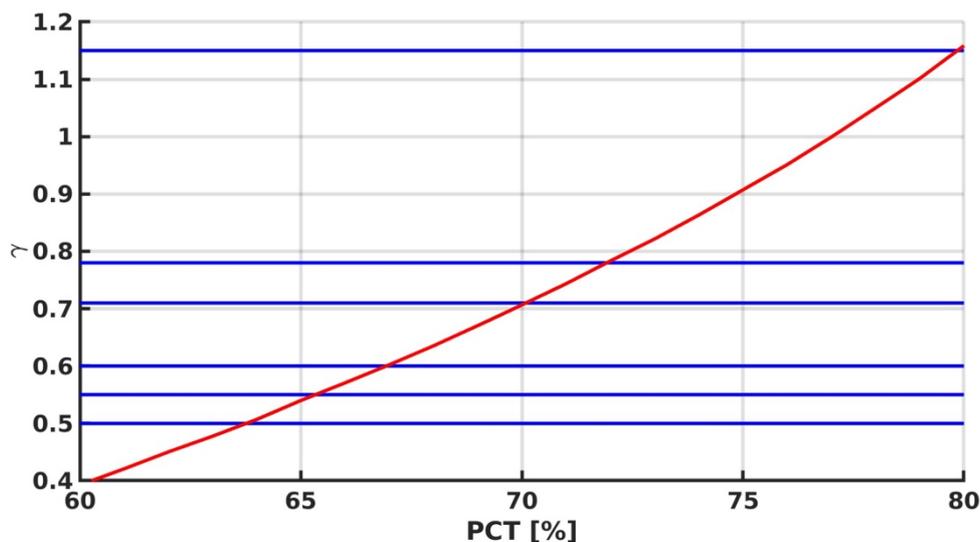


Fig. 3.02. Índice de rotura calculado usando distintos percentiles como estadísticos para definir el valor característico de la serie de oleaje (en rojo). Distintos valores y rangos típicos de γ descritos en la literatura (en negro, véase el texto principal). La serie de oleaje utilizada es la que corresponde a la playa de Son Bot, propagada a una profundidad de 63 cm.

y una duración de 80 años (para poder cubrir el intervalo de tiempo entre los años 2020 y 2100). El método de generación, que se basa en un modelo autorregresivo de orden 4 aplicado estacionalmente, se describe en detalle en el Apéndice A. Es importante recalcar que las series sintéticas obtenidas son perfectamente consistentes con las series originales, de forma que pueden utilizarse junto con la subida del nivel medio del mar para dar una estimación promedio de la erosión de cada playa, utilizando el modelo de erosión descrito.

En Illes Balears la línea de costa oficial es estrictamente una línea cartográfica sin consideración alguna sobre su dinamismo o variación. Se asume que la posición inicial de la línea de costa es la de referencia (y_0) data en la cartografía 1:5000 de SITIBSA. Puesto que Gómez-Pujol *et al.* (2019) a partir de ortofotografía para el período 2002–2012, concluyen que para el conjunto de playas de las Illes Balears, exceptuando algunos pocos casos particulares, la mayoría de ellas se encuentran en equilibrio o con intervalos de erosión o acreción tan cercanos al error metodológico que no puede concluirse que exista una tendencia evolutiva sólida del desplazamiento de la línea de costa. Las 500 series de erosión se obtienen considerando la distribución probabilística de los forzamientos y se asume que las series de erosión siguen la distribución probabilística de la recesión esperable. Así pues, se utilizan como muestra estadística, asumiendo que los estadísticos que se calculen de la muestra son representativos de la evolución esperable en cada playa.

Los escenarios de aumento de nivel del mar considerados han sido cuatro, en concordancia con los utilizados en el estudio de inundación (vid. sección 2): los márgenes inferior y superior del intervalo de la confianza para la subida del nivel medio del mar que plantea el RCP-4.5 y los márgenes inferior y superior del intervalo de la confianza para la subida del nivel medio del mar que plantea el RCP-8.5. Para facilitar la lectura de los resultados del análisis, se ha medido el ancho de cada playa mediante transectos entre

la línea de costa y el final de la playa. De esta manera, se han guardado los resultados como series temporales de la evolución de los anchos medios y superficie de cada playa, en lugar de utilizar la posición de la línea de costa como descriptor.

3.4 Ejemplos de resultados

Se presentan los resultados del análisis de la erosión para cuatro playas, localizadas dentro de las zonas de inundación cuyos resultados han sido mostrados con anterioridad. En concreto, las playas de es Grau (Fig. 3.03), Talamanca (Fig. 3.04), Es Trenc (Fig. 3.05) y Can Cullerassa (Figuras Fig. 3.06).

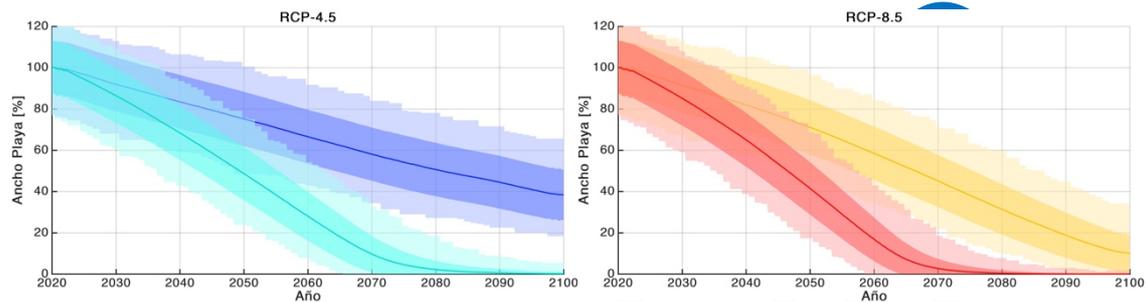


Fig. 3.03. Evolución del ancho de la playa a la entrada de la Albufera de es Grau (localización marcada con un punto en la Figura 2.06), relativo al ancho actual, a lo largo del siglo XXI para el escenario RCP4.5 (panel izquierdo) y RCP8.5 (panel derecho). En cada panel se muestran dos grupos compuestos por una línea central y dos áreas sombreadas. El grupo superior se corresponde con el límite inferior del intervalo de confianza del escenario de subida del nivel medio del mar considerado, y el grupo inferior con el límite superior. En cada grupo, la línea indica la media de las series ancho de playa, suavizada usando una media móvil con ventana de 5 años, siguiendo la evolución del nivel medio del mar. También se representa el intervalo de una desviación estándar para dicho caso, promediado usando una media móvil con ventana de 5 años y un máximo móvil con ventana de 5 años (áreas sombreadas más estrechas y más anchas, respectivamente).

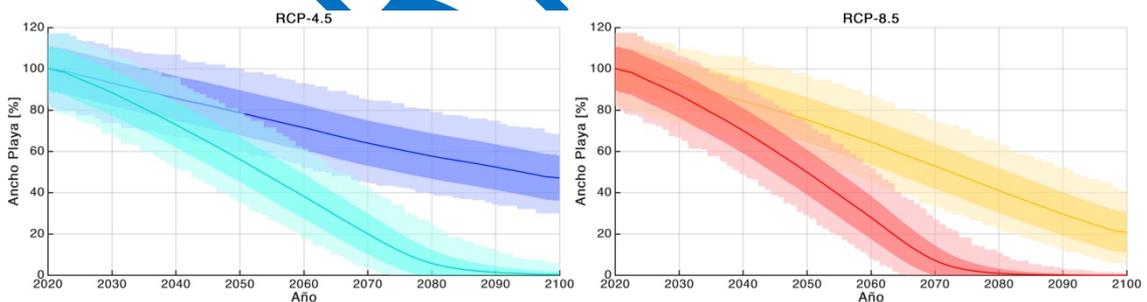


Fig. 3.04. Evolución del ancho de la playa en Cala Talamanca (localización marcada con un punto en la Fig. 2.07), relativo al ancho actual, a lo largo del siglo XXI para el escenario RCP4.5 (panel izquierdo) y RCP8.5 (panel derecho). En cada panel se muestran dos grupos compuestos por una línea central y dos áreas sombreadas. El grupo superior se corresponde con el límite inferior del intervalo de confianza del escenario de subida del nivel medio del mar considerado, y el grupo inferior con el límite superior. En cada grupo, la línea indica la media de las series ancho de playa, suavizada usando una media móvil con ventana de 5 años, siguiendo la evolución del nivel medio del mar. También se representa el intervalo de una desviación estándar para dicho caso, promediado usando una media móvil con ventana de 5 años y un máximo móvil con ventana de 5 años (áreas sombreadas más estrechas y más anchas, respectivamente).

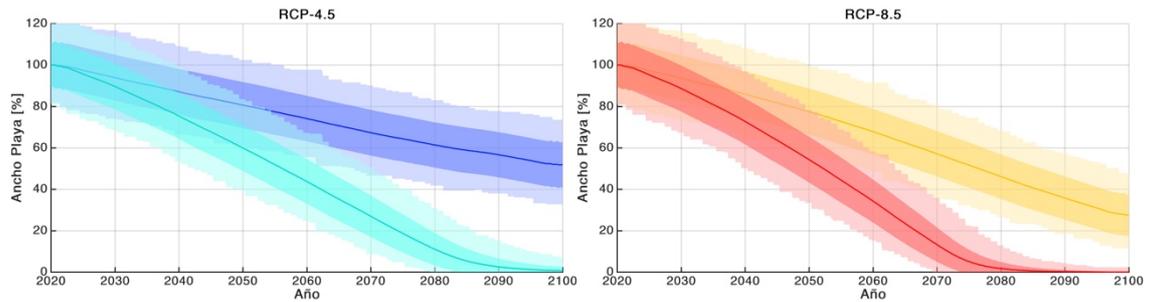


Fig. 3.05. Evolución del ancho de la playa de Es Trenc (localización marcada con un punto en las Fig. 2.08.), relativo al ancho actual, a lo largo del siglo XXI para el escenario RCP4.5 (panel izquierdo) y RCP8.5 (panel derecho). En cada panel se muestran dos grupos compuestos por una línea central y dos áreas sombreadas. El grupo superior se corresponde con el límite inferior del intervalo de confianza del escenario de subida del nivel medio del mar considerado, y el grupo inferior con el límite superior. En cada grupo, la línea indica la media de las series ancho de playa, suavizada usando una media móvil con ventana de 5 años, siguiendo la evolución del nivel medio del mar. También se representa el intervalo de una desviación estándar para dicho caso, promediado usando una media móvil con ventana de 5 años y un máximo móvil con ventana de 5 años (áreas sombreadas más estrechas y más anchas, respectivamente).

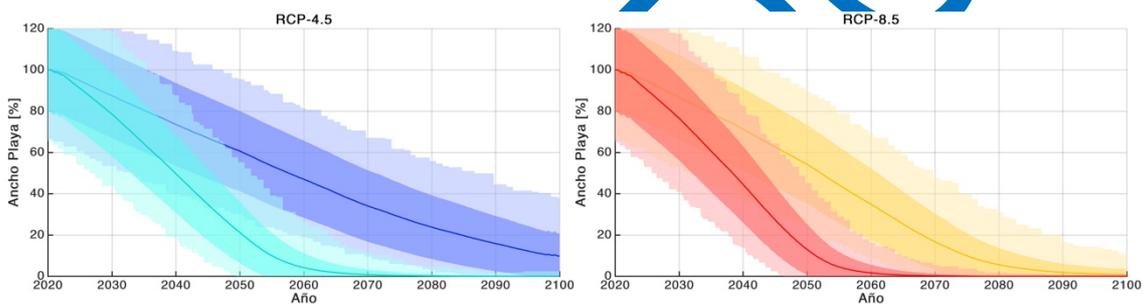


Fig. 3.06. Evolución del ancho de la playa de Can Cullerasa (localización marcada con un punto en las Figura 19.), relativo al ancho actual, a lo largo del siglo XXI para el escenario RCP4.5 (panel izquierdo) y RCP8.5 (panel derecho). En cada panel se muestran dos grupos compuestos por una línea central y dos áreas sombreadas. El grupo superior se corresponde con el límite inferior del intervalo de confianza del escenario de subida del nivel medio del mar considerado, y el grupo inferior con el límite superior. En cada grupo, la línea indica la media de las series ancho de playa, suavizada usando una media móvil con ventana de 5 años, siguiendo la evolución del nivel medio del mar. También se representa el intervalo de una desviación estándar para dicho caso, promediado usando una media móvil con ventana de 5 años y un máximo móvil con ventana de 5 años (áreas sombreadas más estrechas y más anchas, respectivamente).

Los resultados de la evolución del ancho de la playa debido a la erosión muestran una regresión importante en todos los ejemplos. Las diferencias entre playas provienen de dos elementos: la intensidad del oleaje y las *surges*, que afectan a la intensidad en los cambios eventuales y estacionales en la posición de la línea de costa en las playas, así como a la incertidumbre que se tiene en las predicciones sobre esta posición; y el ancho de cada playa, que condiciona cuánto puede retroceder la línea de costa antes de llegar a terreno consolidado. Nótese como la evolución de todas las playas presenta una posición estacionaria hacia final de siglo, según la evolución descrita por el RCP8.5, excepto para el caso de Es Trenc (Fig. 3.05), que presenta un ancho de playa especialmente grande.

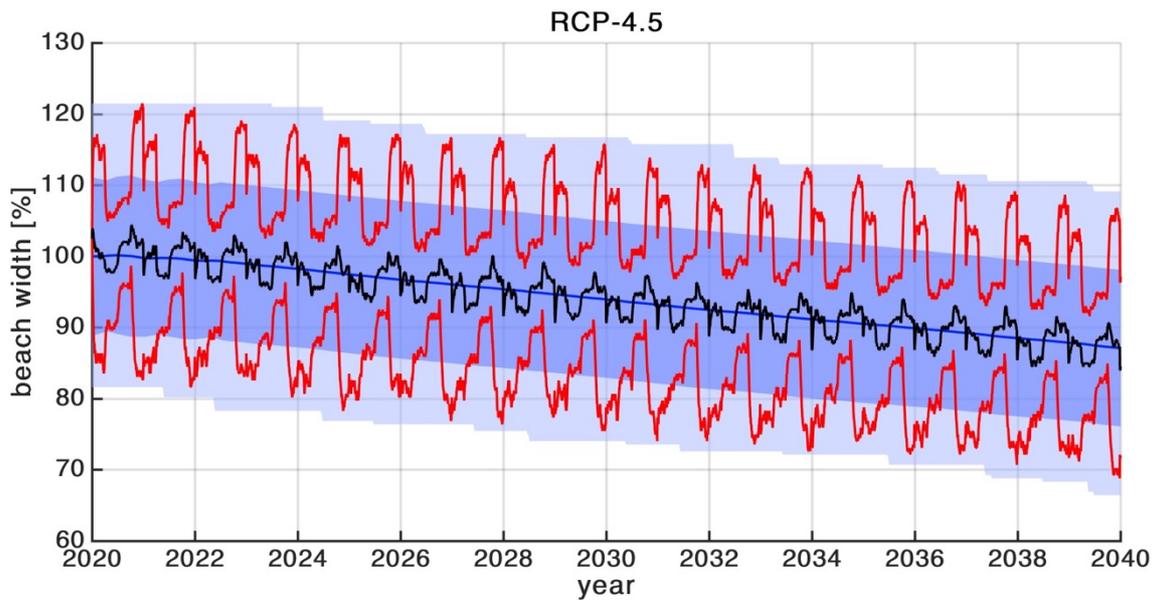


Fig. 3.07. Evolución del ancho de la playa de Es Trenc (localización marcada con un punto en las Figuras 17) entre los años 2020 y 2040. Media de las series ancho de playa siguiendo la evolución del nivel medio del mar del límite inferior del intervalo de confianza del escenario de subida del nivel medio del mar RCP4.5 (línea negra), y el intervalo de una desviación estándar asociado (líneas rojas). Nótese que estas líneas no han sido suavizadas temporalmente. También se muestran el promedio temporal de la media (línea azul), el promedio temporal del intervalo de una desviación estándar (área sombreada en azul oscuro) y el máximo temporal del intervalo de una desviación estándar (área sombreada en azul claro); todos considerando una ventana temporal de 5 años.

Aunque no se muestra en las figuras debido al suavizado, los resultados de la erosión tienen una alta componente estacional, asociada a la de los forzamientos. Este comportamiento se ilustra en la Fig. 3.07 donde se representa una salida directa del modelo de erosión junto a su versión suavizada.

3.5 Resumen

- En este trabajo se han evaluado y cuantificado los efectos de la inundación y la erosión sobre 163 de playas del archipiélago balear, basándose en las metodologías del estado del arte con un enfoque regional. Concretándose en:
 - Un método para generar series temporales de oleaje y *surges* sintéticas, mediante modelado autorregresivo, que permite capturar los cambios estacionales en las series originales.
 - Un método para la determinación probabilística del ancho medio y la superficie de las playas a partir de un método de calibrado con datos morfológicos y de oleaje de alta frecuencia de las playas que monitoriza el SOCIB.

3.6 Productos

- Un producto consistente en una base de datos en la que se facilitan la reducción del ancho medio y de la superficie de 163 playas arenosa en términos absolutos y relativos, en función de dos horizontes temporales (2050 y 2100) y de dos escenarios de emisiones de CO₂ (RCP-4.5 y RCP-8.5).
- Una base de datos espacial en la que se facilitan datos de calibre, pendiente del *foreshore* y altura de berma para las playas caracterizadas.

BORRADOR

Evaluación de la exposición y de la vulnerabilidad



4. Evaluación de la exposición y de la vulnerabilidad

4.1 Introducción y consideraciones preliminares

En el presente apartado de la memoria se presentan los resultados de la exposición referentes a la localización de personas, bienes económicos, medios de vida y de producción, servicios ambientales, recursos, patrimonio histórico y cultural, etc. de las zonas que quedarán afectadas de forma permanente o ocasional según los resultados de inundación costera derivados en los apartados 2 y 3 relativos a los escenarios climáticos IPCC de emisiones RCP-4.5 y RCP-8.5 y los horizontes temporales de 2050 y 2100.

La aproximación metodológica para alcanzar a determinar el impacto de la inundación costera ha consistido en el cruce de capas de información espacial de procedencia y escala diversas –de las que se dará debida cuenta en cada uno de los apartados correspondientes– con las capas espaciales de las áreas inundadas para cada uno de los horizontes temporales y escenario climático IPCC.

Siguiendo el marco metodológico descrito en la Sección 1 e ilustrado en la Fig. 01., la evaluación del riesgo se centra en determinar el alcance del riesgo sobre las variables población, edificaciones, infraestructuras críticas, suelo residencial, suelo agrícola, suelo dedicado a actividades de servicios, hoteles, espacios naturales protegidos y sobre el recurso ambiental de las playas.

Con el objeto de caracterizar la incertidumbre asociada a las aproximaciones y lo que implica en términos de exposición, para cada combinación de horizonte temporal y escenario climático IPCC se facilitan el impacto asociado tanto al mínimo valor de ascenso del nivel medio del mar, como el máximo, sobre cada variable, y lo que implica espacialmente en términos de inundación permanente. Por otro lado sobre las nuevas líneas de costa generadas (vid. Sección 2) para cada uno de los rangos de ascenso del nivel del mar, se evalúa el impacto del evento extremo (generado por la acción conjunta de ondas de tormenta y oleaje) más adverso con un periodo de retorno de 100 años. A efectos prácticos, la aproximación se traduce en que para cada horizonte temporal y para cada escenario IPCC se ofrecerá un mínimo de cuatro productos:

- Capa de atributos inundados permanentemente asociados al valor mínimo de ascenso del nivel medio del mar para un horizonte temporal y para un escenario IPCC.
- Capa de atributos inundados eventualmente por el evento extremo con un periodo de retorno de 100 años sobre la línea de costa asociada al valor mínimo de ascenso del nivel medio del mar para un horizonte temporal y para un escenario IPCC.
- Capa de atributos inundados permanentemente asociados al valor máximo de ascenso del nivel medio del mar para un horizonte temporal y para un escenario IPCC.

-
- Capa de atributos inundados eventualmente por el evento extremo con un periodo de retorno de 100 años sobre la línea de costa asociada al valor máximo de ascenso del nivel medio del mar para un horizonte temporal y para un escenario IPCC.

En la sección 2.3 se advertía que las diferencias para el horizonte temporal 2050 entre los escenarios RCP-4.5 y RCP-8.5 (Tabla 2.04) son de apenas 1,5 cm para el rango de mínimos y de 3 cm para el de máximos, la cercanía temporal del escenario y el hecho ya constatado en anteriores informes del IPCC que a corto plazo se han alcanzado las previsiones más adversas en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, justifica que para el presente apartado solo se tomarán en consideración las capas de inundación resultantes de la modelización del clima marino y regionalización del ascenso del nivel del mar siguientes:

- Horizonte temporal 2050: escenario RCP-8.5
- Horizonte temporal 2100: escenario RCP-4.5 y RCP-8.5

A lo anterior hay que añadir una consideración de carácter preliminar. El objetivo último de este documento es proporcionar indicadores para el desarrollo de la planificación estratégica, así no se considera relevante introducir escenarios socioeconómicos diferentes al actual. La razón por la que se asume tal aproximación es que difícilmente se pueden considerar realistas los escenarios socioeconómicos de gran escala en una comunidad como las Illes Balears, que, en el momento actual tiene sobre la mesa el debate a propósito de la descongestión turística y el cambio de modelo productivo; o que en la misma línea, las últimas crisis económicas y sanitarias han implicado cambios importantes en la respuesta demográfica que se escaparían a las aproximaciones generadas a tal efecto en el Informe Asturias-IH. Por todo ello, parece más realista y adecuado en términos de evaluación de daños tomar como referencia lo que supondría en términos de impacto sus efectos sobre la realidad territorial y socio-económica actual, para cada horizonte temporal y escenario climático. Más aún cuando en el ámbito de les Illes Balears no se dispone de un consenso sobre los límites de crecimiento previstos en la ordenación urbanística o las planificaciones sectoriales. Dicha aproximación, que toma como referencia la configuración territorial y socioeconómica actual (2019), cumple con el objetivo de orientar al gestor con las herramientas que le permitan detectar que elementos se verán más seriamente perjudicados, a la vez que dispondrá de sus dimensiones espaciales que le permitirán adoptar estrategias de adaptación y/o mitigación en determinados municipios o localidades específicas (Tabla 4.01).

A partir de la información geográfica disponible en las infraestructuras de datos espaciales oficiales o aquellas facilitadas por la propia administración, cada atributo bajo consideración (p.e. población, suelo industrial, hoteles, etc.) ha sido cruzado con la capa de los diferentes escenarios de inundación en el marco de un sistema de información geográfica (Fig. 4.01). Una vez delimitadas las áreas, longitud o localización de cada atributo que se inundan permanente o temporalmente, éstas se cruzan con la capa de los polígonos del contorno de los municipios, de manera que se genera una nueva capa

con las zonas afectadas asociadas a cada municipio. Así, automáticamente, resultan nuevos productos en forma de mapas y tablas en los que se regionaliza a nivel municipal la exposición frente al evento adverso. El fin último, poder ofrecer una cartografía y base de datos municipal en relación a la exposición y vulnerabilidad frente al riesgo costero de ascenso del nivel medio del mar, puesto que la mayoría de la información socioeconómica, tan solo se ofrece –en el mejor de los casos– desagregada a nivel municipal.

Tabla 4.01. Escenarios de ascenso del nivel del mar y socioeconómicos propuestos.

Escenario	Horizonte temporal	Ascenso nivel del mar y régimen extremal	Asunciones socioeconómicas
Escenario 1	2050	Subida del nivel marino de 18 cm (RCP-8.5) + cota de inundación evento con periodo de retorno 100 años	Se tienen en cuentas las características socioeconómicas actuales
Escenario 2	2050	Subida del nivel marino de 36,1 cm (RCP-8.5) + cota de inundación evento con periodo de retorno 100 años	Se tienen en cuentas las características socioeconómicas actuales
Escenario 3	2100	Subida del nivel marino de 32,4 cm (RCP-4.5) + cota de inundación evento con periodo de retorno 100 años	Se tienen en cuentas las características socioeconómicas actuales
Escenario 4	2100	Subida del nivel marino de 79,9 cm (RCP-4.5) + cota de inundación evento con periodo de retorno 100 años	Se tienen en cuentas las características socioeconómicas actuales
Escenario 5	2100	Subida del nivel marino de 46,1 cm (RCP-8.5) + cota de inundación evento con periodo de retorno 100 años	Se tienen en cuentas las características socioeconómicas actuales
Escenario 6	2100	Subida del nivel marino de 103,1 cm (RCP-8.5) + cota de inundación evento con periodo de retorno 100 años	Se tienen en cuentas las características socioeconómicas actuales

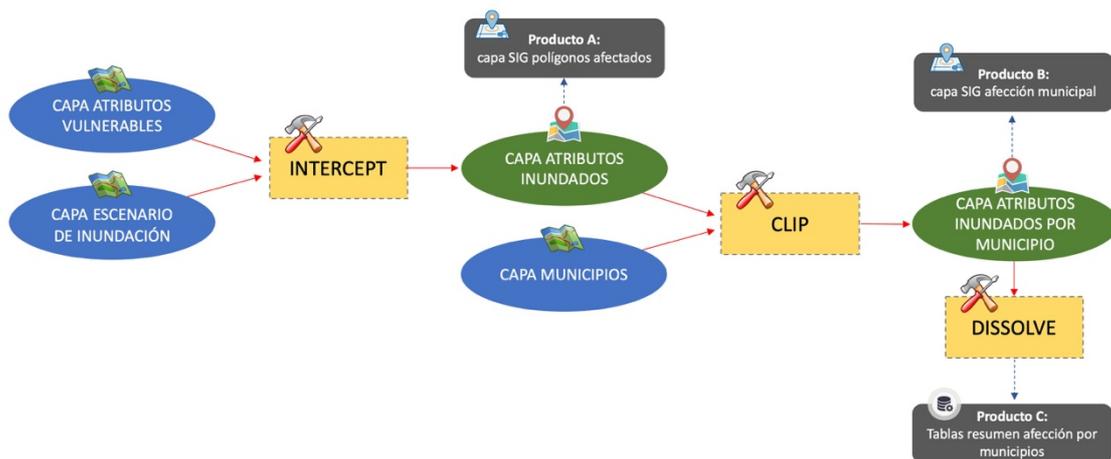


Fig. 4.01. Aproximación metodológica desarrollada en la evaluación de la exposición en la costa ante el cambio climático en el ámbito de la comunidad autónoma de las Illes Balears.

4.2 Superficie inundada

La variable superficie inundada refiere al área inundada para cada uno de los horizontes temporales, escenarios y tipología de inundación.

4.2.1 Materiales y método

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario climático y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo. Dichas capas se han cruzado con la capa oficial de los polígonos municipales (IDEIB) de manera que todas las partes de un polígono de zona inundada que pertenecen a un municipio incorporan una etiqueta con el campo municipal. Finalmente, mediante una herramienta de disolución dicha capa acaba agregando la superficie para cada horizonte temporal, escenario, inundación permanente e inundación extremal, por municipio.

4.2.2 Resultados

Los resultados se presentan en las Tablas 4.02, 4.03 y 4.04; así como en las Figs. 4.02, 4.03 y 4.04. Debe recalarse que en las figuras en las que se facilita la inundación asociada al evento extremo (paneles inferiores de las figuras), solo se contabiliza y representa la superficie afectada temporalmente (acción de ondas de tormenta y oleajes más adversos asociados a un temporal con periodo de retorno 100 años) ligadas a cada escenario de ascenso del nivel medio del mar.

Tabla 4.02. Superficie (ha) mínima y máxima inundada por isla de forma permanente para cada horizonte temporal y escenario climático.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	327,77	697,84	643,99	1915,79	886,79	2573,31
Menorca	18,04	49,63	45,69	119,00	63,56	169,17
Eivissa	5,23	20,27	15,55	515,13	31,54	572,51
Formentera	36,94	65,06	50,81	114,10	70,72	150,28
Illes Balears	387,98	832,79	756,04	2664,03	1052,61	3465,27

Tabla 4.03. Superficie (ha) mínima y máxima inundada por isla de forma eventual asociada al extremo más adverso para cada horizonte temporal y escenario climático.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	52,04	81,08	78,95	148,72	104,56	242,47
Menorca	31,64	37,23	36,53	60,54	49,40	61,82
Eivissa	37,21	20,27	65,22	65,22	172,67	61,18
Formentera	67,54	65,06	77,18	77,18	77,26	97,19
Illes Balears	188,43	203,63	257,88	351,66	403,89	462,66

El impacto en términos de superficie afectada es relativamente leve hasta niveles de ascenso del mar cercanos a los 40 cm, a partir de los cuales se observa un salto brusco en la superficie inundada de forma permanente, aunque no tanto en la ligada a los eventos extremos. En 2050, para el conjunto de las Illes Balears la superficie en el peor de los casos alcanzaría 833 ha, mientras que en 2100, aún reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-4.5) las condiciones más adversas dejarían expuestas 2.664 ha. En caso de mantener el ritmo actual de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-85) las condiciones más adversas afectarían a 4.465 ha. En el peor de los casos, a final del presente siglo, la superficie expuesta a los eventos extremos se queda en un rango entre las 352 y las 463 ha.

Tabla 4.04. Superficie municipal (ha) mínima y máxima inundada por municipio de forma permanente para cada horizonte temporal y el escenario climático.

Municipio	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Alaior	0,08	0,40	0,33	1,72	0,79	9,40
Allcúdia	2,50	146,96	130,48	377,76	186,25	468,68
Andratx	0,00	0,10	0,07	0,62	0,16	0,89
Artà	0,07	1,04	0,80	2,77	1,20	8,78
Calvià	0,02	3,17	2,15	7,94	3,13	12,00
Campos	0,00	1,87	1,58	292,44	2,44	404,40
Capdepera	0,10	0,35	0,23	0,97	0,35	3,78
Ciutadella Me.	0,43	1,19	1,00	4,53	1,79	9,93
Eivissa	0,51	1,05	0,78	23,49	1,35	34,01
Es Mercadal	6,27	21,82	19,46	41,09	26,98	51,04
Es Migjorn Gran	0,03	0,14	0,10	0,87	0,21	5,72
Felanitx	0,10	0,31	0,22	0,66	0,32	1,01
Ferrieres	0,17	0,46	0,41	3,00	0,60	6,89
Formentera	36,94	65,06	50,81	114,10	70,72	150,28
Llucmajor	0,00	0,43	0,28	3,66	0,96	4,97
Manacor	0,18	0,79	0,58	3,02	0,72	6,12
Maó	10,91	25,39	24,19	67,06	32,87	85,09
Muro	288,58	468,94	439,32	988,99	577,93	1275,84
Palma	0,00	4,55	4,25	19,87	5,79	27,09
Pollença	0,03	4,11	3,59	54,22	27,12	74,14
Sa Pobla	35,44	56,80	54,17	131,54	71,29	208,50
St. Antoni Port.	0,30	0,70	0,44	2,17	0,80	2,63
St. Joan Labritja	1,08	1,82	1,48	3,24	1,98	4,22
St Josep Talaia	1,72	13,57	10,59	475,71	24,04	515,19
St. Llorenç Card.	0,06	0,97	0,63	2,79	0,89	5,33
Sant Lluís	0,15	0,22	0,19	0,73	0,32	1,10
Sta. Eulària Riu	1,62	3,12	2,25	10,53	3,38	16,46
Santa Margalida	0,29	2,75	1,97	12,41	2,89	21,64
Santanyi	0,15	1,26	0,96	8,37	1,43	12,76
Ses Salines	0,00	2,05	1,73	3,80	2,46	31,44
Sóller	0,00	0,54	0,50	1,71	0,74	2,39
Son Servera	0,26	0,85	0,47	2,26	0,75	3,55

Los municipios que acusan más el efecto del ascenso del nivel marino son aquellos en los que su fisiografía se caracteriza por un relieve bajo y plano. Las zonas de la Albufereta y la Albufera de Mallorca, en los municipios de Pollença, Alcúdia, Muro y Sa Pobla; es Salobrar en Campos; el Estany des Peix y el Estany Pudent en Formentera, así como el conjunto de playas que constituyen la avanzada hacia su extremo septentrional; o las zonas en la isla de Eivissa de las Salines-Es Codolar en Sant Antoni o Ses Feixes en Vila, justifican que dichos municipios encabecen el listado de las zonas más expuestas al efecto del ascenso del nivel marino. En Menorca, el impacto es mucho menor, aunque municipios como Fornells o Maó, dadas las zonas deprimidas que acogen también se ven afectadas en menor intensidad.

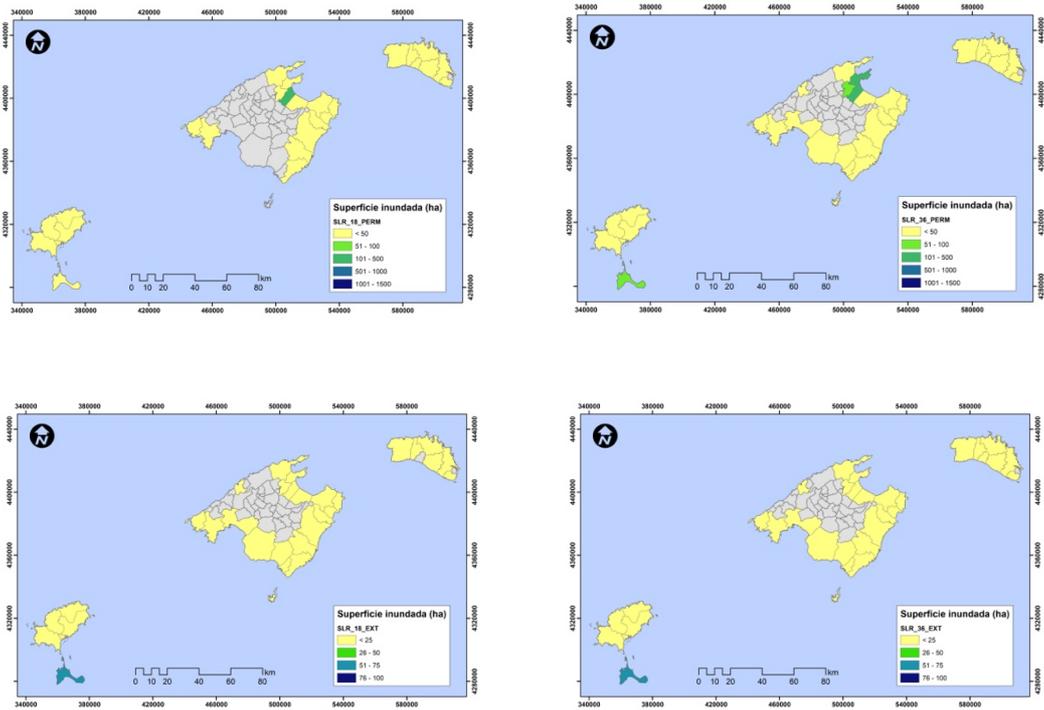


Fig. 4.02. Superficie mínima (izquierda) y máxima (derecha) inundada por municipio de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) para el horizonte temporal 2050 y el escenario IPCC RCP-8.5.

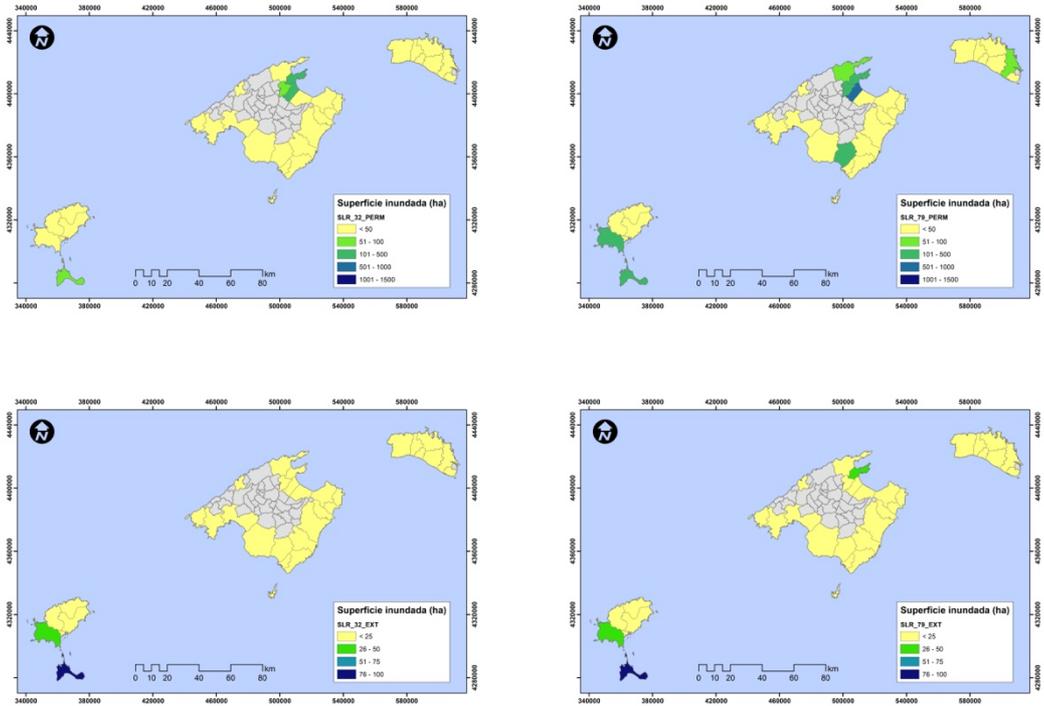


Fig. 4.03. Superficie mínima (izquierda) y máxima (derecha) inundada por municipio de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-4.5.

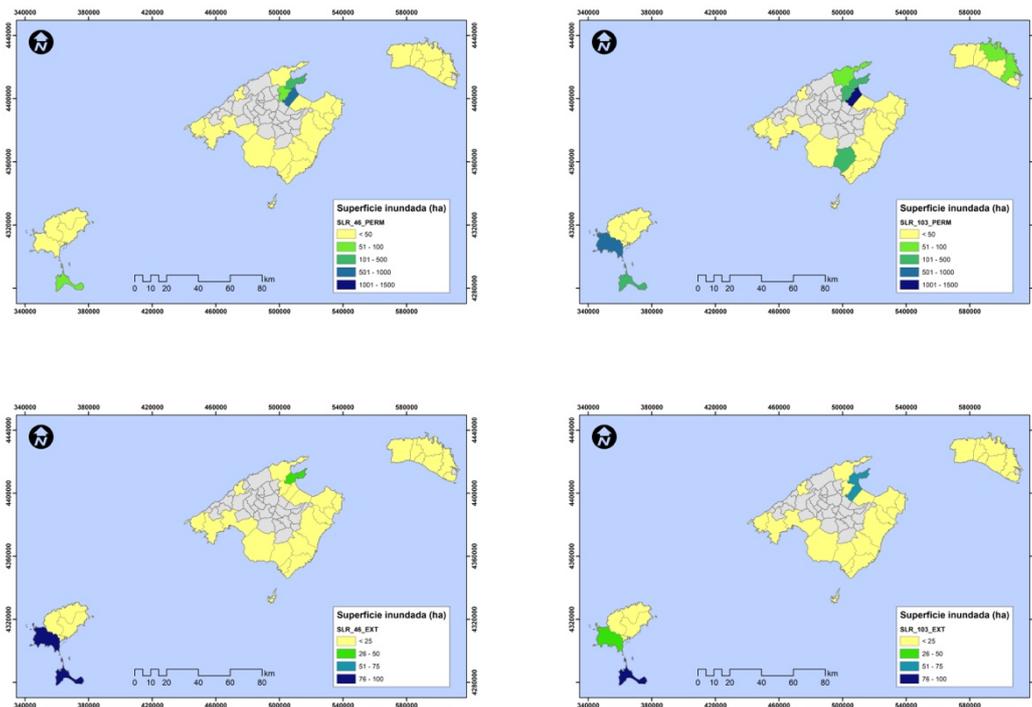


Fig. 4.04. Superficie mínima (izquierda) y máxima (derecha) inundada por municipio de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-8.5.

4.3 Población

La variable población refiere al número de habitantes afectados para cada uno de los horizontes temporales, escenarios climáticos y tipología de inundación (permanente o extremal). No se trata ni de la población de derecho, ni de la población *de facto* de los espacios inundados, ya que actualmente para las Illes Balears no se cuenta con ningún producto de cartografía espacial que recoja el número de habitantes por parcela y referencia catastral de urbana y/o de rústica. En el mejor de los casos las fuentes oficiales ofrecen datos referenciados a los distritos censales, pero éstos tienen dimensiones variables entre municipios costeros y entre zonas urbanas y zonas rurales. Por todo ello se tomó como referencia la Capa Global de Asentamientos Humanos (GHSL) del JRC de la Unión Europea. La versión más actualizada de dicho producto data de 2019 (Florczyk et al., 2019) y consiste en una capa de información ráster con una dimensión de celda de 250 m x 250 m, para la que se facilita el número de habitantes por celda para 2015 a partir de un algoritmo que entre otros analiza diferentes imágenes de satélite nocturnas, con correcciones asociadas a los datos censales y puntos de control (vid. Corbane et al., 2018 y 2019).

4.3.1 Materiales y método

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo. Dichas capas se han cruzado primero con el recorte del

GHSL_2015 sobre Baleares. La capa resultante se ha cruzado con la capa oficial de los polígonos de las superficies municipales (IDEIB) de manera que todas las partes de un polígono de zona inundada y la población afectada que caen dentro de un municipio incorporan una etiqueta con el campo municipal. Finalmente, mediante una herramienta de disolución, dicha capa mediante una herramienta de disolución acaba ofreciendo, por municipio, los datos agregados para cada horizonte temporal, escenario climático, inundación permanente e inundación extremal.

4.3.2 Resultados

Los resultados se presentan en las Tablas 4.05, 4.06 y 4.07 y en las Figs. 4.05, 4.06 y 4.07. El impacto en términos de población afectada alcanza para el conjunto de las Illes Balears en 2050, en el peor de los casos, 619 habitantes, mientras que aún reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-4.5) las condiciones más adversas dejarían expuestos a los efectos del ascenso del nivel marino a 5.647 personas a final de siglo. Si se mantiene el ritmo de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-85) las condiciones más adversas afectarían directamente a 9.599 personas a final de siglo. Una vez superados los ascensos del nivel del mar cercanos a los 40 cm en el peor de los casos la población bajo los efectos de los eventos extremos quedaría en un rango entre los 3.010 y los 4.091 habitantes en 2100. Por municipios, aquellos con un mayor número de habitantes afectados por la inundación permanente son Alcúdia, Muro, Palma y Pollença. En función de los escenarios y el rebase de ciertos elementos naturales que ejercen de barrera protectora, en un segundo término también se añaden Campos, Ses Salines, Formentera, Eivissa y Sant Josep de sa Talaia.

Tabla 4.05. Población afectada por la inundación costera de forma permanente, por isla y para cada horizonte temporal y escenario climático.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	567	729	729	4854	1457	7766
Menorca	3	6	6	23	6	296
Eivissa	27	27	27	534	46	1075
Formentera	22	25	25	236	192	462
Illes Balears	619	788	788	5647	1701	9599

Tabla 4.06. Población afectada por la inundación costera durante el evento extremo más adverso, por isla y para cada horizonte temporal y escenario climático.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	1203	1303	1303	2245	1685	2619
Menorca	10	81	81	288	242	127
Eivissa	95	98	98	193	162	1165
Formentera	145	284	284	284	123	179
Illes Balears	1453	1766	1766	3010	2212	4091

Si el marco de comparaciones se circunscribe respecto al momento actual sin ningún escenario a futuro que suponga la asunción de escenarios socioeconómicos altamente volátiles y si el padrón de población de Balears cerró el 2019 con 1.149.460 habitantes (IBESTAT), ello quiere decir que para 2050, en el peor de los casos y en las condiciones

de asentamientos actuales, alrededor del 0,11% de la población de la comunidad autónoma se vería afectada por la inundación permanente. En 2100 los efectos más adversos del ascenso del nivel del mar, en un escenario de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, afectarían un 0,49% de la población y en un escenario de emisiones de gases de efecto invernadero similar al actual, alcanzarían un 0,84% de la población.

En el caso de los eventos extremos, para 2050 el impacto directo sobre la población a supondría la afección sobre un 0,11% extra de la población. Para los dos escenarios de 2100, esta cantidad de población representa un 0,26% y un 0,36% adicional de la población respectivamente.

Tabla 4.07. Población afectada por la inundación costera de forma permanente, por municipio y para cada horizonte temporal y escenario climático.

Municipio	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Alaior	0	0	0	0	0	75
Alcúdia	0	16	16	2439	285	3662
Andratx	0	0	0	0	0	0
Artà	0	0	0	0	0	0
Calvià	0	90	90	90	90	90
Campos	0	8	8	156	8	356
Capdepera	0	0	0	0	0	0
Ciutadella	0	0	0	0	0	8
Eivissa	0	0	0	201	0	633
Es Mercadal	3	6	6	14	6	46
Es Migjorn Gran	0	0	0	0	0	0
Felanitx	0	0	0	0	0	0
Ferrieres	0	0	0	0	0	159
Formentera	22	25	25	236	192	462
Llucmajor	0	0	0	23	0	23
Manacor	0	0	0	0	0	226
Maó	0	0	0	8	0	8
Muro	567	649	649	1012	802	1022
Palma	0	0	0	771	0	1334
Pollença	0	175	175	282	267	282
Sa Pobla	0	0	0	0	0	8
Sant Antoni Por.	0	0	0	0	0	0
Sant Joan Labr.	0	0	0	0	0	0
Sant Josep Tal.	27	32	32	257	46	304
Sant Llorenç Car.	0	0	0	0	0	124
Sant Lluís	0	0	0	0	0	0
Santa Eulàlia R.	0	0	0	76	0	138
Santa Margalida	0	0	0	0	0	33
Santanyí	0	0	0	0	0	0
Ses Salines	0	6	6	6	6	530
Sóller	0	0	0	76	0	76
Son Servera	0	0	0	0	0	0

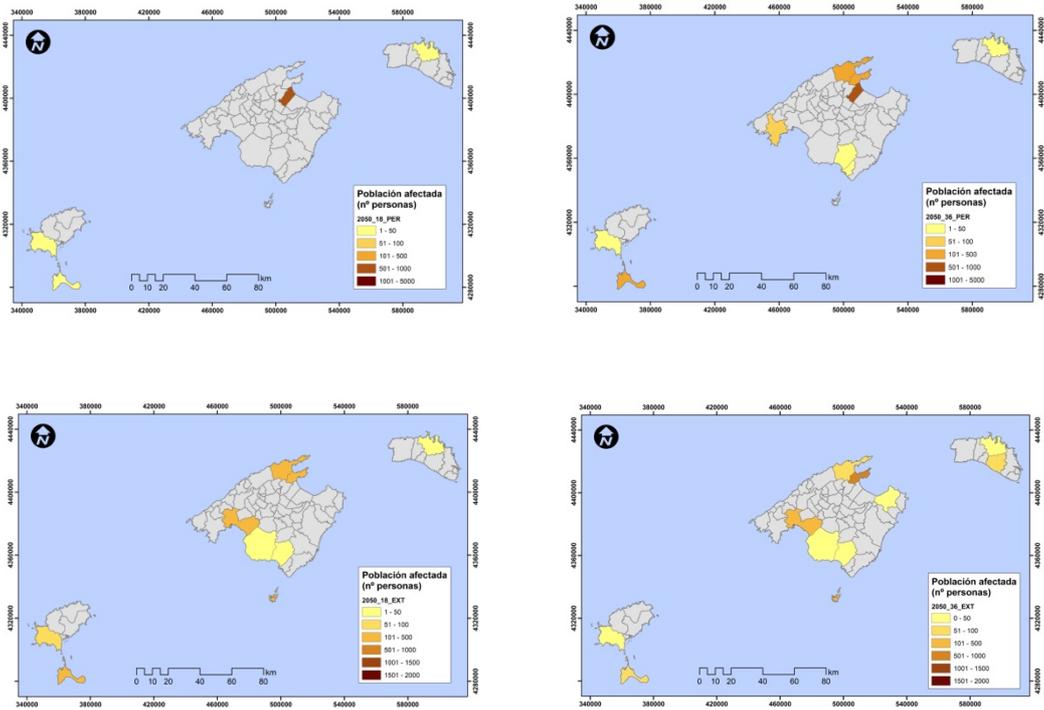


Fig. 4.05. Población mínima (izquierda) y máxima (derecha) afectada de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2050 y el escenario IPCC RCP-8.5.

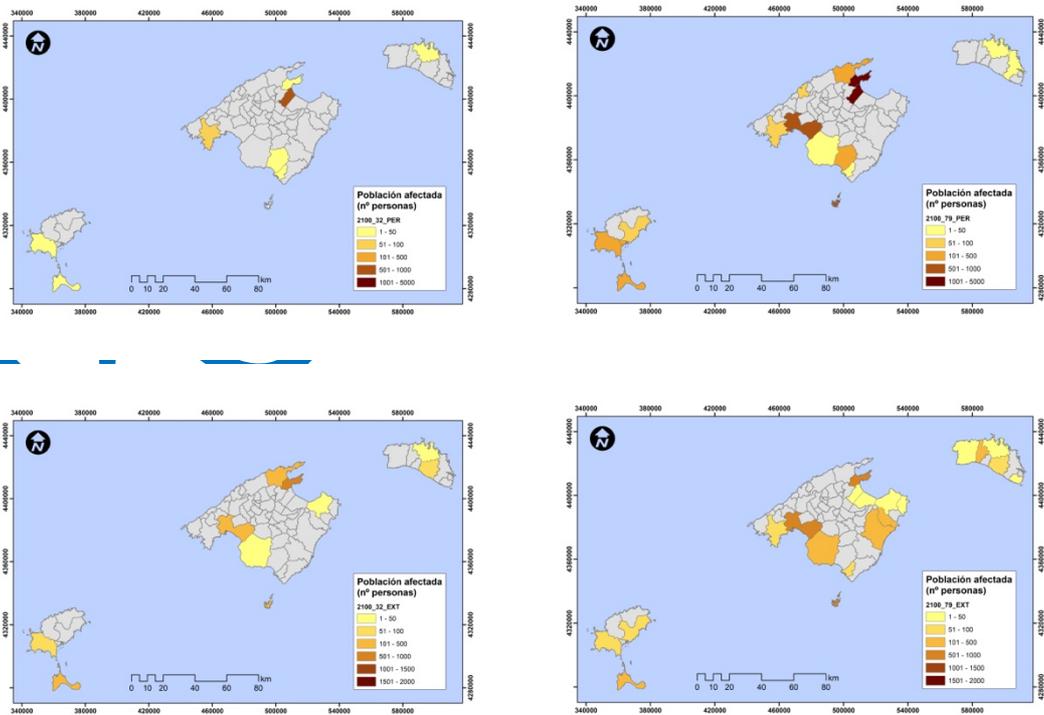


Fig. 4.06. Población mínima (izquierda) y máxima (derecha) afectada de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-4.5.

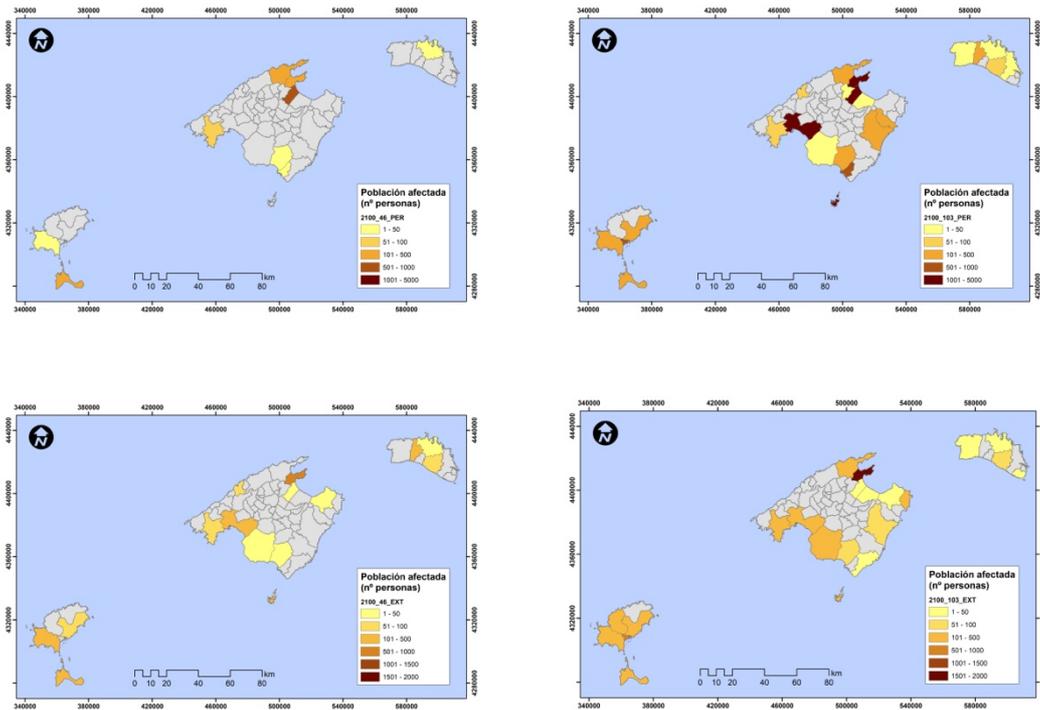


Fig. 4.07. Población mínima (izquierda) y máxima (derecha) afectada de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-4.5.

4.4 Infraestructuras críticas

La variable infraestructuras críticas refiere a cada uno de los equipamientos del sistema territorial que son sensibles para el desarrollo de las actividades socioeconómicas, en especial tendido eléctrico, depuradoras y tratamiento de aguas, vías y medios de comunicación, equipamientos sanitarios, educativos, militares o cementerios.

4.4.1 Materiales y métodos

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo más adverso con periodo de retorno 100 años. Dichas capas se han cruzado con diferentes capas en las que se recogen los atributos de los equipamientos citados en la introducción (Tabla 4.08). Las capas resultante se han cruzado con la capa oficial de municipios (IDEIB) de manera que todas las partes de un polígono de zona inundada y la infraestructura crítica afectada que pertenecen a un municipio incorporan una etiqueta con el campo municipal. Finalmente dicha capa mediante una herramienta de disolución ofrece los datos agregados por municipio, para cada horizonte temporal, escenario IPCC, inundación permanente e inundación extremal.

Tabla 4.08. Variables y fuentes de información espacial utilizadas para la caracterización de la exposición de las infraestructuras críticas.

Variable	Fuente	Cartografía	Proveedor
Vías de comunicación	Viarío Unificado de las Illes Balears (VUIB)	1:5.000	SITIBSA
Equipamientos sanitarios	Puntos de emergencia de relevancia para la protección civil, Hoja 2 EEIPC	1:5.000	DG Emergencias, Govern Balear
Torres de tendido eléctrico alta tensión	Mapa Topográfico 1:5.000 Illes Balears	1:5.000	SITIBSA
Transformadores red eléctrica	Mapa Topográfico 1:5.000 Illes Balears	1:5.000	SITIBSA
Depuradoras, saneamiento agua	Puntos de emergencia de relevancia para la protección civil, Hoja 2 EEIPC	1:5.000	DG Emergencias, Govern Balear
Equipamientos educativos	Puntos de emergencia de relevancia para la protección civil, Hoja 2 EEIPC	1:5.000	DG Emergencias, Govern Balear
Equipamientos militares	Puntos de emergencia de relevancia para la protección civil, Hoja 2 EEIPC	1:5.000	DG Emergencias, Govern Balear
Cementerios	Puntos de emergencia de relevancia para la protección civil, Hoja 2 EEIPC	1:5.000	DG Emergencias, Govern Balear

A partir de las diferentes capas e infraestructuras afectadas se ha generado un índice sintético de exposición de infraestructuras críticas (IEIC) en el que se ponderan los elementos más críticos como son: equipamientos sanitarios, tendido eléctrico, vías de comunicación y aguas y saneamiento respecto del resto, de tal manera que:

$$IEIC = \left(\frac{V_m}{V_t} \times 4 \right) + \left(\frac{San_m}{San_t} \times 3 \right) + \left(\frac{Ten_m}{Ten_t} \times 2 \right) + \left(\frac{Tra_m}{Tra_t} \times 2 \right) + \left(\frac{Dep_m}{Dep_t} \times 2 \right) + \left(\frac{Edu_m}{Edu_t} \right) + \left(\frac{Mil_m}{Mil_t} \right) + \left(\frac{Cem_m}{Cem_t} \right)$$

Donde V es la cantidad de vías inundadas, San los equipamientos sanitarios, Ten las torres del tendido eléctrico, Tra las estaciones de transformación eléctrica, Dep las instalaciones de depuración y saneamiento de aguas, Edu los equipamientos educativos, Mil los equipamientos militares y Cem los cementerios. El subíndice m refiere a los valores de cada municipio, mientras que el subíndice t refiere al total de los elementos afectados para el horizonte temporal y escenario climático. Para el conjunto de los municipios caracterizados la escala de exposición se puede interpretar como:

- IEIC = 0 – impactos nulo sobre infraestructuras críticas
- IEIC > 0 y 0,5 – impacto muy leve sobre infraestructuras críticas
- IEIC > 0,5 y 1 – impacto leve sobre infraestructuras críticas
- IEIC > 1 y 1,5 – impacto moderado sobre infraestructuras críticas
- IEIC > 1,5 y 2 – impacto alto sobre infraestructuras críticas
- IEIC > 2 – impacto muy alto sobre infraestructuras críticas

4.4.2 Resultados

Los resultados en forma del índice sintético de exposición de infraestructuras críticas (IEIC) se presentan en las Figs. 4.08, 4.09 y 4.10.

En términos generales puede apreciarse que incluso para los escenarios menos adversos de ascenso del nivel medio del mar (+18 cm para el horizonte 2050) (Fig. 4.08), tanto para la inundación permanente como para la ligada al evento extremo más adverso, hay algunas infraestructuras críticas que pueden verse afectadas. Principalmente son vías de comunicación localizadas en las zonas costeras más deprimidas y asociadas a albuferas litorales (p.e. los municipios de Alcúdia y Muro en Mallorca, o Sant Antoni y Eivissa en la isla de Eivissa o la zona de los Estanyes en Formentera).

Como se ha descrito para la variable de población, el Índice de Exposición de Infraestructuras Críticas presenta mayoritariamente valores entre muy leve y leve hasta que el ascenso del nivel del mar supera los 40 cm. A partir de dicha cota, el número de municipios que alcanzan valores dentro del rango de los impactos altos o muy altos (Fig. 4.08 y 4.09) aumenta e incluso los efectos se dejan notar en un municipio interior como el de Sa Pobla, al estar parte de su término en los alledaños de la Albufera de Mallorca, alcanzando niveles de impacto sobre infraestructura críticas para el horizonte temporal de 2100 de los escenarios RCP-4.5 y RCP-8.5 de leve a moderado respectivamente. En Menorca, los impactos más acusados se los llevará el municipio de Maó y en la isla de Eivissa el de Santa Eulària.

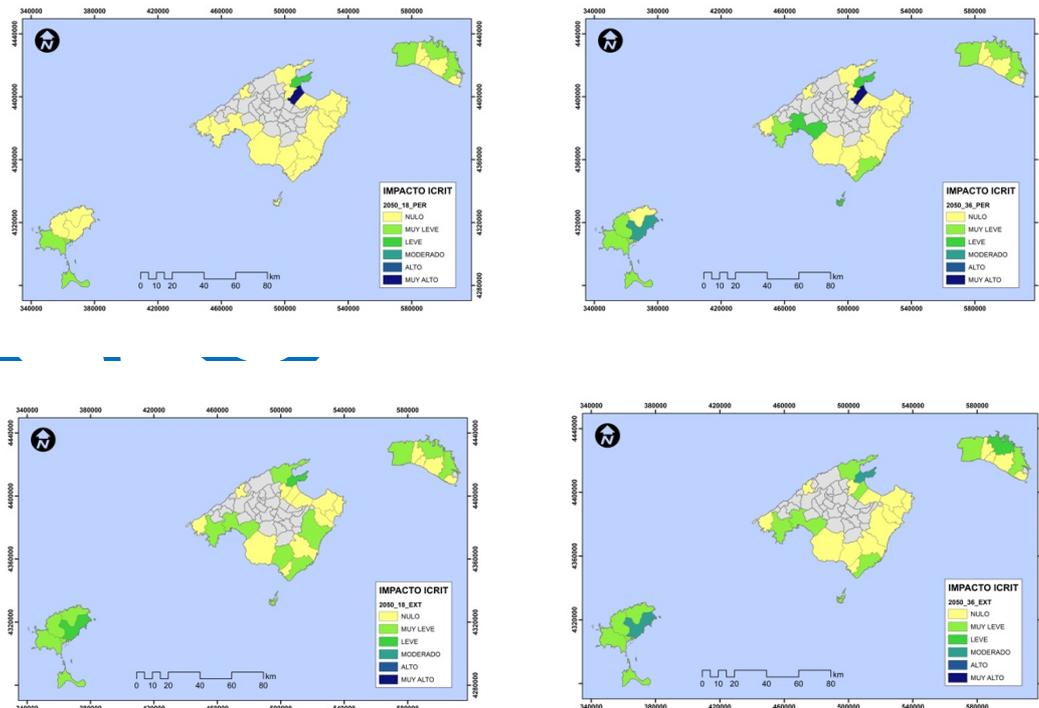


Fig. 4.08. Impacto sobre infraestructuras críticas mínimo (izquierda) y máximo (derecha) afectado de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2050 y el escenario IPCC RCP-8.5.

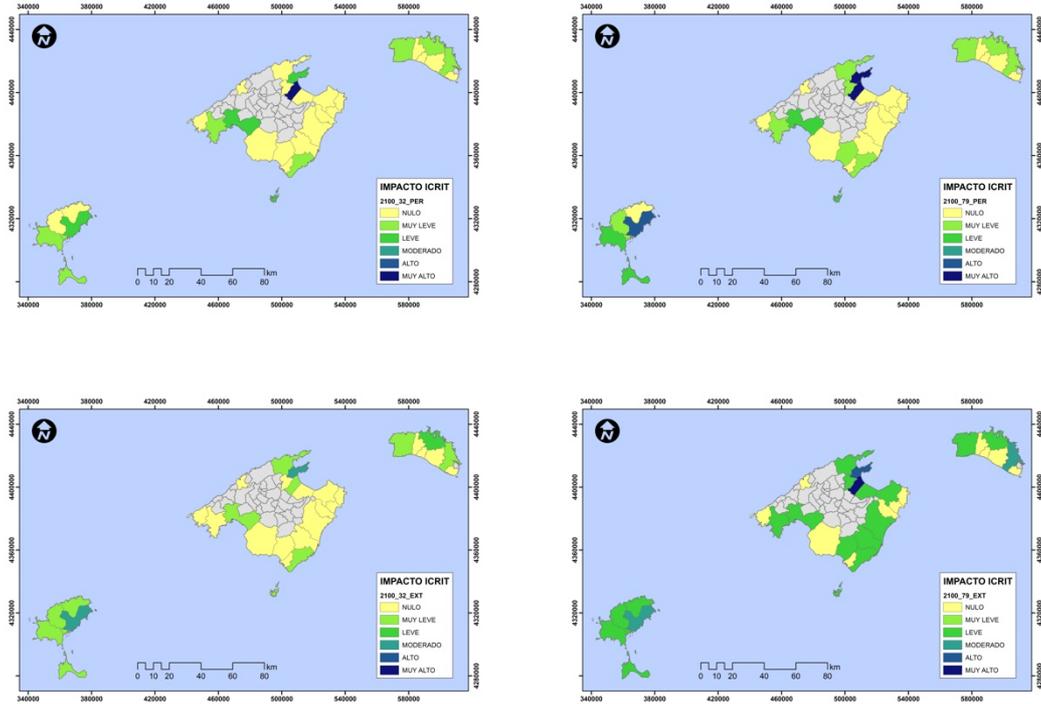


Fig. 4.09. Impacto sobre infraestructuras críticas mínimo (izquierda) y máximo (derecha) afectado de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-4.5.

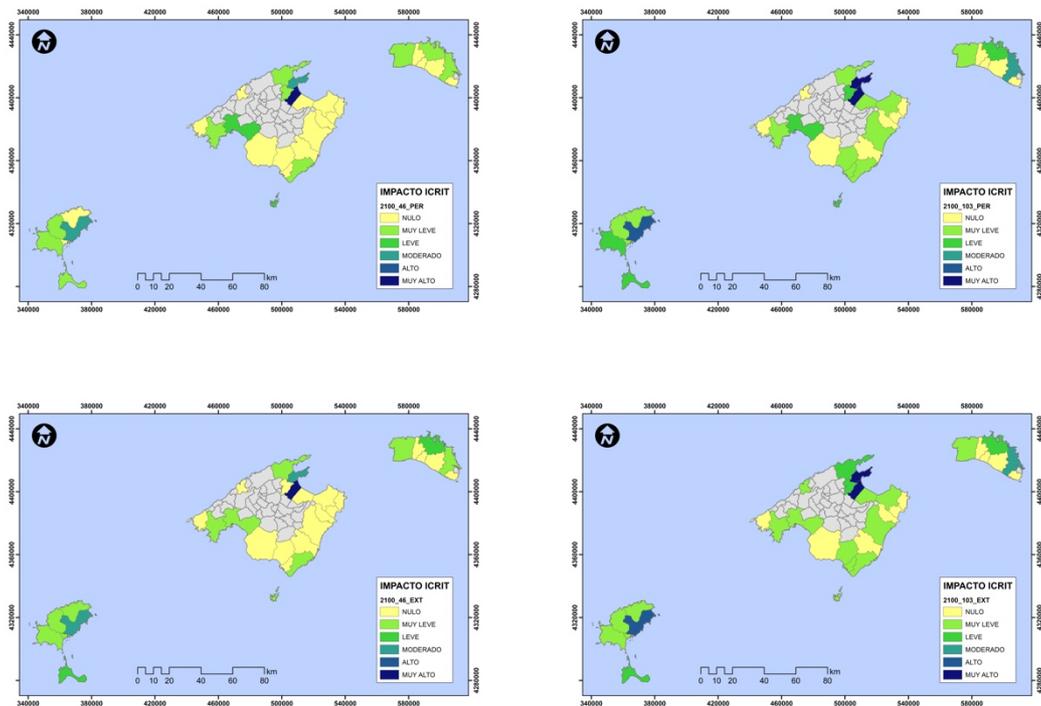


Fig. 4.10. Impacto sobre infraestructuras críticas mínimo (izquierda) y máximo (derecha) afectado de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-8.5.

Tabla 4.09. Vías de comunicación para transporte rodado (km) afectadas por la inundación costera de forma permanente, por isla y para cada horizonte temporal y escenario climático.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	52,73	111,61	103,07	216,12	153,86	293,65
Menorca	10,46	15,10	15,10	36,23	34,82	62,61
Eivissa	2,07	6,13	2,85	25,71	5,84	36,63
Formentera	419	8,11	6,06	32,65	8,81	36,69
Illes Balears	69,46	140,94	127,09	310,73	203,34	429,58

Las infraestructuras críticas más afectadas son las vías de comunicación para el transporte rodado. No hay ninguna vía de ferrocarril que intersecte con las áreas inundadas de forma permanente ni las ligadas a un evento extremo. La única línea de tranvía costero que existe hoy en día en Balears, cubre la línea Sóller – Port de Sóller en Mallorca, y transcurre a cotas que lo sitúan fuera del alcance de la problemática caracterizada. Como se recoge en la Tabla 4.09 para 2050 las vías de comunicación afectadas permanentemente quedan dentro de una horquilla que va de 69,5 a 140,94 km, mientras que para el horizonte temporal 2100 dicho rango queda comprendido entre 127,1 y 310,7 km para el escenario RCP-4.5 y entre 203,3 y 429,6 km para el escenario RCP-8.5.

Por tipología las vías más afectadas son caminos rurales o calles de núcleos urbanos (Fig. 4.10a y b). También afecta al recorrido de alguna carretera de la red de comunicaciones de cada isla e incluso vías de senderismo que forman parte de la red de Grandes Rutas (GR). Entre el 76% y el 99% de la titularidad de las vías de comunicación,

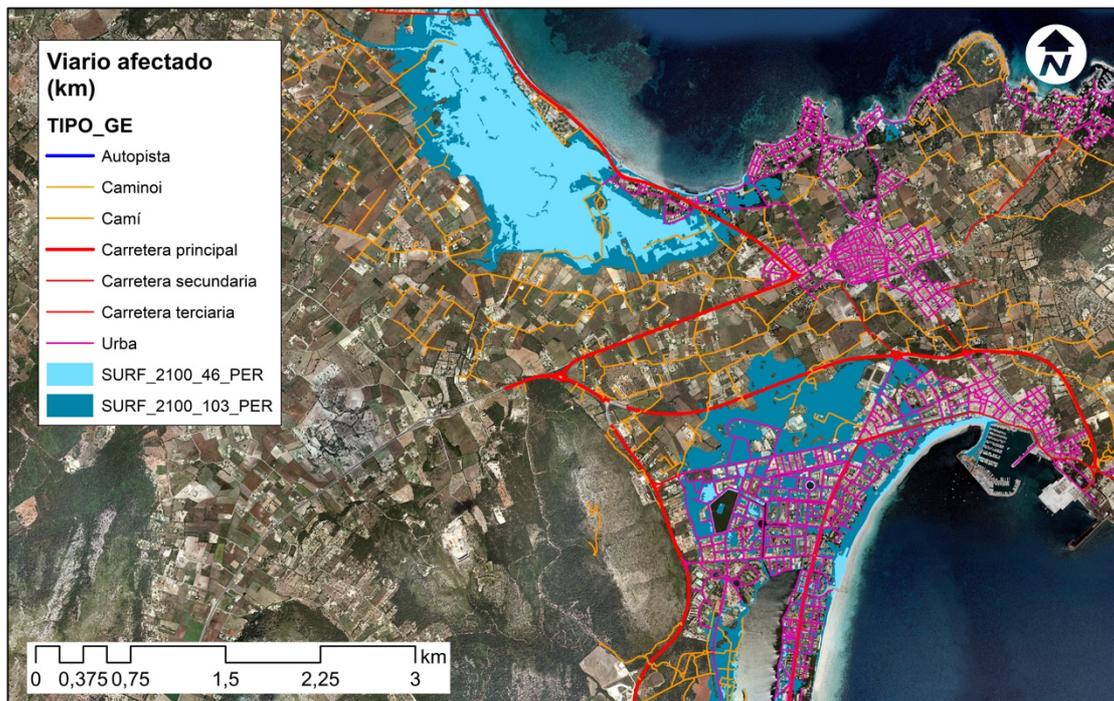


Fig. 4.10a. Ejemplos seleccionados del impacto de la inundación permanente para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-8.5 sobre las vías de comunicación, según tipología, para la zona del Puerto de Alcúdia y la Albufereta de Pollença en Mallorca.

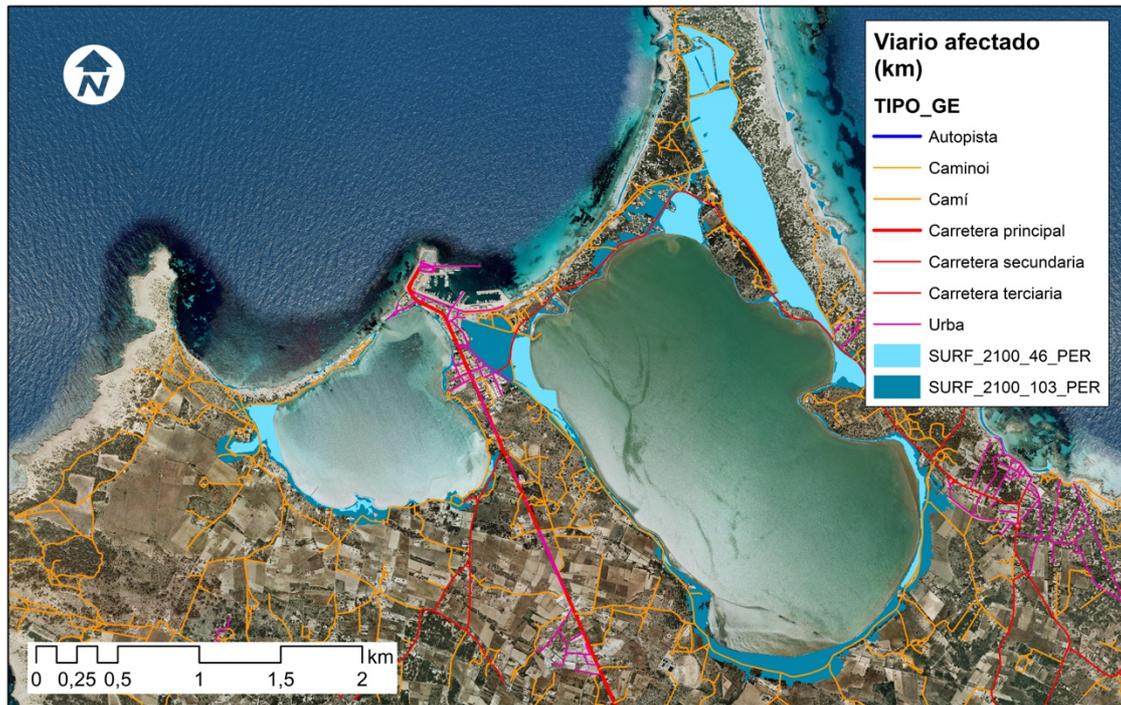


Fig. 4.10b. Ejemplos seleccionados del impacto de la inundación permanente para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-8.5 sobre las vías de comunicación, según tipología, para la zona de los Estanys en Formentera (imagen inferior).

según el horizonte temporal y los escenarios son de carácter privado o corresponden a los ayuntamientos, por lo que de todas las administraciones competentes sobre vías de comunicación, será la administración local la que se verá más seriamente perjudicada.

Dentro de las infraestructuras críticas también deben citarse, aunque con un impacto menor en términos cuantitativos, la afectación a elementos de la red eléctrica. Básicamente este tipo de impacto se concentra en la isla de Mallorca y puntualmente en la de Formentera. En este sentido el rango máximo de ascenso del nivel del mar para 2050 ya afectaría de forma permanente a 3 torres de alta tensión, mientras que para el horizonte 2100 bajo el escenario RCP-4.5 quedarían afectadas de forma permanente 29 torres de alta tensión y bajo el RCP-8.5 43 torres, principalmente en los municipios de Alcúdia y Muro (Fig. 4.11). En Alcúdia se encuentra el único transformador afectado en Baleares por el ascenso del nivel marino y lo hace para niveles de ascenso del mar superiores a los 79 cm. En Formentera y Eivissa, tan solo se verían afectadas torres de alta tensión en los escenarios más adversos del RCP-4.5 y del RCP-8.5 para 2100, alcanzando 2 y 3 torres respectivamente.

Aunque no se trata de un resultado directo de la intersección de capas descritas en la metodología del presente capítulo, debe apuntarse que la erosión de playas abordada en el capítulo anterior de la memoria permite avanzar impactos sobre la distribución eléctrica sobre las conexiones entre islas parten de zonas de playas, en las que la erosión puede dejar al descubierto el cable. No en vano, algunos temporales energéticos de componente norte ya han dejado, en alguna ocasión, al descubierto la conexión Mallorca–Menorca desde Cala Mesquida (Capdepera). En este sentido son significativos para 2100, la erosión y retranqueo de las playas y el posible afloramiento del cableado

de conexión eléctrica entre islas, tanto bajo el escenario RCP-4.5 y el RCP-8.5, en Cala Mesquida, Santa Ponça en Mallorca, Cala en Bosch en Menorca y Es Cavallet en Eivissa.

El cruce de capas temáticas que arroja ningún equipamiento sanitario se ve afectado por el impacto del ascenso del nivel medio del mar bajo ninguno de los escenarios climáticos en cualquiera de los horizontes temporales considerados.

No obstante sí que se registran impactos sobre los equipamientos educativos de algunos municipios. En concreto para el ascenso del nivel medio del mar más adverso en el horizonte temporal de 2050, el CIFP Ses Marines de Santa Eulària des Riu (Eivissa) puede ver comprometida parte de su parcela. Para 2100, dentro del rango de ascensos del nivel del mar ligados a los escenarios RCP-4.5 se incorporaría al listado de equipos educativos afectados el CEIP Sant Jordi del municipio de Sant Josep de sa Talaja y para el RCP-8.5 ya se sumarían a la lista de equipamientos comprometidos el centro El S'Estol del Rei en Jaume y el IES Alcúdia, ambos en el municipio mallorquín de Alcúdia.

Otras infraestructuras críticas afectadas son la planta de tratamientos de aguas del municipio de Muro, un equipamiento militar en el municipio de Alcúdia y parte de la parcela del cementerio de Maó para el horizonte 2100 bajo el escenario RCP-8.5. Este último ya podría verse afectado de forma eventual por el alcance de los eventos extremos más adversos asociados al horizonte 2100 bajo el escenario RCP-4.5.

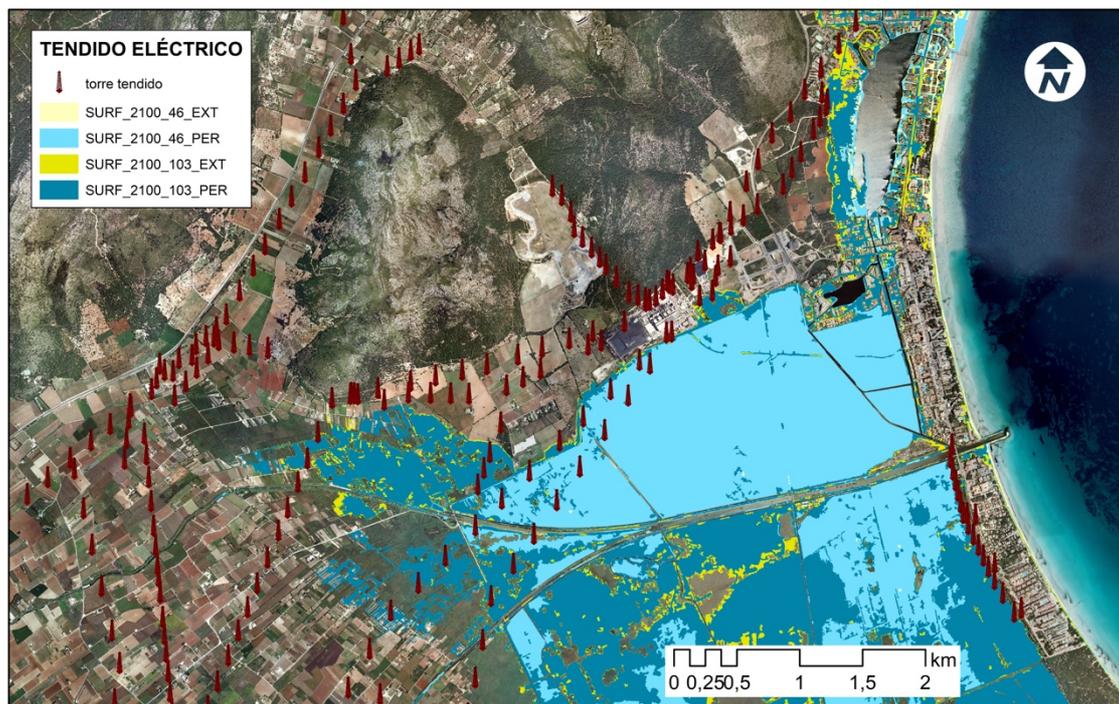


Fig. 4.11. Ejemplos seleccionados del impacto de la inundación permanente y extrema para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-8.5 sobre el tendido eléctrico en la zona limítrofe entre los municipios de Alcúdia y Muro (Mallorca).

4.5 Patrimonio arqueológico e histórico

La variable patrimonio arqueológico e histórico refiere al conjunto de elementos patrimoniales catalogados por cada uno de los Consells Insulars, las administraciones competentes en la materia en el ámbito de la comunidad autónoma de les Illes Balears.

4.5.1 Materiales y método

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo más adverso con periodo de retorno 100 años. Dichas capas se han cruzado primero con diferentes capas en las que se recogen la localización y clasificación de los elementos arqueológicos y patrimoniales compilados por SITIBSA. Las capas resultantes se han interseccionado con la capa oficial de los polígonos municipales (IDEIB) de manera que todos los puntos correspondientes a un elemento patrimonial que pertenecen a un municipio incorporan una etiqueta con el campo municipal. Finalmente dicha capa mediante una herramienta de disolución ofrece, por municipio, los datos agregados para cada horizonte temporal, escenario, inundación permanente e inundación extremal.

4.5.2 Resultados

Del cruce de capas de información no resulta ningún tipo de impacto asociado al ascenso del nivel marino que suponga un riesgo para los elementos del patrimonio arqueológico e histórico. No obstante debe advertirse que la metodología implementada en el marco de la presente memoria parte de la inundación de sectores de costa precedidos de un sistema arenoso (playa, playa-duna costera). Ello excluye a los islotes adyacentes a la línea de costa, con independencia de su cota topográfica. Así aunque no se detallan en la presente memoria, es evidente que ascensos del nivel de mar superiores al metro, como los previstos en el RCP-8.5 para 2100 deben impactar sobre los yacimientos que se encuentran en dichas islas que apenas alcanzan 1 – 2 m de cota topográfica, como en el caso de los yacimientos del islotes como el de sa Galera o d'en Sales en la bahía de Palma, el islote dels Porros en la bahía de Alcúdia o el de na Guàrdis o na Moltona frente a la Colònia de Sant Jordi (vid. Guerrero, 1981).

4.6 Edificaciones

La variable edificaciones refiere a los polígonos que como tales están incluidos como edificaciones–construcciones en el Mapa Topográfico de las Illes Balears 1:5000 de SITIBSA. No se distingue entre su funcionalidad (p.e. edificación ligera, religiosa, industrial, etc.), puesto que en las zonas afectada se trata de edificaciones residenciales en un 95% o un 100%.

4.6.1 Materiales y método

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario climático y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo más adverso con periodo de retorno 100 años.

Dichas capas se han cruzado primero con la capa de edificaciones y construcciones extraída del MTIB 1:5000 de SITIBSA. Las capas resultantes se han cruzado con la capa oficial de los polígonos de límites municipales (IDEIB) de manera que todos los puntos correspondientes a un elemento patrimonial que pertenecen a un municipio incorporan una etiqueta con el campo municipal. Finalmente, mediante una herramienta de disolución, dicha capa agrega los datos para cada horizonte temporal, escenario climático, inundación permanente e inundación extremal, por municipio.

4.6.2 Resultados

Los resultados se presentan en las Tablas 4.10, 4.11 y 4.12; así como en las Figs. 4.12, 4.13 y 4.14.

En 2050 el impacto en términos de edificaciones afectadas alcanza para el conjunto de las Balears, en el peor de los casos, 87 edificaciones. En 2100, aún reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-4.5), las condiciones más adversas dejarían expuestos a los efectos del ascenso del nivel marino a 395 edificaciones. Si se mantiene el ritmo de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-8.5), también para 2100, las condiciones más adversas afectarían directamente a 772 edificaciones en el mismo periodo. Una vez superados los ascensos del nivel medio del mar cercanos a los 40 cm en el peor de los casos las edificaciones bajo los efectos de los eventos extremos quedaría en un rango entre las 212 y las 1961 edificaciones afectadas.

Por municipios, Alcúdia sobresale con diferencia respecto del resto de municipios puesto que en cualquier horizonte y escenario, su impacto es importante en la zona del Port d'Alcúdia. Éste se traduce un mayor número de edificaciones afectadas que para los ascensos del nivel del mar inferiores a los 40 cm, ya que el número de edificaciones afectadas es del orden de dos o tres veces más que el siguiente municipio con mayor impacto. Para ascensos superiores al umbral citado, el impacto es entre 7 y 8 veces más que el municipio que le sigue en la lista.

Aquellos municipios con un mayor número de edificaciones afectadas por la inundación permanente tras Alcúdia son: Muro, Eivissa, Pollença, Formentera, Sant Josep de sa Talaia, sa Pobla—aún no siendo municipio costero—, Maó y es Mercadal.

Tabla 4.10. Número mínimo y máximo de edificaciones afectadas por la inundación costera de forma permanente, por isla y para cada horizonte temporal y escenario climático.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	55	73	68	327	86	639
Menorca	2	7	7	24	13	39
Eivissa	2	5	3	38	5	74
Formentera	2	2	2	6	4	20
Illes Balears	61	87	80	395	108	772

Tabla 4.11. Número mínimo y máximo de edificaciones afectadas por la inundación costera durante el evento extremo más adverso con periodo de retorno 100 años, por isla y para cada horizonte temporal y escenario climático.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	15	73	61	653	131	1631
Menorca	18	26	23	50	33	70
Eivissa	15	13	16	22	32	202
Formentera	6	2	3	15	16	58
Illes Balears	54	114	103	740	212	1961

Tabla 4.12. Población mínima y máxima afectada por la inundación costera de forma permanente, por municipio y para cada horizonte temporal y el escenario climático.

Municipio	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Alaior	0	0	0	1	0	1
Alcúdia	37	48	43	264	57	497
Andratx	0	0	0	0	0	1
Artà	0	0	0	0	0	0
Calvià	0	2	2	3	2	3
Campos	0	0	0	2	1	6
Capdepera	0	0	0	1	0	2
Ciutadella	0	0	0	3	0	7
Eivissa	2	2	2	19	2	34
Es Mercadal	1	3	3	8	6	13
Es Migjorn Gran	0	0	0	0	0	0
Felanitx	0	0	0	0	0	1
Ferreries	0	0	0	0	0	1
Formentera	2	2	2	6	4	20
Llucmajor	0	0	0	0	0	0
Manacor	0	0	0	1	0	2
Maó	1	4	4	10	7	14
Muro	12	12	12	31	12	67
Palma	0	1	1	2	1	7
Pollença	0	0	0	6	0	22
Sa Pobla	6	6	6	8	6	16
Sant Antoni Por.	0	2	0	4	2	6
Sant Joan Labr.	0	1	1	3	1	8
Sant Josep Tal.	0	0	0	8	0	18
Sant Llorenç Car.	0	0	0	0	0	0
Sant Lluís	0	0	0	2	0	3
Santa Eulàlia R.	0	0	0	4	0	8
Santa Margalida	0	0	0	0	0	0
Santanyí	0	0	0	2	0	2
Ses Salines	0	1	1	1	1	5
Sóller	0	3	3	3	3	4
Son Servera	0	0	0	3	3	4

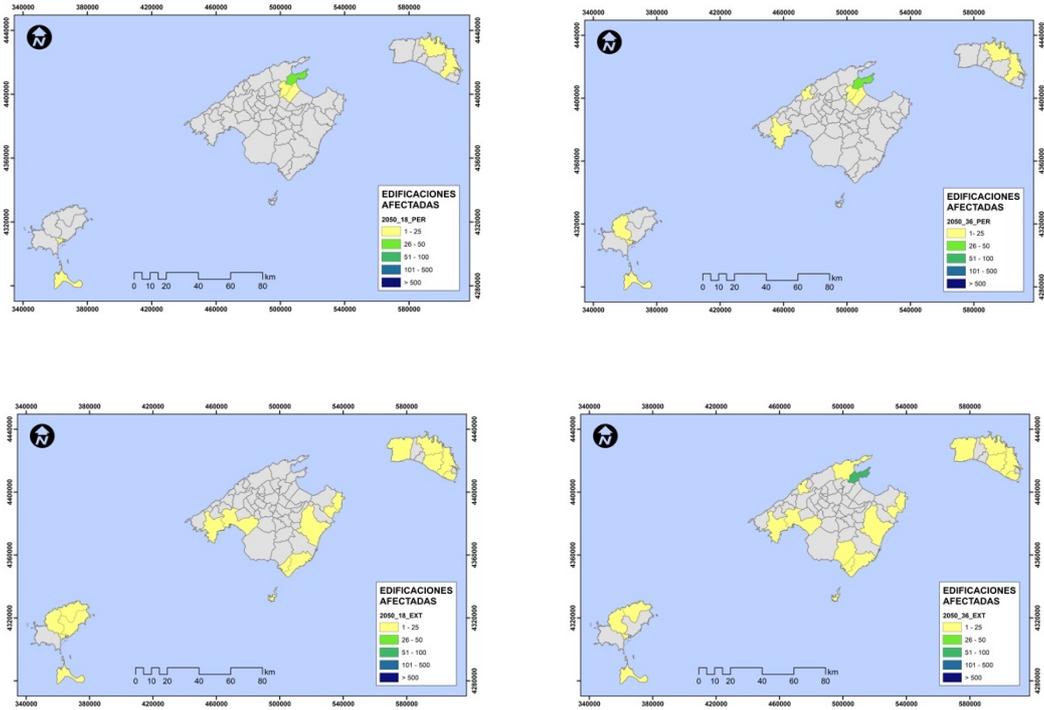


Fig. 4.12. Impacto mínimo (izquierda) y máximo (derecha) sobre las edificaciones de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2050 y el escenario IPCC RCP-8.5.

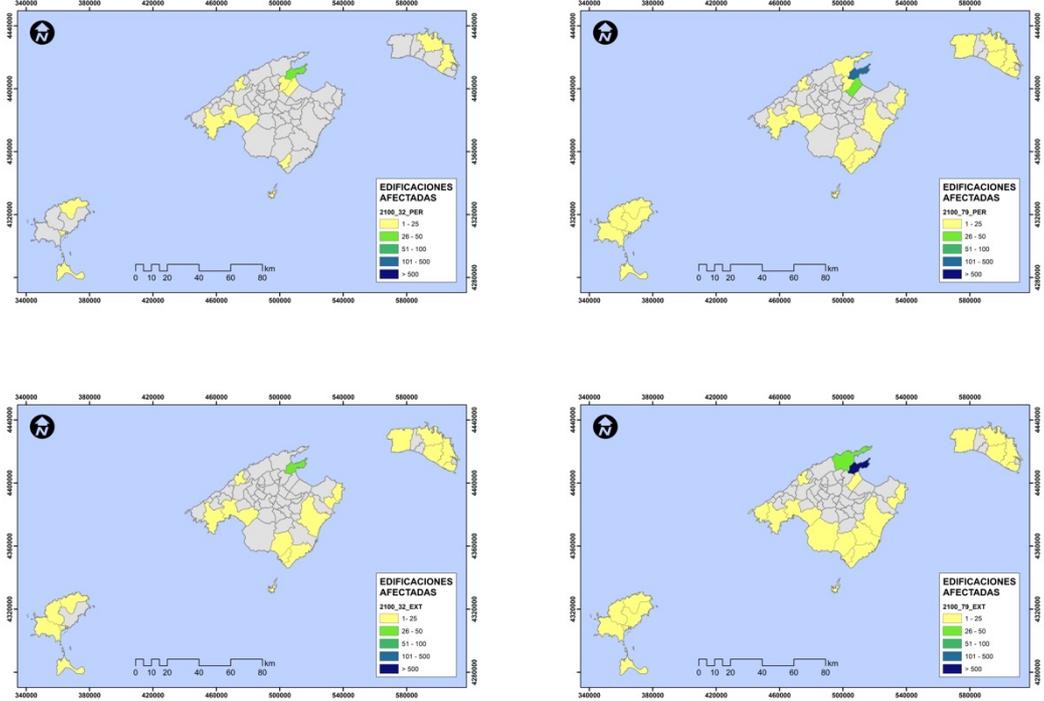


Fig. 4.13. Impacto mínimo (izquierda) y máximo (derecha) sobre las edificaciones de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-4.5.

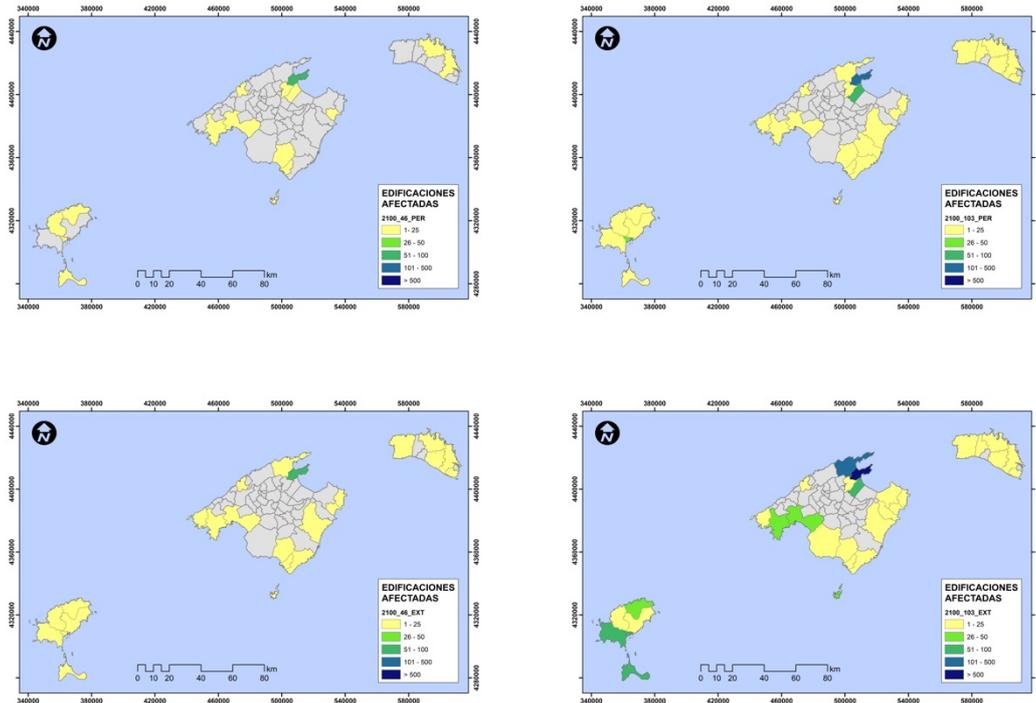


Fig. 4.14. Impacto mínimo (izquierda) y máximo (derecha) sobre las edificaciones de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-8.5.

4.7 Espacios Naturales y Red Natura 2000

En el presente apartado se considera la exposición al ascenso del nivel medio del mar de los Espacios Naturales de las Illes Balears así como de los espacios incluidos bajo diferentes figuras e instrumentos de gestión de la Red Natura 2000. Una vez más se parte de aquellas zonas de inundación asociadas a tramos costeros arenosos, por lo que no entran en el apartado espacios como la isla de Dragonera o el Archipiélago de Cabrera, entre otros.

4.7.1 Materiales y métodos

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario climático y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo más adverso con periodo de retorno 100 años. Dichas capas se han cruzado primero con las capas detalladas en la Tabla 4.13. Los resultados no se presentan a nivel municipal sino en referencia a cada espacio protegido. En cualquier caso, para los espacios naturales protegidos los resultados se expresan como porcentaje de la superficie del espacio que queda afectada bajo cada escenario climático y para cada horizonte temporal. En el caso de los espacios de la Red Natura 2000 puesto que sobre una misma realidad física pueden recaer varias figuras (p.e. ZEPA y LIC u otras de carácter regional) y por tanto cabría la posibilidad de computar doblemente una misma superficie, se ha optado por facilitar un listado de aquellos espacios de la Red Natura 2000 que se ven afectados.

Tabla 4.13. Variables y fuentes de información espacial utilizadas para la caracterización de la exposición de los espacios naturales y de los espacios asociados a la Red Natura 2000.

Variable	Fuente	Cartografía	Proveedor
Espacios Naturales Protegidos	DG Biodiversitat, CAIB	1:5.000	SITIBSA
Red Natura 2000	DG Biodiversitat, CAIB	1:5.000	SITIBSA

4.7.2 Resultados

Los resultados se presentan en la Fig. 4.15 y las Tablas 4.14, 4.15 y 4.16. En la figura 4.15 puede apreciarse, como no puede ser de otra manera, que aquellos espacios naturales de la Red de Espacios de Relevancia Ambiental de Baleares que se llevan una impronta más marcada a raíz del ascenso del nivel del mar, son las albuferas litorales. En este sentido, incluso para el escenario más favorable del horizonte 2050, el PN de la Albufera de Mallorca perderá a favor del mar un 19% de su superficie. El mismo espacio para el horizonte 2100, en un escenario favorable como el RCP-4.5 puede llegar a perder el 65% de su superficie y el 78% de su superficie bajo el escenario RCP-8.5 de carácter más adverso.

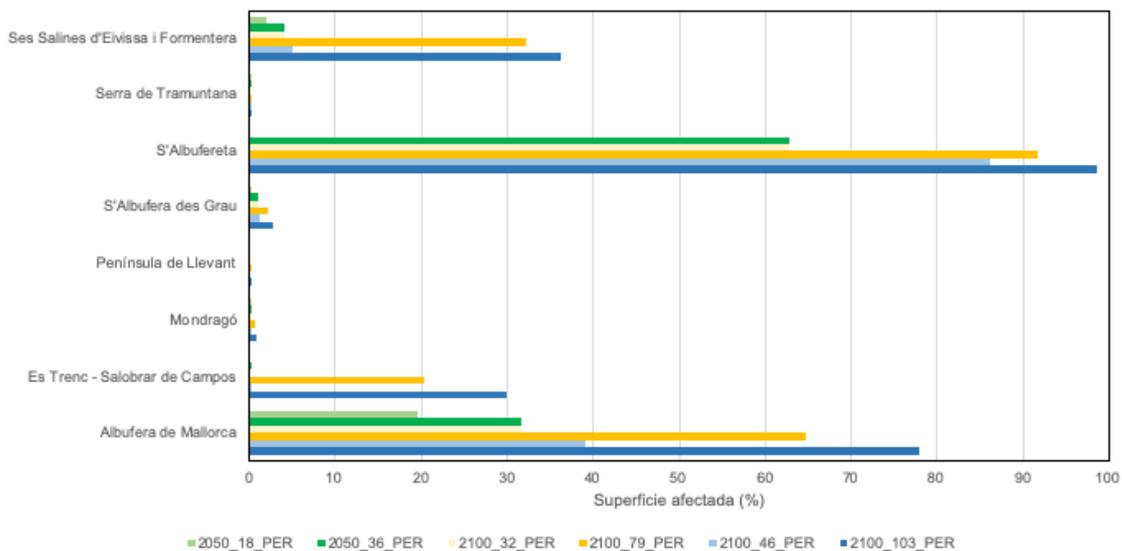


Fig. 4.15. Reducción de la superficie (%) de los espacios naturales de la Red de Espacios de Relevancia Ambiental de Baleares en diferentes horizontes temporales y bajo diferentes escenarios climáticos.

La Reserva Natural de s'Albufereta de Pollença alcanzará una reducción de superficie del 92% y del 99% para los mismos supuestos. En las Pitiüses, para 2100, Ses Salines d'Eivissa i Formentera sufrirán un retroceso superficie del 32% bajo el escenario RCP-4.5 y del 36% bajo el RCP-8.5. No obstante, S'Albufera des Grau en Menorca, dados sus condicionantes fisiográficos experimentará un impacto menor. En el caso de d'Es Trenc – Salobrar de Campos, los ascensos del nivel medio del mar superiores a 40 cm, pueden suponer un retroceso en superficie entre un 20 y un 30 %. El resto de espacios naturales experimentan disminuciones leves respecto de su superficie total. Debe advertirse que el indicador solo apunta que se pierde superficie respecto de los límites y extensión actual

de los espacios naturales. No se ha considerado ni modelizado la posibilidad que en función del espacio de acomodación y los usos del suelo de los alrededores, los hábitats puedan desplazarse tierra adentro.

Por otro lado en la Tabla 4.14, 4.15y 4.16 se indica si los diferentes espacios de la Red Natura 2000 se ven afectados o no por los diferentes supuestos de ascenso del nivel medio del mar. Incluso en los escenarios más favorables del horizonte temporal 2050, la mayoría de dichos espacios acusan los efectos del ascenso del nivel del mar, que se agravarán a medida que avance la segunda mitad del siglo.

Tabla 4.14. Impacto del ascenso del nivel del mar en los espacios integrantes de la Red Natura 2000 de Baleares para el horizonte temporal 2050 y escenario IPCC RCP-8.5.

CÓDIGO	FIGURA	NOMBRE	RCP 8.5 – 2050			
			PERMANENTE		EXTREMAL	
			18 cm	36 cm	18 cm	36 cm
ES0000037	ZEPA	Es Trenc - Salobrar de Campos	no	sí	sí	sí
ES0000037	LIC	Es Trenc - Salobrar de Campos	no	sí	sí	sí
ES0000038	ZEPA	S'Albufera de Mallorca	sí	sí	sí	sí
ES0000073	ZEPA	Costa Brava de Mallorca	sí	sí	sí	sí
ES0000074	ZEPA	Cap de cala Figuera	no	sí	sí	sí
ES0000074	LIC	Cap de cala Figuera	no	sí	sí	sí
ES0000079	ZEPA	La Victòria	no	sí	sí	sí
ES0000079	LIC	La Victòria	no	sí	sí	sí
ES0000081	ZEPA	Cap Enderrocot - Cap Blanc	no	sí	sí	sí
ES0000084	ZEPA	Ses Salines d'Eivissa i Formentera	sí	sí	sí	sí
ES0000084	LIC	Ses Salines d'Eivissa i Formentera	sí	sí	sí	sí
ES0000145	ZEPA	Mondragó	sí	sí	sí	sí
ES0000145	LIC	Mondragó	sí	sí	sí	sí
ES0000226	ZEPA	L'Albufereta	no	sí	sí	sí
ES0000226	LIC	L'Albufereta	no	sí	sí	sí
ES0000227	ZEPA	Muntanyes d'Artà	sí	sí	sí	sí
ES0000227	LIC	Muntanyes d'Artà	sí	sí	sí	sí
ES0000228	ZEPA	Cap de ses Salines	sí	sí	sí	sí
ES0000228	LIC	Cap de ses Salines	sí	sí	sí	sí
ES0000230	ZEPA	La Vall	sí	sí	sí	sí
ES0000231	ZEPA	Dels Alocs a Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000231	LIC	Dels Alocs a Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000232	ZEPA	La Mola i s'Albufera de Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000232	LIC	La Mola i s'Albufera de Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000233	ZEPA	D'Addaia a s'Albufera	sí	sí	sí	sí
ES0000233	LIC	D'Addaia a s'Albufera	sí	sí	sí	sí
ES0000234	ZEPA	S'Albufera des Grau	sí	sí	sí	sí
ES0000234	LIC	S'Albufera des Grau	sí	sí	sí	sí
ES0000235	ZEPA	De S'Albufera a la Mola	sí	sí	sí	sí
ES0000235	LIC	De S'Albufera a la Mola	sí	sí	sí	sí
ES0000237	ZEPA	Des Canutells a Llucalari	sí	sí	sí	sí
ES0000237	LIC	Des Canutells a Llucalari	sí	sí	sí	sí
ES0000238	ZEPA	Son Bou i barranc de sa Vall	sí	sí	no	sí
ES0000238	LIC	Son Bou i barranc de sa Vall	sí	sí	no	sí
ES0000239	ZEPA	De Binigaus a cala Mitjana	sí	sí	sí	sí
ES0000239	LIC	De Binigaus a cala Mitjana	sí	sí	sí	sí
ES0000240	ZEPA	Costa Sud de Ciutadella	sí	sí	sí	sí
ES0000240	LIC	Costa Sud de Ciutadella	sí	sí	sí	sí
ES0000241	ZEPA	Costa dels Amunts	sí	sí	sí	sí
ES0000241	LIC	Costa dels Amunts	sí	sí	sí	sí
ES0000443	ZEPA	Sud de Ciutadella	no	no	no	sí
ES0000541	ZEPA	Maristany	no	no	no	no

ES0000544	ZEPA	Son Real	sí	sí	sí	sí
ES0000549	ZEPA	Punta Prima	no	sí	sí	sí
ES5310024	ZEPA	La Mola	sí	sí	sí	sí
ES5310024	LIC	La Mola	sí	sí	sí	sí
ES5310029	LIC	Na Borges	no	sí	sí	sí
ES5310030	LIC	Costa de Llevant	sí	sí	sí	sí
ES5310031	LIC	Purroig	no	sí	sí	sí
ES5310032	LIC	Cap Llentrisca - Sa Talaia	sí	sí	sí	sí
ES5310033	LIC	Xarraca	sí	sí	sí	sí
ES5310065	LIC	Cova des Drac de cala Santanyí	no	sí	no	sí
ES5310069	LIC	Cala d'Algairans	sí	sí	sí	sí
ES5310070	LIC	Punta Redona - Arenal d'en Castell	sí	sí	sí	sí
ES5310071	LIC	Cala en Brut	sí	sí	sí	sí
ES5310074	LIC	De cala Llucalari a cales Coves	no	sí	no	sí
ES5310075	LIC	Arenal de Son Saura	sí	sí	sí	sí
ES5310094	LIC	Cala Figuera	sí	sí	sí	sí
ES5310095	LIC	Can Picafort	sí	sí	sí	sí
ES5310096	LIC	Punta de n'Amer	no	sí	sí	sí
ES5310098	LIC	Cales de Manacor	no	sí	sí	sí
ES5310099	LIC	Portocolom	no	sí	sí	sí
ES5310105	LIC	Es Amunts d'Eivissa	sí	sí	sí	sí
ES5310113	LIC	La Vall	sí	sí	sí	sí
ES5310125	LIC	Albufera de Mallorca	sí	sí	sí	sí

Tabla 4.15. Impacto del ascenso del nivel del mar en los espacios integrantes de la Red Natura 2000 de Baleares para el horizonte temporal 2100 y escenario IPCC RCP- 4.5.

CÓDIGO	FIGURA	NOMBRE	RCP 4.5 – 2100			
			PERMANENTE		EXTREMAL	
			32 cm	79 cm	32 cm	79 cm
ES0000037	ZEPA	Es Trenc - Salobrar de Campos	sí	sí	sí	sí
ES0000037	LIC	Es Trenc - Salobrar de Campos	sí	sí	sí	sí
ES0000038	ZEPA	S'Albufera de Mallorca	sí	sí	sí	sí
ES0000073	ZEPA	Costa Brava de Mallorca	sí	sí	sí	sí
ES0000074	ZEPA	Cap de cala Figuera	sí	sí	sí	sí
ES0000074	LIC	Cap de cala Figuera	sí	sí	sí	sí
ES0000079	ZEPA	La Victòria	sí	sí	sí	sí
ES0000079	LIC	La Victòria	sí	sí	sí	sí
ES0000081	ZEPA	Cap Enderrocac - Cap Blanc	sí	sí	sí	sí
ES0000084	ZEPA	Ses Salines d'Eivissa i Formentera	sí	sí	sí	sí
ES0000084	LIC	Ses Salines d'Eivissa i Formentera	sí	sí	sí	sí
ES0000145	ZEPA	Mondragó	sí	sí	sí	sí
ES0000145	LIC	Mondragó	sí	sí	sí	sí
ES0000226	ZEPA	L'Albufereta	sí	sí	sí	sí
ES0000226	LIC	L'Albufereta	sí	sí	sí	sí
ES0000227	ZEPA	Muntanyes d'Artà	sí	sí	sí	sí
ES0000227	LIC	Muntanyes d'Artà	sí	sí	sí	sí
ES0000228	ZEPA	Cap de ses Salines	sí	sí	sí	sí
ES0000228	LIC	Cap de ses Salines	sí	sí	sí	sí
ES0000230	ZEPA	La Vall	sí	sí	sí	sí
ES0000231	ZEPA	Dels Alocs a Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000231	LIC	Dels Alocs a Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000232	ZEPA	La Mola i s'Albufera de Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000232	LIC	La Mola i s'Albufera de Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000233	ZEPA	D'Addaia a s'Albufera	sí	sí	sí	sí
ES0000233	LIC	D'Addaia a s'Albufera	sí	sí	sí	sí
ES0000234	ZEPA	S'Albufera des Grau	sí	sí	sí	sí
ES0000234	LIC	S'Albufera des Grau	sí	sí	sí	sí
ES0000235	ZEPA	De S'Albufera a la Mola	sí	sí	sí	sí
ES0000235	LIC	De S'Albufera a la Mola	sí	sí	sí	sí

ES0000237	ZEPA	Des Canutells a Llucalari	sí	sí	sí	sí
ES0000237	LIC	Des Canutells a Llucalari	sí	sí	sí	sí
ES0000238	ZEPA	Son Bou i barranc de sa Vall	sí	sí	sí	sí
ES0000238	LIC	Son Bou i barranc de sa Vall	sí	sí	sí	sí
ES0000239	ZEPA	De Binigaus a cala Mitjana	sí	sí	sí	sí
ES0000239	LIC	De Binigaus a cala Mitjana	sí	sí	sí	sí
ES0000240	ZEPA	Costa Sud de Ciutadella	sí	sí	sí	sí
ES0000240	LIC	Costa Sud de Ciutadella	sí	sí	sí	sí
ES0000241	ZEPA	Costa dels Amunts	sí	sí	sí	sí
ES0000241	LIC	Costa dels Amunts	sí	sí	sí	sí
ES0000443	ZEPA	Sud de Ciutadella	no	sí	sí	sí
ES0000541	ZEPA	Maristany	no	sí	no	sí
ES0000544	ZEPA	Son Real	sí	sí	sí	sí
ES0000549	ZEPA	Punta Prima	sí	sí	sí	sí
ES5310024	ZEPA	La Mola	sí	sí	sí	sí
ES5310024	LIC	La Mola	sí	sí	sí	sí
ES5310029	LIC	Na Borges	sí	sí	sí	sí
ES5310030	LIC	Costa de Llevant	sí	sí	sí	sí
ES5310031	LIC	Purroig	sí	sí	sí	sí
ES5310032	LIC	Cap Llenstrisca - Sa Talaia	sí	sí	sí	sí
ES5310033	LIC	Xarraca	sí	sí	sí	sí
ES5310065	LIC	Cova des Drac de cala Santanyí	sí	sí	sí	sí
ES5310069	LIC	Cala d'Algairens	sí	sí	sí	sí
ES5310070	LIC	Punta Redona - Arenal d'en Castell	sí	sí	sí	sí
ES5310071	LIC	Cala en Brut	sí	sí	sí	sí
ES5310074	LIC	De cala Llucalari a cales Coves	sí	sí	sí	sí
ES5310075	LIC	Arenal de Son Saura	sí	sí	sí	sí
ES5310094	LIC	Cala Figuera	sí	sí	sí	sí
ES5310095	LIC	Can Picafort	sí	sí	sí	sí
ES5310096	LIC	Punta de n'Amer	sí	sí	sí	sí
ES5310098	LIC	Cales de Manacor	sí	sí	sí	sí
ES5310099	LIC	Portocolom	sí	sí	sí	sí
ES5310105	LIC	Es Amunts d'Eivissa	sí	sí	sí	sí
ES5310113	LIC	La Vall	sí	sí	sí	sí
ES5310125	LIC	Albufera de Mallorca	sí	sí	sí	sí

Tabla 4.16. Impacto del ascenso del nivel del mar en los espacios integrantes de la Red Natura 2000 de Baleares para el horizonte temporal 2100 y escenario IPCC RCP- 8.5.

CÓDIGO	FIGURA	NOMBRE	RCP 485 – 2100			
			PERMANENTE		EXTREMAL	
			46cm	103 cm	46 cm	103 cm
ES0000037	ZEPA	Es Trenc - Salobrar de Campos	sí	sí	sí	sí
ES0000037	LIC	Es Trenc - Salobrar de Campos	sí	sí	sí	sí
ES0000038	ZEPA	S'Albufera de Mallorca	sí	sí	sí	sí
ES0000073	ZEPA	Costa Brava de Mallorca	sí	sí	sí	sí
ES0000074	ZEPA	Cap de cala Figuera	sí	sí	sí	sí
ES0000074	LIC	Cap de cala Figuera	sí	sí	sí	sí
ES0000079	ZEPA	La Victòria	sí	sí	sí	sí
ES0000079	LIC	La Victòria	sí	sí	sí	sí
ES0000081	ZEPA	Cap Enderrocat - Cap Blanc	sí	sí	sí	sí
ES0000084	ZEPA	Ses Salines d'Eivissa i Formentera	sí	sí	sí	sí
ES0000084	LIC	Ses Salines d'Eivissa i Formentera	sí	sí	sí	sí
ES0000145	ZEPA	Mondragó	sí	sí	sí	sí
ES0000145	LIC	Mondragó	sí	sí	sí	sí
ES0000226	ZEPA	L'Albufereta	sí	sí	sí	sí
ES0000226	LIC	L'Albufereta	sí	sí	sí	sí
ES0000227	ZEPA	Muntanyes d'Artà	sí	sí	sí	sí
ES0000227	LIC	Muntanyes d'Artà	sí	sí	sí	sí
ES0000228	ZEPA	Cap de ses Salines	sí	sí	sí	sí

ES0000228	LIC	Cap de ses Salines	sí	sí	sí	sí
ES0000230	ZEPA	La Vall	sí	sí	sí	sí
ES0000231	ZEPA	Dels Alocs a Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000231	LIC	Dels Alocs a Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000232	ZEPA	La Mola i s'Albufera de Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000232	LIC	La Mola i s'Albufera de Fornells	sí	sí	sí	sí
ES0000233	ZEPA	D'Addaia a s'Albufera	sí	sí	sí	sí
ES0000233	LIC	D'Addaia a s'Albufera	sí	sí	sí	sí
ES0000234	ZEPA	S'Albufera des Grau	sí	sí	sí	sí
ES0000234	LIC	S'Albufera des Grau	sí	sí	sí	sí
ES0000235	ZEPA	De S'Albufera a la Mola	sí	sí	sí	sí
ES0000235	LIC	De S'Albufera a la Mola	sí	sí	sí	sí
ES0000237	ZEPA	Des Canutells a Llucalari	sí	sí	sí	sí
ES0000237	LIC	Des Canutells a Llucalari	sí	sí	sí	sí
ES0000238	ZEPA	Son Bou i barranc de sa Vall	sí	sí	sí	sí
ES0000238	LIC	Son Bou i barranc de sa Vall	sí	sí	sí	sí
ES0000239	ZEPA	De Binigaus a cala Mitjana	sí	sí	sí	sí
ES0000239	LIC	De Binigaus a cala Mitjana	sí	sí	sí	sí
ES0000240	ZEPA	Costa Sud de Ciutadella	sí	sí	sí	sí
ES0000240	LIC	Costa Sud de Ciutadella	sí	sí	sí	sí
ES0000241	ZEPA	Costa dels Amunts	sí	sí	sí	sí
ES0000241	LIC	Costa dels Amunts	sí	sí	sí	sí
ES0000443	ZEPA	Sud de Ciutadella	sí	sí	sí	sí
ES0000541	ZEPA	Maristany	sí	sí	sí	sí
ES0000544	ZEPA	Son Real	sí	sí	sí	sí
ES0000549	ZEPA	Punta Prima	sí	sí	sí	sí
ES5310024	ZEPA	La Mola	sí	sí	sí	sí
ES5310024	LIC	La Mola	sí	sí	sí	sí
ES5310029	LIC	Na Borges	sí	sí	sí	sí
ES5310030	LIC	Costa de Llevant	sí	sí	sí	sí
ES5310031	LIC	Purroig	sí	sí	sí	sí
ES5310032	LIC	Cap Llentrisca - Sa Talaia	sí	sí	sí	sí
ES5310033	LIC	Xarraca	sí	sí	sí	sí
ES5310065	LIC	Cova des Drac de cala Santanyi	sí	sí	sí	sí
ES5310069	LIC	Cala d'Algaires	sí	sí	sí	sí
ES5310070	LIC	Punta Redona - Arenal d'en Castell	sí	sí	sí	sí
ES5310071	LIC	Cala en Brut	sí	sí	sí	sí
ES5310074	LIC	De cala Llucalari a cales Coves	sí	sí	sí	sí
ES5310075	LIC	Arenal de Son Saura	sí	sí	sí	sí
ES5310094	LIC	Cala Figuera	sí	sí	sí	sí
ES5310095	LIC	Can Picafort	sí	sí	sí	sí
ES5310096	LIC	Punta de n'Amer	sí	sí	sí	sí
ES5310098	LIC	Caes de Manacor	sí	sí	sí	sí
ES5310099	LIC	Portocolom	sí	sí	sí	sí
ES5310105	LIC	Es Amunts d'Eivissa	sí	sí	sí	sí
ES5310113	LIC	La Vall	sí	sí	sí	sí
ES5310125	LIC	Albufera de Mallorca	sí	sí	sí	sí

4.8 Suelo agrícola

La variable suelo agrícola refiere a todas aquellas áreas dedicadas a la explotación agrícola y catalogadas como tales según la metodología del Sistema de Observación sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE) del Instituto Geográfico Nacional (IGN). SIOSE es una base de datos para toda España, a escala 1:25.000, multicriterio que describe mediante coberturas o combinaciones de ellas con sus diferentes porcentajes de ocupación y atributos, sin pérdida de información.

Entre las coberturas comprendidas en la base de datos se ofrece la clasificación de usos del suelo HILUCS, entre las categorías de la cual se encuentra el código 110, correspondiente a agricultura.

4.8.1 Materiales y método

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario climático y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo. Dichas capas se han cruzado primero con el recorte del SIOSE 110 Agricultura para Balears. La capa resultante se ha cruzado con la capa oficial de los polígonos municipales (IDEIB) de manera que todas las partes de un polígono de zona inundada y la población afectada pertenecen a un municipio incorporan una etiqueta con el campo municipal. Finalmente, mediante una herramienta de disolución, dicha capa ofrece los datos agregados para cada horizonte temporal, escenario climático, inundación permanente e inundación extrema, por municipio.

4.8.2 Resultados

Los resultados se presentan en las Tablas 4.17 y 4.18; así como en las Figs. 4.16, 4.17 y 4.18. El impacto en términos de suelo agrícola afectado presenta grandes diferencias entre municipios costeros, aunque a grandes rasgos se constata un impacto en un mayor número de municipios cuando el ascenso del nivel del mar supera los 40 cm. No obstante municipios como Alcúdia, Pollença, sa Pobla, Formentera o Es Mercadal ya experimentan inundación permanente de suelo agrícola a mitad de siglo con ascensos por debajo de los 40 cm.

Para el conjunto de las Balears en 2050 la superficie agrícola afectada en el peor de los casos alcanzaría 8,38 ha, mientras que para 2100 aún reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-4.5) las condiciones más adversas dejarían expuestas 1102,48 ha mientras que de mantener el ritmo de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-85) las condiciones más adversas afectarían a 269,99 ha. Una vez superados los ascensos del nivel del mar cercanos a los 40 cm en el peor de los casos la superficie bajo los efectos de los eventos extremos se queda en un rango entre las 14,56 ha y las 50,09 ha. Se trata de una superficie poco relevante y que equivale a la extensión media de las explotaciones agrarias de mayores dimensiones del archipiélago según el Censo Agrario del INE (2009).

Tabla 4.17. Superficie mínima y máxima de suelo agrícola (ha) afectado por la inundación costera de forma permanente, por isla y para cada horizonte temporal y escenario IPCC.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	0,03	8,23	5,57	86,09	24,57	231,99
Menorca	0,04	0,08	0,07	0,81	0,40	7,33
Eivissa	0,00	0,00	0,00	5,78	0,04	17,29
Formentera	0,02	0,08	0,05	9,80	0,11	13,38
Illes Balears	0,09	8,38	5,70	102,48	25,13	269,99

Tabla 4.18. Superficie mínima y máxima de suelo agrícola (ha) afectada por la inundación costera de forma permanente, por municipio y para cada horizonte temporal y escenario IPCC.

Municipio	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Alaior	0	0,00	0,00	0,00	0,29	5,55
Alcúdia	0,00	8,10	5,49	60,12	19,69	82,36
Andratx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Artà	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Banyalbufar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calvià	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00
Campos	0,00	0,00	0,00	10,65	0,00	59,35
Capdepera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ciutadella	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deià	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eivissa	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00	3,42
Es Castell	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Es Mercadal	0,04	0,08	0,07	0,72	0,11	1,35
Es Migjorn Gran	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Escorca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estellencs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Felanitx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferrerías	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formentera	0,02	0,08	0,05	9,80	0,11	13,38
Fornalutx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Llucmajor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
Manacor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
Maó	0,00	0,00	0,00	0,10	0,01	0,43
Muro	0,01	0,02	0,01	1,34	0,04	46,37
Palma	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,83
Pollença	0,00	0,06	0,02	12,84	4,74	20,41
sa Pobla	0,02	0,04	0,04	0,79	0,05	18,83
Sant Lluís	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04
Santa Margalida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Santanyí	0,00	0,00	0,00	1,00	0,04	8,76
Ses Salines	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77
Sóller	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Son Servera	0,00	0,00	0,00	2,21	0,00	5,08
St. Josep Talaia	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,99
St. Antoni Port.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91
St. Joan Labritja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
St. Llorenç Card.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06
Sta. Eulària Riu	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	0,21
Valldemossa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Por municipios, aquellos en los que su fisiografía se caracteriza por un relieve bajo y plano, son los que acusan más el efecto del ascenso del nivel marino en términos de pérdida de suelo agrícola. En el peor de los casos considerados, Alcúdia llegaría a perder 82,36 ha de suelo agrícola, a los que le seguirían las 59,35 ha de Campos o las 46,37 ha de Muro. En Menorca el escenario más adverso se dejaría nota principalmente en Alaior con una pérdida de 5,55 ha de suelo agrícola. En Eivissa encabeza el *ranking* el municipio de Sant Josep de sa Talaia, con 8,76 ha y Formentera contribuye con una pérdida de suelo agrícola de 13,38 ha.

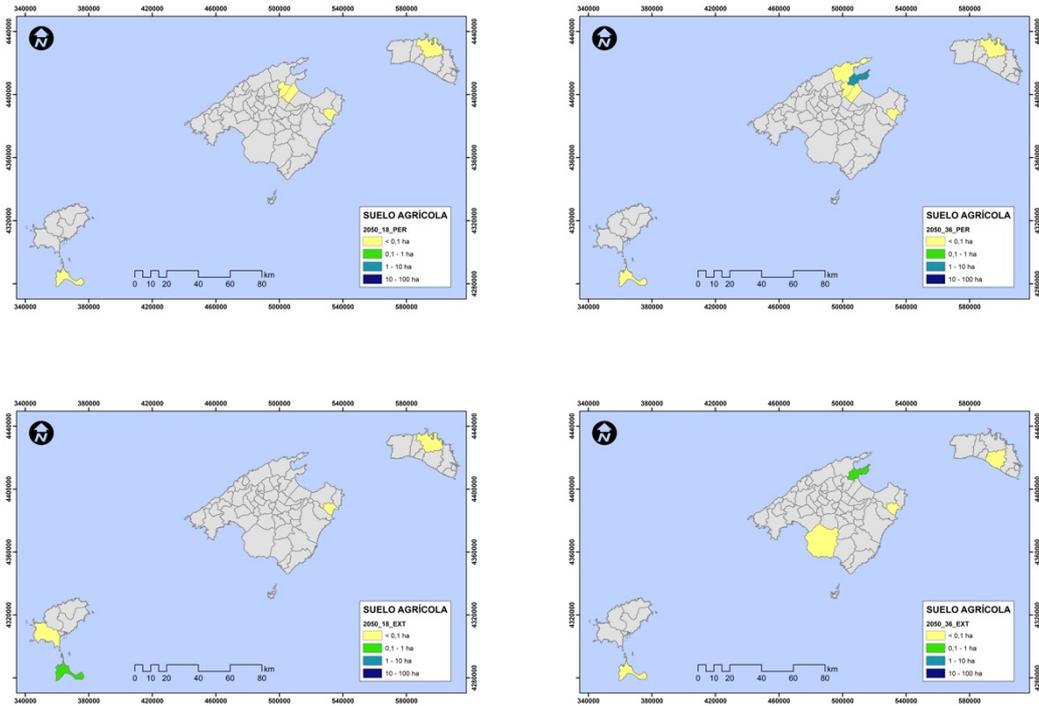


Fig. 4.16. Impacto mínimo (izquierda) y máximo (derecha) sobre el suelo agrícola de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2050 y el escenario IPCC RCP-8.5.

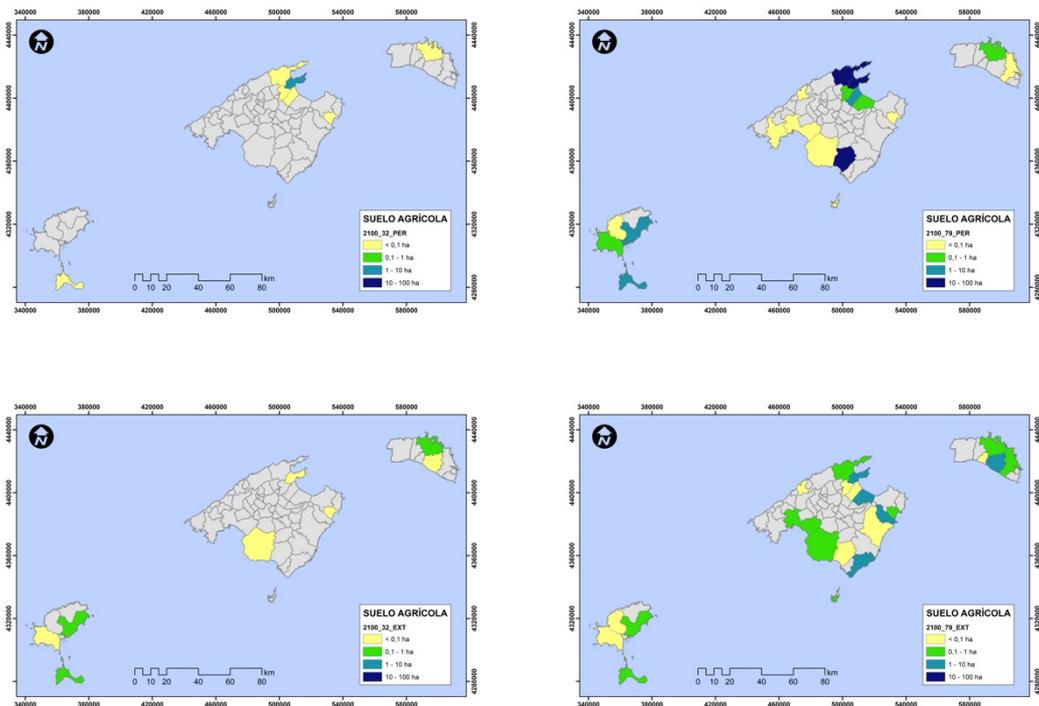


Fig. 4.17. Impacto mínimo (izquierda) y máximo (derecha) sobre el suelo agrícola de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-4.5.

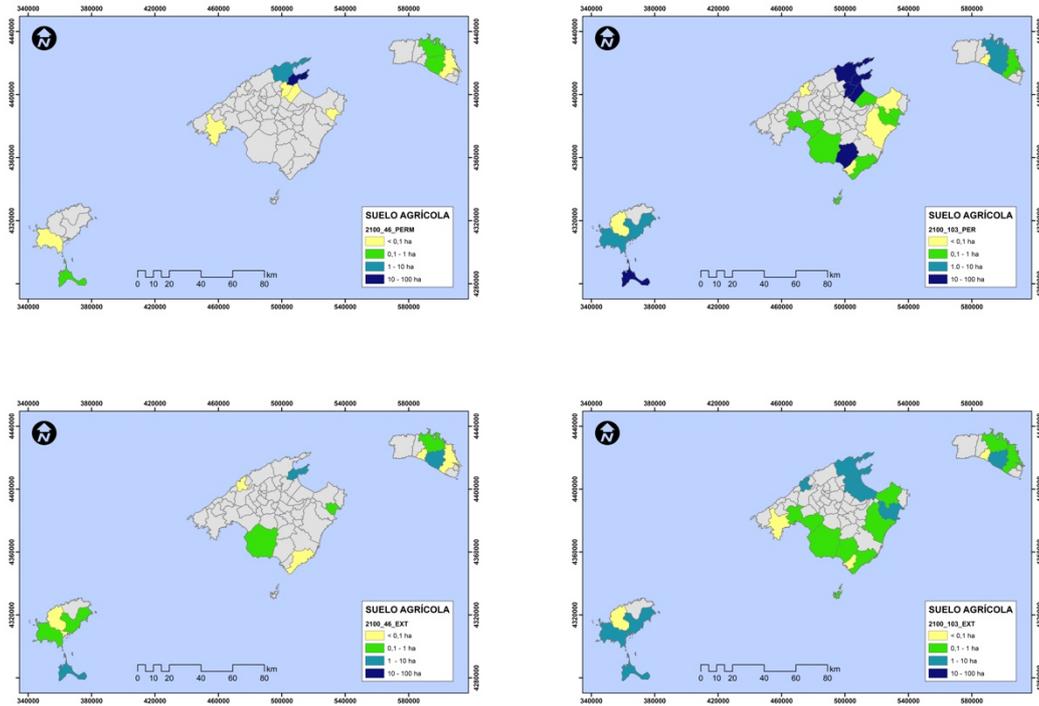


Fig. 4.18. Impacto mínimo (izquierda) y máximo (derecha) sobre el suelo agrícola de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-8.5.

4.9 Suelo industrial

La variable suelo industrial refiere a todas aquellas áreas dedicadas a la explotación industrial y catalogadas como tales según la metodología del Sistema de Observación sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE) del Instituto Geográfico Nacional (IGN). El SIOSE es una base de datos para toda España, a escala 1:25.000, multicriterio describe mediante coberturas o combinaciones de ellas con sus diferentes porcentajes de ocupación y atributos, sin pérdida de información, el uso del suelo. Entre las coberturas comprendidas en la base de datos se ofrece la clasificación de usos del suelo HILUCS, entre las categorías de la cual se encuentra el código 200 correspondiente a producción secundaria que en el presente estudio y siguiendo la propuesta del Informe Asturias-IH se adopta como sinónimo de suelo industrial

4.9.1 Materiales y método

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo. Dichas capas se han cruzado primero con el recorte del SIOSE 200 Producción Secundaria. La capa resultante se ha cruzado con la capa oficial de los polígonos municipales (IDEIB) de manera que todas las partes de un polígono de zona inundada y la población afectada que caen dentro de un municipio incorporan una etiqueta con el campo municipal. Finalmente la capa mediante una herramienta de

disolución ofrece los datos agregados para cada horizonte temporal, escenario, inundación permanente e inundación extremal, por municipio.

4.9.2 Resultados

Tan solo hay dos municipios en los que el ascenso del nivel del mar afecte al suelo clasificado como suelo industrial, Palma en Mallorca y Sant Josep de sa Talaia en Eivissa. En el municipio de Palma para el horizonte 2050 y el escenario IPCC RCP-4.5 ya en el rango menor de ascenso del nivel del mar (18 cm) se observa un impacto sobre el suelo industrial que afecta alrededor de 0,27 ha durante el evento extremo con periodo de retorno 100 años. Para 2100 y con un ascenso máximo de 103 cm (RCP-8.5), la subida del nivel del mar permanente llegaría a afectar el equivalente a una parcela de 0,75 ha. El impacto es mayor en el municipio de Sant Josep de sa Talaia, aunque en este caso los efectos no se aprecian hasta finales de siglo y para los rangos de ascenso de nivel del mar máximos previstos tanto en el RCP-4.5 (79 cm) como en el RCP-8.5 (103 cm), con lo que la inundación permanente alcanzaría a 1,61 ha y 16,9 ha respectivamente.

4.10 Suelo residencial

La variable suelo residencial refiere a todas aquellas áreas cuyo principal uso del suelo es la residencia, bien en disperso, bien en continuo, según la metodología del Sistema de Observación sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE) del Instituto Geográfico Nacional (IGN). El SIOSE es una base de datos para toda España, a escala 1:25.000, multicriterio que describe el uso del suelo mediante coberturas o combinaciones de ellas con sus diferentes porcentajes de ocupación y atributos, sin pérdida de información. Entre las coberturas comprendidas en la base de datos se ofrece la clasificación de usos del suelo HILUCS, entre las categorías de la cual se encuentra el código 500 correspondiente a usos residenciales.

4.10.1 Materiales y método

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario climático y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo. Dichas capas se han cruzado primero con el recorte del SIOSE 500 usos residenciales para Baleares. La capa resultante se ha interseccionado con la capa oficial de los polígonos municipales (IDEIB) de manera que todas las partes de un polígono de zona inundada y la población afectada que pertenecen a un municipio incorporan una etiqueta con el campo municipal. Finalmente, mediante una herramienta de disolución, dicha capa agrega los datos para cada horizonte temporal, escenario, inundación permanente e inundación extremal, por municipio.

4.10.2 Resultados

Los resultados se presentan en las Tablas 4.19 y 4.20; así como en las Figs. 4.19, 4.20 y 4.21. El impacto en términos de suelo residencial afectado presenta grandes diferencias entre municipios costeros, aunque a grandes rasgos se constata un aumento significativo en el número de municipios impactados cuando el ascenso del nivel medio del mar

supera los 40 cm. No obstante municipios como Alcúdia, Muro y Pollença duplican o incluso triplican el impacto del segundo grupo de municipios más afectados que son Eivissa, Formentera, Palma o Calvià, los cuales ya experimentan inundación permanente de suelo para uso residencial a mitad de siglo con ascensos del nivel del mar por debajo de los 40 cm.

Tabla 4.19. Superficie mínima y máxima de suelo de uso residencial (m²) afectado por la inundación costera de forma permanente, por isla y para cada horizonte temporal y el escenario.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	0,79	7,48	5,08	53,26	12,81	89,20
Menorca	0,03	0,17	0,09	1,00	0,23	2,20
Eivissa	0,11	0,24	0,17	1,91	0,29	3,38
Formentera	0,01	0,27	0,08	0,92	0,32	2,33
Illes Balears	0,93	8,16	5,42	57,09	13,66	97,11

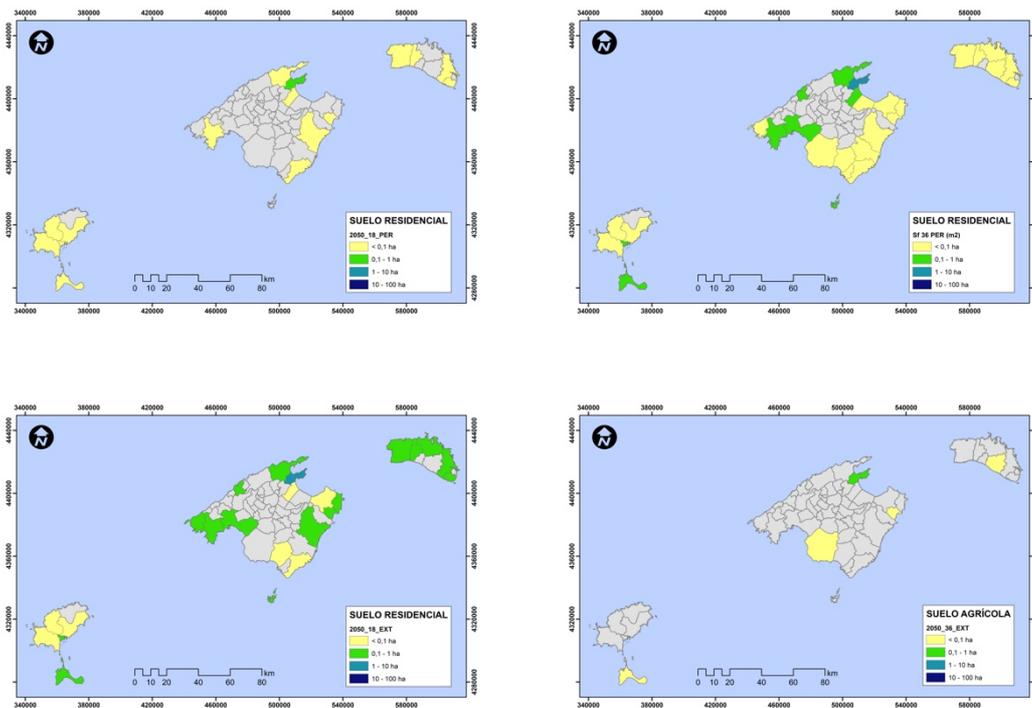


Fig. 4.19. Impacto mínimo (izquierda) y máximo (derecha) sobre el suelo residencial de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2050 y el escenario IPCC RCP-8.5.

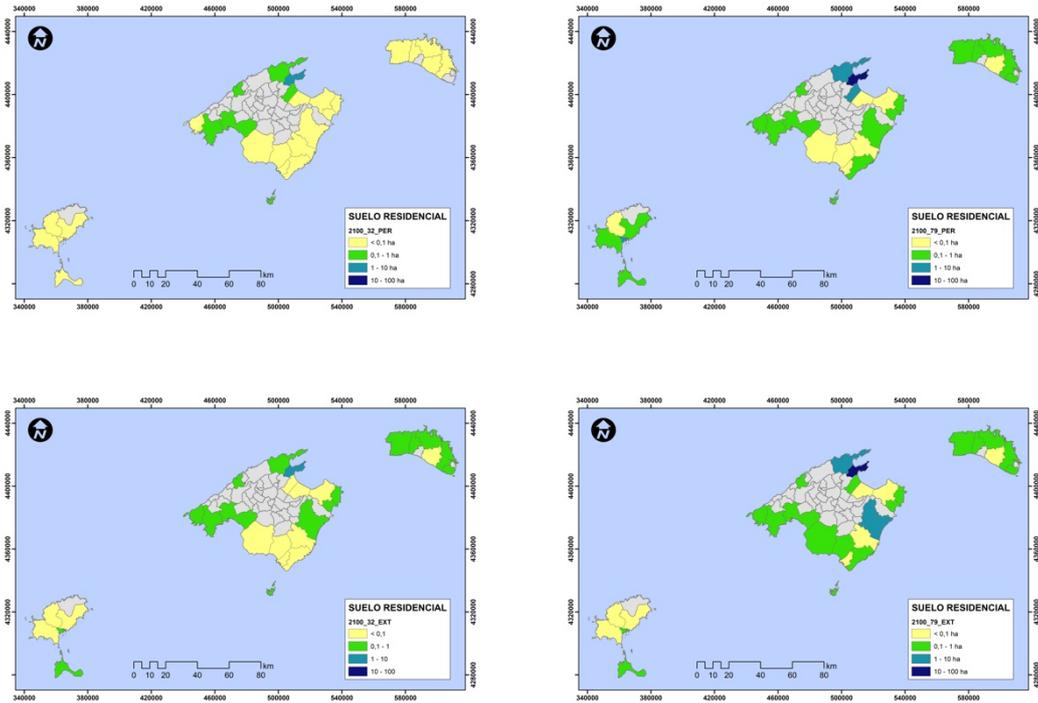


Fig. 4.20. Impacto mínimo (izquierda) y máximo (derecha) sobre el suelo residencial de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-4.5.

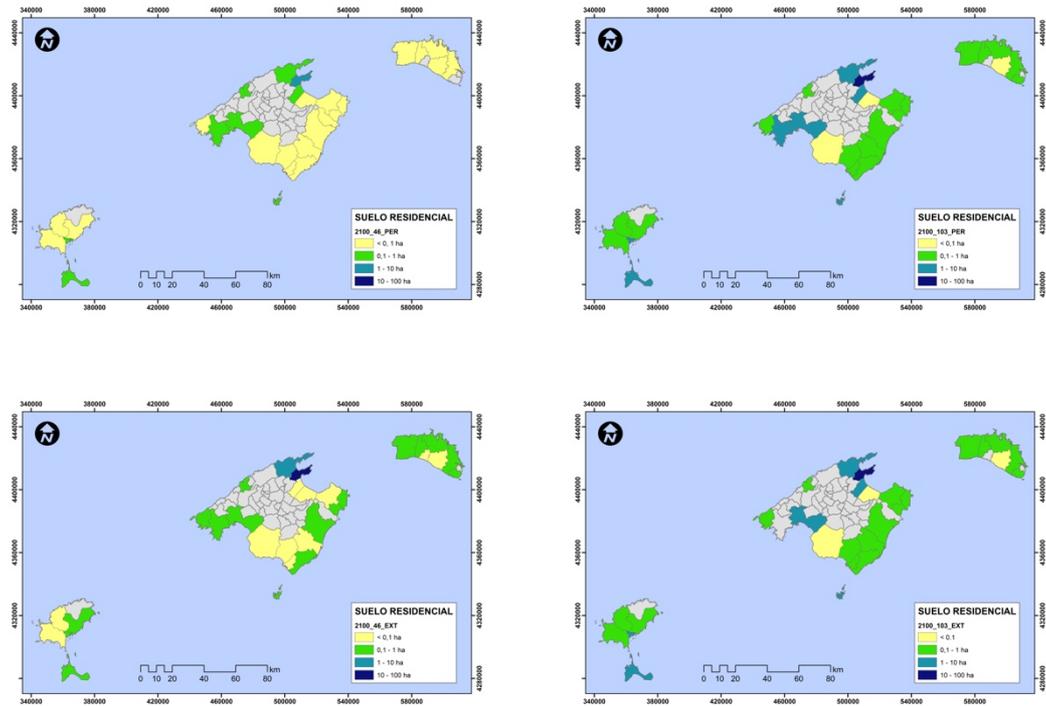


Fig. 4.21. Impacto mínimo (izquierda) y máximo (derecha) sobre el suelo residencial de forma permanente (superior) y durante el escenario extremo más adverso (inferior) por municipio para el horizonte temporal 2100 y el escenario IPCC RCP-8.5.

Tabla 4.20. Superficie mínima y máxima de suelo de uso residencial (m²) afectada por la inundación costera de forma permanente, por municipio y para cada horizonte temporal y el escenario IPCC.

Municipio	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Alaior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcúdia	0,66	5,41	3,48	44,78	9,81	74,50
Andratx	0,00	0,04	0,03	0,15	0,05	0,21
Artà	0,00	0,05	0,03	0,09	0,05	0,13
Banyalbufar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calvià	0,01	0,46	0,29	0,99	0,46	1,27
Campos	0,00	0,01	0,01	0,07	0,02	0,11
Capdepera	0,00	0,04	0,02	0,13	0,04	0,20
Ciutadella	0,01	0,07	0,04	0,23	0,09	0,60
Deià	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eivissa	0,05	0,10	0,08	1,36	0,13	2,26
Es Castell	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Es Mercadal	0,00	0,01	0,01	0,25	0,04	0,53
Es Migjorn Gran	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Escorca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estellencs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Felanitx	0,00	0,05	0,02	0,08	0,04	0,12
Ferrerías	0,00	0,00	0,01	0,14	0,01	0,36
Formentera	0,01	0,27	0,08	0,92	0,32	2,33
Fornalutx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Llucmajor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manacor	0,01	0,05	0,03	0,13	0,04	0,15
Maó	0,00	0,05	0,04	0,28	0,10	0,56
Muro	0,08	0,13	0,12	3,20	0,67	5,07
Palma	0,00	0,47	0,45	0,64	0,50	1,27
Pollença	0,00	0,40	0,34	1,71	0,62	3,65
sa Pobla	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sant Lluís	0,00	0,01	0,01	0,06	0,01	0,12
Santa Margalida	0,01	0,03	0,03	0,14	0,04	0,18
Santanyí	0,00	0,02	0,01	0,19	0,02	0,58
Ses Salines	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
Sóller	0,01	0,03	0,00	0,10	0,00	0,15
Son Servera	0,03	0,08	0,05	0,16	0,09	0,25
St. Josep Talaia	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05
St. Antoni Port.	0,01	0,05	0,03	0,12	0,05	0,26
St. Joan Labritja	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,24
St. Llorenç Card.	0,00	0,15	0,14	0,52	0,21	0,79
Sta. Eulària Riu	0,00	0,10	0,03	0,34	0,09	0,61
Valldemossa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Para el conjunto de las Baleares en 2050 la superficie residencial afectada en el peor de los casos alcanzaría 0,93 ha, mientras que para 2100 aún reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-4.5) las condiciones más adversas dejarían expuestas 57,09 ha mientras que de mantener el ritmo de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-8.5) las condiciones más adversas afectarían a 97,11 ha de suelo residencial en 2100. Una vez superados los ascensos del nivel del mar cercanos a los 40 cm en el peor de los casos la superficie bajo los efectos de los eventos extremos suma un rango entre las 21,47 ha y las 43,49 ha. En ambos casos, el impacto acumulado entre inundación permanente y

temporal apenas supera 35,32 ha y 140,6 ha respectivamente, una superficie poco relevante y que equivale a la superficie de uso agrícola inundada. No obstante, dicho impacto en términos económicos o de afectación de las personas es mucho mayor (vid. Sección 5).

4.11 Establecimientos turísticos y plazas turísticas

Las variables establecimientos turísticos y plazas turísticas refieren al número de hoteles y sus plazas ofertadas. No existe una capa de información geográfica unificada disponible en la IDEIB al respecto, por lo que ha sido necesario compilar la información de tres fuentes diferentes (Tabla 4.21). La información que concierne a la isla de Mallorca ha sido facilitada por SITIBSA, mientras que la de Menorca es una capa del Observatorio Socio Ambiental de Menorca (OBSAM) y la de Eivissa y Formentera es una capa temática perteneciente al estudio de Pons et al. (2014), facilitada por el Grup d'Investigació en Sostenibilitat i Territori (GIST) de la Universitat de les Illes Balears. Debe especificarse que el número de plazas turísticas solo está disponible para la isla de Mallorca.

Tabla 4.21. Variables y fuentes de información espacial utilizadas para la caracterización de la exposición de los establecimientos turísticos.

Variable	Fuente	Cartografía	Proveedor
Establecimientos de alojamiento turístico y número de plazas de Mallorca	SITIBSA	1:5.000	SITIBSA
Establecimientos de alojamiento turístico De Menorca	IDE Menorca, Consell Insular de Menorca	1:5.000	SITIBSA
Establecimientos de alojamiento turístico de Eivissa y Formentera	GIST (2013) Mapes de l' allotjament turístic de les Illes Balears. 1931-2010. Universitat de les Illes Balears, Grup d'Investigació de Sostenibilitat i Territori, Palma. Sense publicar.	1:5.000	GIST (UIB)

4.1.1.1 Materiales y métodos

Para la determinación de la superficie inundada se ha partido de las capas de inundación para cada horizonte, escenario climático y sus variantes de inundación permanente y asociada al evento extremo más adverso con periodo de retorno 100 años. Dichas capas se han cruzado primero con las diferentes capas en las que se recogen el número de establecimientos turísticos y si se da el caso, su correspondiente número de plazas (Tabla 4.21). Las capas resultantes se han cruzado con la capa oficial de los polígonos de los límites municipales (IDEIB) de manera que todas las partes de un polígono de zona inundada y la infraestructura crítica afectada que caen dentro de un municipio incorporan una etiqueta con el campo municipal. Finalmente mediante una herramienta de disolución se ofrecen los datos agregados para cada horizonte temporal, escenario, inundación permanente e inundación extremal, por municipio.

4.11.2 Resultados

Los resultados se presentan en las Tablas 4.22, 4.23 y 4.24. El impacto en términos de establecimientos turísticos es limitado, puesto que de toda la planta hotelera de Balears, en el peor de los escenarios 49 establecimientos se verían afectados de forma permanente. Debe entenderse como afectados aquellos en los que el ascenso del nivel del mar incidirá en la parcela del establecimientos y sus equipamientos (p.e. piscina, jardín) y/o en el propio edificio del establecimiento.

Tabla 4.22. Número mínimo y máximo de hoteles afectados por la inundación costera de forma permanente, por isla y para cada horizonte temporal y el escenario climático.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	0	1	1	32	3	49
Menorca	0	0	0	0	0	0
Eivissa	0	0	0	0	0	0
Formentera	0	0	0	0	0	0
Illes Balears	0	1	1	32	3	49

Tabla 4.23. Número mínimo y máximo de hoteles afectados por la inundación costera durante el evento extremo más adverso con periodo de retorno 100 años, por isla y para cada horizonte temporal y el escenario climático.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	0	2	2	20	6	24
Menorca	0	0	0	0	0	0
Eivissa	0	0	0	0	0	0
Formentera	0	0	0	0	0	0
Illes Balears	0	2	2	20	6	24

Como puede apreciarse en las tablas y figuras los hoteles afectados están muy localizados en la bahía de Alcúdia (Fig. 4.22). Solo hay alguna incidencia puntual en Capdepera, Calvià y Sóller fuera de ese ámbito geográfico. Los hoteles de Menorca y Pitiusas se localizan en puntos que quedan fuera del alcance del ascenso del nivel medio del mar y de las cotas asociadas a los eventos extremos.

Si se toma en consideración el alcance de los eventos extremos con periodo de retorno 100 años, de forma puntual, la cota de inundación alcanzaría, ya en 2050, a un hotel en Alcúdia y otro en Muro. En el supuesto de ascenso de nivel medio del mar máximo para el RCP-8.5; superado el umbral de ascenso de 40 cm de nivel medio marino, la horquilla de establecimientos turísticos comprometidos, en los escenarios más adversos, oscilaría entre los 6 y 49 establecimientos para la inundación permanente y entre 9 y 73 si se le suma el efecto de la eventual. Todos ellos ubicados principalmente en los municipios citados anteriormente (Fig. 4.22).

En plazas turísticas, para 2050 en el peor de los casos se perderían 358 plazas de forma permanente y 40 ser verían afectadas temporalmente; mientras que en 2100 para el escenario RCP-4.5 la afección permanente alcanzaría 8.436 plazas y la temporal 4.095. El escenario menos favorable para 2100 (RCP-8.5) dejaría una pérdida de 11.482 plazas

turísticas, a las que cabría añadir un conjunto de 9.920 plazas turísticas que se verían temporalmente comprometidas por el temporal con periodo de retorno 100 años.

Tabla 4.24. Número de establecimientos turísticos afectados por la inundación costera de forma permanente, por municipio y para cada horizonte temporal y el escenario climático.

Municipio	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Alaior	0	0	0	0	0	0
Alcúdia	0	0	0	19	2	31
Andratx	0	0	0	0	0	0
Artà	0	0	0	0	0	0
Calvià	0	0	0	0	0	0
Campos	0	0	0	0	0	0
Capdepera	0	0	0	0	0	0
Ciutadella	0	0	0	0	0	0
Felanitx	0	0	0	0	0	0
Ferrieres	0	0	0	0	0	0
Formentera	0	0	0	0	0	0
Eivissa	0	0	0	0	0	0
Llucmajor	0	0	0	0	0	0
Maó	0	0	0	0	0	0
Manacor	0	0	0	0	0	0
Es Mercadal	0	0	0	0	0	0
Muro	0	1	1	9	1	10
Palma	0	0	0	0	0	0
Pollença	0	0	0	4	0	4
Sa Pobla	0	0	0	0	0	0
Sant Antoni Por.	0	0	0	0	0	0
Sant Josep Tal.	0	0	0	0	0	0
Sant Joan Labr.	0	0	0	0	0	0
Sant Llorenç Car.	0	0	0	0	0	0
Sant Lluís	0	0	0	0	0	0
Santa Eulàlia R.	0	0	0	0	0	0
Santa Margalida	0	0	0	0	0	0
Santanyí	0	0	0	0	0	0
Ses Salines	0	0	0	0	0	0
Sóller	0	0	0	0	0	4
Son Servera	0	0	0	0	0	0
Es Migjorn Gran	0	0	0	0	0	0

Cabe advertir que la localización de los hoteles en las capas utilizadas toma como referencia su dirección postal, no la posición del polígono correspondiente a la parcela del establecimiento o la extensión de los edificios principales. Por tanto, en función de las dimensiones del establecimiento, este dista con mucho de la posición de su acceso principal a la calle. Una revisión visual de la ortofotografía con las capas de inundación sobrepuestas, revela que aquellos casos en los que los puntos con la dirección postal de establecimientos no han sido inundados pero que están cercanos al límite de dichas capas, los edificios de los hoteles no se ven comprometidos, aunque no ocurre lo mismo con algunas de sus instalaciones (p.e. piscinas, jardines, aparcamientos). Por otro lado, para los hoteles de Mallorca y especialmente los del ámbito Muro-Alcúdia, se da el caso

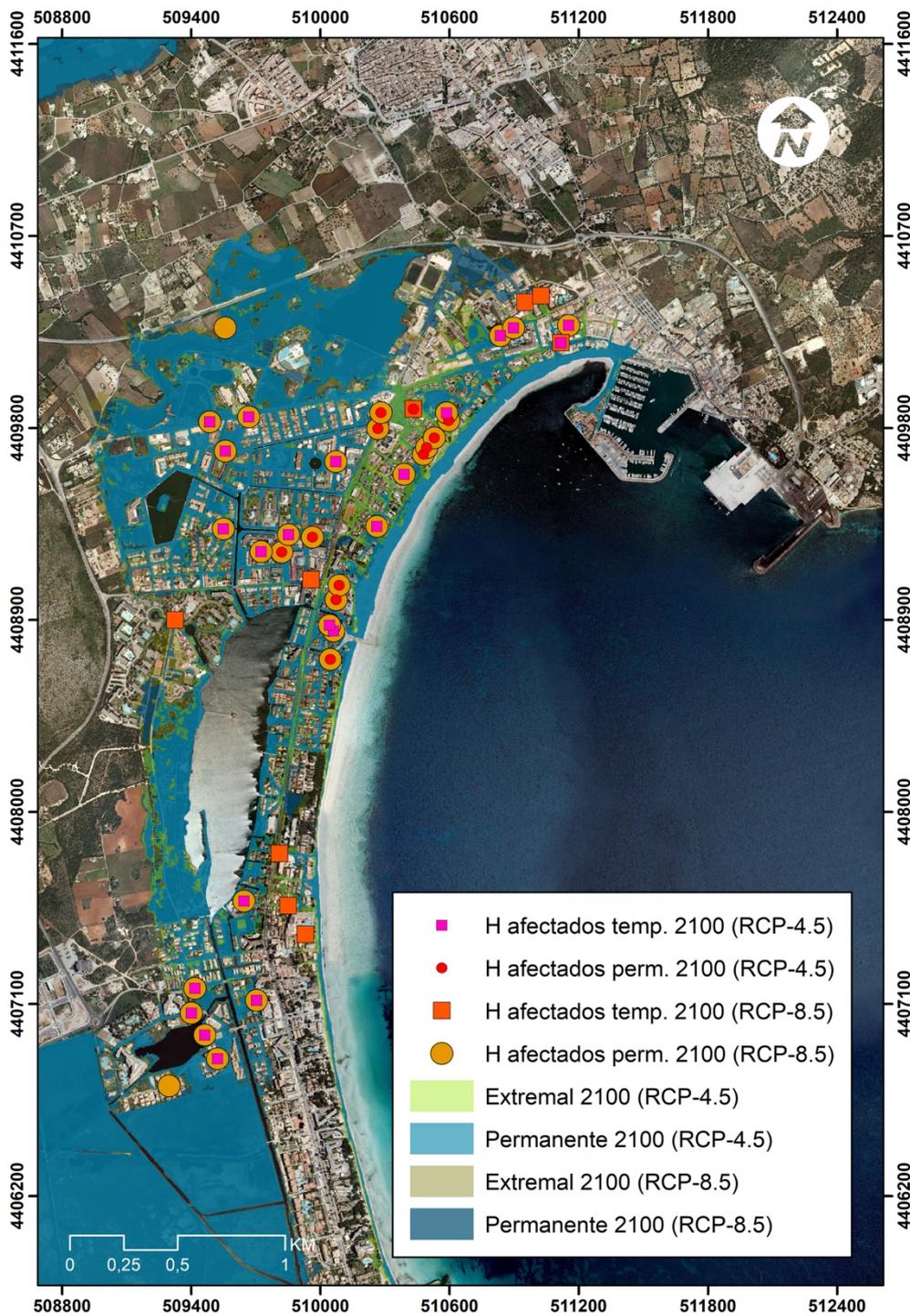


Fig. 4.22. Afectación de la planta hotelera del sector norte de la Bahía d'Alcúdia para las condiciones más adversas permanentes y extremales para los escenarios RCP-4.5 y RCP-8.5 de 2100.

que mientras algunos hoteles no se verán comprometidos por el ascenso del nivel medio del mar, sí que se verán afectados sus accesos, circunstancia que tampoco recoge el método implementado.

También debe tenerse en cuenta que mientras que en Menorca no se da ningún caso en que pueda considerarse un sesgo en los resultados relativos a los establecimientos hoteleros, en la isla de Eivissa cabe tener cierta precaución con algunos hoteles situados en la Platja d'en Bossa y en Talamanca. Pues si bien su acceso principal no queda afectado por la inundación, si que algunas de sus instalaciones, piscinas, jardines o aparcamientos, se verían comprometidos en los diferentes escenarios para 2100. Especialmente aquellos más cercanos al Prat d'en Fita o el Pla de Sant Jordi o los del sector más septentrional de Talamanca (Fig. 4.23 y 4.24). Por lo que el impacto del ascenso del mar sobre la planta hotelera podría haber quedado minusvalorado por la naturaleza de los datos utilizados y el método.

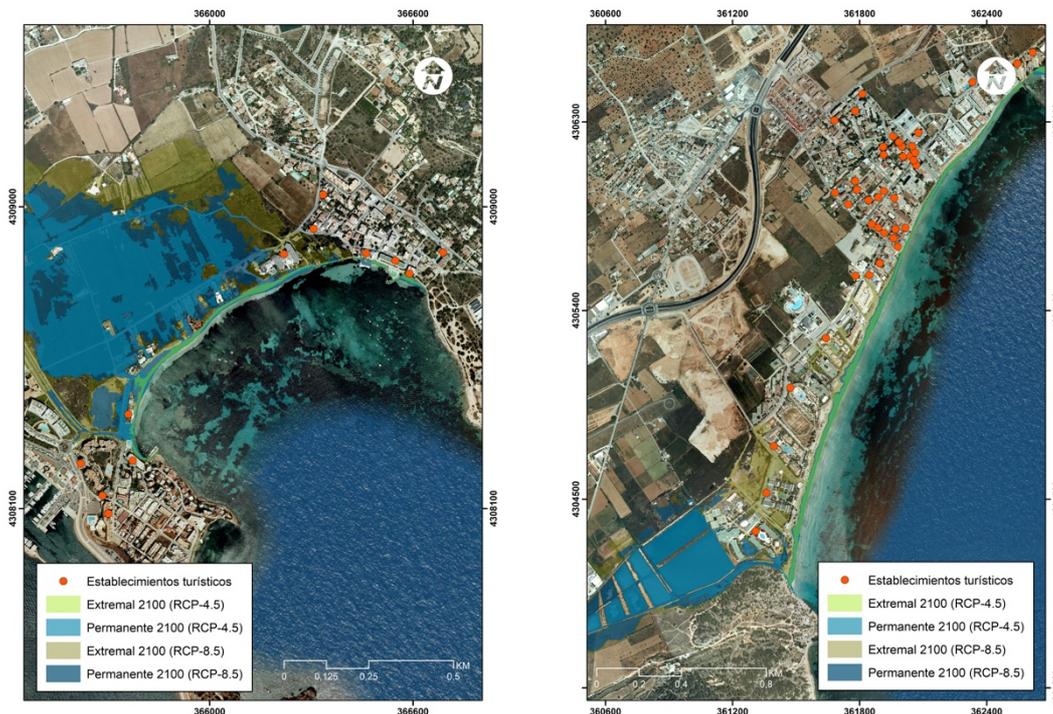


Fig. 4.23. Ejemplos de afectación parcial de los establecimientos turísticos en Talamanca (izquierda) y Plata d'en Bossa (derecha) en Eivissa para las condiciones más adversas permanentes y extremales para los escenarios RCP-4.5 Yy RCP-8.5 de 2100

4.12 Erosión de playas

Las últimas de las variables consideradas en el bloque de evaluación de impactos y vulnerabilidad es la erosión de las playas, tanto en términos de superficie como de ancho medio. El ancho y la superficie de playa, aquí, se entienden como la correspondiente a la playa alta o seca y que queda delimitada por la línea del nivel medio del mar y el primer accidente de relieve que se encuentre, sea una duna costera o el muro de un paseo marítimo. Los datos de erosión de playas se han obtenido para una población de 163 playas de las que se disponía de datos granulométricos de detalle.

4.12.1 Materiales y método

El detalle del método y los materiales utilizados se describe en la sección 3, aunque a diferencia del resto de indicadores no se ha procedido a la regionalización o asignación de valores a cada uno de los municipios, ya que en muchos casos son diferentes los límites administrativos que dividen una misma unidad funcional desde el punto de vista morfodinámico. Los valores que se darán a continuación deben de usarse teniendo en cuenta las limitaciones del método y que solo abordan los cambios de la playa en su componente *cross-shore*, descartando las contribuciones del cambio en planta y el papel del transporte longitudinal.

4.12.2 Resultados

Los resultados se presentan en las Tablas 4.25, 4.26 y 4.27. El impacto del ascenso del nivel marino no necesariamente se traducirá en una desaparición de la playa, puesto que siempre que disponga del espacio de acomodación suficiente en su trasplaya, así como de sedimento, el ambiente sedimentario se trasladará hacia tierra. Bajo los supuestos adoptados en el apartado 3 de la presente memoria, aquellas playas cuya trasplaya esté limitada por un paseo marítimo o un acantilado, y que por fisiografía o usos antrópicos no puedan recular experimentarán una erosión irreversible.

Para el horizonte temporal 2050 se prevé que el retroceso de las playas para el conjunto de las Illes Balears suponga un retroceso total del ancho medio de playa entre 5,3 y 10 metros lineales y que para el 2100, dicha horquilla bajo los escenarios RCP-4.5 abrace de 10 a 21 m y para el RCP-8.5 entre 14,7 y 24,4 m (Tabla 4.25), dentro del rango de condiciones metodológicas y asunciones descritos en el apartado 3 de la presente memoria.

Tabla 4.25. Promedio de reducción del ancho medio de playa (metros lineales) por isla y para cada horizonte temporal y escenario.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	5,7	10,9	11,4	23,5	16,0	27,5
Menorca	5,6	10,3	10,8	19,5	14,7	21,9
Pitiüses	3,5	7,1	7,5	16,8	11,2	20,5
Illes Balears	5,3	10,0	10,5	21,0	14,7	24,4

Tabla 4.26. Pérdida total de superficie de playa (ha), por isla y para cada horizonte temporal y escenario.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	30,2	54,2	56,3	107,2	76,1	121,8
Menorca	5,4	10,3	10,9	20,5	15,3	22,6
Pitiüses	4,6	9,3	9,8	22,3	14,7	27,2
Illes Balears	40,1	73,8	77,1	150,0	106,1	171,6

Tabla 4.27. Promedio de reducción de la superficie de playa (ha) por isla y para cada horizonte temporal y escenario.

	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Mallorca	0,4	0,7	0,7	1,3	0,9	1,5
Menorca	0,1	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4
Pitiüses	0,1	0,3	0,3	0,7	0,5	0,9
Illes Balears	0,2	0,5	0,5	0,9	0,7	1,1

En términos de superficie el ascenso del nivel medio del mar en Baleares supondrá para 2050 la pérdida de entre 40 y 74 ha. Para el año 2100, dicha horquilla bajo los abrazará de 77 a 150 ha de playa seca bajo los escenarios RCP-4.5 y entre 106 y 172 ha de playa seca para el escenario RCP-8.5 (Tabla 4.26). Por playa, en las condiciones más adversas, las playas de Baleares verán reducida su superficie media en 0,5 ha para 250, y en 1,1 ha para 2100 (Tabla 4.27).

En las Fig. 4.24, 4.25, 4.26 y 4.27 se presenta una evolución de la pérdida de playa en términos relativos para cada uno de los casos caracterizados. Puede apreciarse que en cada una de las islas del archipiélago una vez superados los 40 cm de ascenso del nivel del mar, lo que equivaldría a las condiciones más adversas para el 2100 bajo los escenarios RCP-4.5 y para cualquiera de las condiciones de los escenarios RCP-8.5, las playas experimentan retrocesos significativos de ancho medio y superficie (>66% de las playas consideradas).

MALLORCA		2050 RCP8#5		2100 RCP4#5		2100 RCP8#5	
CODIGO	TOPÓNIMO	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)
MA002	PLATJA PETITA	●	●	●	●	●	●
MA003	PLATJA DES GEPERUT	●	●	●	●	●	●
MA015	PORT DE SÓLLER	●	●	●	●	●	●
MA024	CALA BARQUES	●	●	●	●	●	●
MA025	CALA CLARA	●	●	●	●	●	●
MA026	CALA MOLINS	●	●	●	●	●	●
MA033	PLATJA DE FORMENTOR	●	●	●	●	●	●
MA039	PLATJA D'ALBERCUTX	●	●	●	●	●	●
MA040	PORT DE POLLENÇA	●	●	●	●	●	●
MA041	L'ARENALET	●	●	●	●	●	●
MA042	PLATJA DE LLENAIRE	●	●	●	●	●	●
MA043	PLATJA DE CAN CULLERASSA	●	●	●	●	●	●
MA044	PLATJA DES CAP DE CAN BOU	●	●	●	●	●	●
MA045	PLATJA DE SA MARINA	●	●	●	●	●	●
MA046	CORRAL D'EN BENASSER	●	●	●	●	●	●

Fig. 4.24a. Pérdida en % de playa para la isla de Mallorca para cada horizonte temporal y escenario. Los puntos verdes implican una reducción en ancho medio y superficie inferior al 33%, los puntos amarillos entre el 33 y el 66% y los rojos superiores al 66%.

MALLORCA		2050 RCP8#5		2100 RCP4#5		2100 RCP8#5	
CODIGO	TOPÓNIMO	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)
MA047	ES MOLLET DES BARCARÉS	●	●	●	●	●	●
MA048	ES BARCARÉS	●	●	●	●	●	●
MA050	PLATJA DE SA FONT DE SANT JOAN	●	●	●	●	●	●
MA051	PLATJA DE SANT PERE	●	●	●	●	●	●
MA066	PLATJA D'ALCUDIA	●	●	●	●	●	●
MA067	PLATJA DE MURO	●	●	●	●	●	●
MA068	PLATJA DE NA PATANA	●	●	●	●	●	●
MA075	ES DOLÇ	●	●	●	●	●	●
MA076	SON SERRA DE MARINA	●	●	●	●	●	●
MA082	CALA DE CA SES LLISSES	●	●	●	●	●	●
MA109	PLATJA DE SA MESQUIDA	●	●	●	●	●	●
MA112	CALA AGULLA	●	●	●	●	●	●
MA126	PLATJA DE SA FONT DE SA CALA	●	●	●	●	●	●
MA129	PLATJA DE CANYAMEL	●	●	●	●	●	●
MA134	CALA ROJA	●	●	●	●	●	●
MA139	PLATJA DE SA MARJAL	●	●	●	●	●	●
MA142	SES BASSETES	●	●	●	●	●	●
MA146	CALA BONA	●	●	●	●	●	●
MA147	CALA MILLOR	●	●	●	●	●	●
MA148	PLATJA DE SA COMA	●	●	●	●	●	●
MA149	PLATJA DE SA MOREIA	●	●	●	●	●	●
MA153	PORT DE MANACOR	●	●	●	●	●	●
MA155	CALA ANGUILA	●	●	●	●	●	●
MA156	CALA MENDIA	●	●	●	●	●	●
MA157	ESTANY D'EN MAS	●	●	●	●	●	●
MA167	CALA ANTENA	●	●	●	●	●	●
MA169	ES DOMINGOS GRAN	●	●	●	●	●	●
MA170	ES DOMINGOS VELL	●	●	●	●	●	●
MA171	CALA MURADA	●	●	●	●	●	●
MA172	ARENAL DELS HOMES	●	●	●	●	●	●
MA173	ARENAL DELS ASES	●	●	●	●	●	●
MA174	CALA MARÇAL	●	●	●	●	●	●
MA179	CAL FERRERA E	●	●	●	●	●	●
MA180	CALA FERRERA W	●	●	●	●	●	●
MA181	CALO DES CORRAL	●	●	●	●	●	●
MA182	CALA GRAN	●	●	●	●	●	●
MA191	CALÓ D'EN GARROT	●	●	●	●	●	●
MA192	S'AMARADOR	●	●	●	●	●	●
MA194	CALA SANTANYÍ	●	●	●	●	●	●
MA195	CALA LLOMBARDS	●	●	●	●	●	●
MA204	PLATJA DES CARBO - ROQUETES	●	●	●	●	●	●
MA207	PLATJA DES DOLÇ	●	●	●	●	●	●
MA211	PLATJA D'ES MARQUÉS	●	●	●	●	●	●
MA213	PLATJA DES TRENC	●	●	●	●	●	●
MA214	SES COVETES	●	●	●	●	●	●
MA215	PLATJA DES MORTERS	●	●	●	●	●	●
MA216	ARENAL DE SA RÀPOTA	●	●	●	●	●	●
MA217	S'ESTANYOL - RACÓ DE S'ARENA	●	●	●	●	●	●
MA218	CALA PI	●	●	●	●	●	●
MA222	CALA MOSQUES	●	●	●	●	●	●
MA224	CN ARENAL	●	●	●	●	●	●
MA225	S'ARENAL	●	●	●	●	●	●
MA226	CAN PASTILLA	●	●	●	●	●	●
MA227	CALA ESTANCIA	●	●	●	●	●	●
MA235	CIUTAT JARDI	●	●	●	●	●	●
MA244	SES TRONERES	●	●	●	●	●	●
MA245	PLATJA DE CAN PERE ANTONI	●	●	●	●	●	●
MA246	PUNTA DES GAS	●	●	●	●	●	●

Fig. 4.24b. Pérdida en % de playa para la isla de Mallorca para cada horizonte temporal y escenario climático. Los puntos verdes implican una reducción en ancho medio y superficie inferior al 33%, los puntos amarillos entre el 33 y el 66% y los rojos superiores al 66%.

MALLORCA		2050 RCP8#5		2100 RCP4#5		2100 RCP8#5	
CODIGO	TOPÓNIMO	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)
MA248	CALA MAJOR	●	●	●	●	●	●
MA256	ILLETES	●	●	●	●	●	●
MA263	CALA PORTALS NOUS	●	●	●	●	●	●
MA282	PLATJA DE NA NADALA	●	●	●	●	●	●
MA284	PLATJA DE MAGALUF	●	●	●	●	●	●
MA285	CALA VINYES	●	●	●	●	●	●
MA299	SANTA PONÇA	●	●	●	●	●	●
MA305	PLATJA DE PALMIRA	●	●	●	●	●	●

Fig. 4.24c. Perdida en % de playa para la isla de Mallorca para cada horizonte temporal y escenario climático. Los puntos verdes implican una reducción en ancho medio y superficie inferior al 33%, los puntos amarillos entre el 33 y el 66% y los rojos superiores al 66%.

FORMENTERA		2050 RCP8#5		2100 RCP4#5		2100 RCP8#5	
CODIGO	TOPÓNIMO	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)
FOR011	PLATJA DE N'ADOLF	●	●	●	●	●	●
FOR022	CALA SAONA	●	●	●	●	●	●
FOR023	PLATJA DE MITGJORN	●	●	●	●	●	●
FOR032	PLATJA DES PUJOLS	●	●	●	●	●	●
FOR034	SA ROQUETA	●	●	●	●	●	●
FOR041	PLATJA DE TRUCADORS 3	●	●	●	●	●	●

Fig. 4.25. Perdida en % de playa para la isla de Formentera en función de cada horizonte temporal y escenario climático. Los puntos verdes implican una reducción en ancho medio y superficie inferior al 33%, los puntos amarillos entre el 33 y el 66% y los rojos superiores al 66%.

EIVISSA		2050 RCP8#5		2100 RCP4#5		2100 RCP8#5	
CODIGO	TOPÓNIMO	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)
EI001	PLATJA DE SES SALINES	●	●	●	●	●	●
EI032	CALA D'HORT	●	●	●	●	●	●
EI034	CALA VEDELLA	●	●	●	●	●	●
EI036	CALA TARIDA	●	●	●	●	●	●
EI041	PLATJA DE TRAMUNTANA	●	●	●	●	●	●
EI042	PLATJA DE LA BASSA	●	●	●	●	●	●
EI044	PORT DES TORRENT	●	●	●	●	●	●
EI052	PLATJA DES POUET	●	●	●	●	●	●
EI053	ARENAL DE SANT ANTONI	●	●	●	●	●	●
EI055	CALÓ DES MORO	●	●	●	●	●	●
EI057	CALA GRACIÓ	●	●	●	●	●	●
EI069	PORT DE SANT MIQUEL	●	●	●	●	●	●
EI070	PLATJA DE BENIRRÀS	●	●	●	●	●	●
EI076	CALA XARRACA	●	●	●	●	●	●
EI080	ARENAL PETIT DE PORTINATX	●	●	●	●	●	●
EI081	ARENAL GROS DE PORTINATX	●	●	●	●	●	●
EI095	CALA SANT VICENÇ	●	●	●	●	●	●
EI099	PLATJA D'ES FIGUERÀL	●	●	●	●	●	●
EI109	PLATJA DES CANAR	●	●	●	●	●	●
EI114	CALA PADA	●	●	●	●	●	●
EI119	PLATJA DE SANTA EULÀRIA	●	●	●	●	●	●
EI123	CALA LLONGA	●	●	●	●	●	●
EI135	SES FIGUERES TALAMANCA	●	●	●	●	●	●
EI136	CALA TAMANCA	●	●	●	●	●	●
EI146	PLATJA D'EN BOSSA	●	●	●	●	●	●

Fig. 4.26. Perdida en % de playa para la isla de Eivissa en función de cada horizonte temporal y escenario climático. Los puntos verdes implican una reducción en ancho medio y superficie inferior al 33%, los puntos amarillos entre el 33 y el 66% y los rojos superiores al 66%.

MENORCA		2050 RCP8#5		2100 RCP4#5		2100 RCP8#5	
CODIGO	TOPÓNIMO	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)	MIN ER (%)	MAX ER (%)
ME003	CALA EN BLANES	●	●	●	●	●	●
ME005	CALA DES DEGOLLADOR	●	●	●	●	●	●
ME007	CALA SANTANDRIA	●	●	●	●	●	●
ME008	CALA BLANCA	●	●	●	●	●	●
ME009	CALA EN BOSC	●	●	●	●	●	●
ME010	PLATJA DE SON XORIGUER	●	●	●	●	●	●
ME015	CALA DES TALAIER	●	●	●	●	●	●
ME016	CALA EN TURQUETA	●	●	●	●	●	●
ME017	MACARELLETA	●	●	●	●	●	●
ME018	MACARELLA	●	●	●	●	●	●
ME019	CALA GALDANA	●	●	●	●	●	●
ME020	CALA MITJANA	●	●	●	●	●	●
ME021	CALA TREBALUGER	●	●	●	●	●	●
ME022	CALA FUSTAM	●	●	●	●	●	●
ME024	PLATJA DE BINIGAUS	●	●	●	●	●	●
ME025	PLATJA DE BINICODRELL	●	●	●	●	●	●
ME026	PLATJA DE SANT TOMAS	●	●	●	●	●	●
ME027	PLATJA DE SON BOU	●	●	●	●	●	●
ME030	CALA EN PORTER	●	●	●	●	●	●
ME031	ES CANUTELLS	●	●	●	●	●	●
ME033	CALA BINIDALI	●	●	●	●	●	●
ME034	CALA DE BINIPARRATX	●	●	●	●	●	●
ME036	PLATJA DE BINIBEQUER	●	●	●	●	●	●
ME038	PLATJA DE PUNTA PRIMA	●	●	●	●	●	●
ME040	CALA ALCAFAR	●	●	●	●	●	●
ME065	ARENAL DE SA MESQUIDA	●	●	●	●	●	●
ME075	PLATJA DES GRAU	●	●	●	●	●	●
ME077	CALA EN VIDRIER	●	●	●	●	●	●
ME086	CALA TAMARELLS DEL NORD	●	●	●	●	●	●
ME088	CALA RAMBLES	●	●	●	●	●	●
ME097	ARENAL DE MORELLA NOU	●	●	●	●	●	●
ME099	CALA PRESILI	●	●	●	●	●	●
ME110	S'ARENALET	●	●	●	●	●	●
ME118	ARENAL D'EN CASTELL	●	●	●	●	●	●
ME124	ARENAL DE SON SAURA	●	●	●	●	●	●
ME125	CALA PUDENT	●	●	●	●	●	●
ME134	CALA CABRA SALADA	●	●	●	●	●	●
ME137	S'ALBUFERETA	●	●	●	●	●	●
ME158	CALA TIRANT	●	●	●	●	●	●
ME164	CALA VIOLA DE PONENT	●	●	●	●	●	●
ME171	PLATJA DE CAVALLERIA	●	●	●	●	●	●
ME174	CALA MICA	●	●	●	●	●	●
ME178	PLATJA DE BINIMEL·LÀ	●	●	●	●	●	●
ME180	PLATJA DE SALAIRÓ	●	●	●	●	●	●
ME181	CALA PREGONDA	●	●	●	●	●	●
ME182	CALA BARRIL	●	●	●	●	●	●
ME183	CALA CALDERER	●	●	●	●	●	●
ME190	CALA DEL PILAR	●	●	●	●	●	●
ME198	PLATJA DES BOT	●	●	●	●	●	●
ME199	PLATJA DES TANCAT	●	●	●	●	●	●
ME203	CALA MORELL	●	●	●	●	●	●

Fig. 4.27. Pérdida en % de playa para la isla de Eivissa en función de cada horizonte temporal y escenario climático. Los puntos verdes implican una reducción en ancho medio y superficie inferior al 33%, los puntos amarillos entre el 33 y el 66% y los rojos superiores al 66%.

4.13 Resumen

- En este trabajo se ha evaluado y cuantificado la exposición de los elementos del sistema socioeconómico y ambiental del archipiélago balear, a la inundación permanente y temporal asociada al ascenso mínimo y máximo del nivel del mar para los escenarios climáticos RCP-4.5 y RCP-8.5 y los horizontes temporales 2050 y 2100.
- Se han considerado 6 escenarios en los que solo varían el ascenso del nivel medio del mar y el impacto del régimen extremal generado por ondas de tormenta y oleaje. No se asumen hipótesis de crecimiento económico, ni demográfico con el objeto de mantener la situación actual (2019) como base para comparaciones.
- Para 2050 se prevé que el ascenso del nivel medio del mar más adverso afecte como máximo 833 ha de forma permanente más 204 ha temporalmente asociadas al evento extremo con periodo de retorno 100 años. Lo que implica una afectación directa sobre 788 personas de forma permanente y 1.766 de forma temporal.
- Para 2100 se prevé que el ascenso del nivel medio del mar más adverso afecte como máximo 3.465 ha de forma permanente más 427 ha temporalmente asociadas al evento extremo con periodo de retorno 100 años. Lo que implica una afectación directa sobre 9.599 personas de forma permanente y 4.091 de forma temporal.
- De entre las infraestructuras críticas, el elemento más dañado en cualquier escenario será el viario de titularidad municipal y/o privada. Seguido del tendido eléctrico en un sector muy localizado de la Bahía d'Alcúdia.
- La erosión de las playas desenterrará parte del cableado de conexión eléctrica entre Mallorca, Menorca, Eivissa y Formentera.
- Un centro educativo se verá comprometido en 2050 y otros 4 en 2100 incluso en el supuesto de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Otras infraestructuras críticas comprometidas serán la planta de tratamientos de aguas de Muro y parte del cementerio de Maó.
- En cuanto al sistema ambiental, entre los espacios de relevancia ambiental de Balears, s'Albufereta de Pollença y s'Albufera de Mallorca pueden llegar a perder entre el 70 y el 90% de su superficie actual. 66 espacios de la Red Natura 2000 presentarán problemas asociados con el ascenso del nivel del mar.
- La inundación permanente apenas afectará al suelo de uso agrícola e industrial, siendo su mayor impacto en cualquiera de los horizontes temporales y escenarios el suelo de uso residencial.
- La inundación permanente afectará en 2050 a un máximo de 358 plazas turísticas y en 2100, bajo supuestos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero un máximo de 8.436 plazas turísticas. Bajo supuestos de continuidad de emisiones de gases de efecto invernadero actuales, el impacto alcanzará a 11.482 plazas turísticas.

-
- En las condiciones más adversas, las playas de Balears verán reducido su ancho medio en 10 m para 2050 y en 24 m para 2100. Esto corresponde con una reducción de la superficie media de las playas de Balears de 0,5 ha para 2050 y de 1,1 ha para 2100.
 - Territorialmente el impacto del ascenso del nivel medio del mar es desigual en el archipiélago. Destacan algunas zonas especialmente sensibles en el sector norte de la bahía de Alcúdia y la bahía de Pollença en Mallorca, y la zona de Ses Salines de Eivissa y Formentera, así como los sectores costeros de Vila en Eivissa.

4.14 Productos

- Una colección de capas de información geográfica correspondiente a la intersección de cada una de las variables caracterizadas con los escenarios de inundación asociados a los horizontes temporales y la inundación permanente y extremal de los escenarios RCP-4.5 y RC-P8.5.
- Una base de datos agregados a nivel municipal correspondiente a la intersección de cada una de las variables caracterizadas con los escenarios de inundación asociados a los horizontes temporales y la inundación permanente y extremal de los escenarios RCP-4.5 y RC-P8.5.

BORRADOR

Evaluación socioeconómica Dele riesgo y de la vulnerabilidad



5. Evaluación socioeconómica del riesgo y la vulnerabilidad

El capítulo anterior del presente documento recoge la evaluación del riesgo y la vulnerabilidad de los diferentes elementos que componen el sistema territorial, tanto humanos como naturales, afectados por la inundación temporal (causada por un evento extremo con periodo de retorno de 100 años) y la inundación permanente asociadas a cada escenario de ascenso del nivel medio del mar. En el presente capítulo se aborda el riesgo y la vulnerabilidad del sistema socioeconómico, una vez expresado el impacto en términos monetarios y a partir de curvas de daño, a través de indicadores económicos como el *stock* de capital, el Valor Añadido Bruto (VAB) o la valoración de los servicios ecosistémicos aportados por las playas. A partir de ellos se construye un indicador sintético que permite ofrecer una instantánea, en términos geográficos, del impacto y vulnerabilidad asociados al ascenso del nivel medio del mar, a nivel municipal.

5.1 Riesgo sobre el sistema económico: *stock* de capital

El factor socioeconómico del riesgo y la vulnerabilidad se ha abordado a través de indicadores como el *stock* de capital y el Valor Añadido Bruto (VAB).

El *stock* de capital comprende el conjunto de bienes tangibles que pueden ser reproducidos y utilizados durante varios periodos para producir otros bienes y servicios. Por tanto, no se considera que forman parte del *stock* de capital las patentes, licencias y derechos de autor, por ser intangibles; los terrenos urbanos y agrícolas, las aguas, minas y recursos naturales, monumentos y obras de arte, por no ser reproducibles; los bienes de consumo duradero, por no ser usados para la producción de otros bienes y servicios; y, por último, las existencias y productos en curso de transformación, por no ser fijos. Así, se incluyen dentro del concepto de *stock* de capital la maquinaria, los equipos, los vehículos, los edificios residenciales, industriales y de equipamiento colectivo, las obras de ingeniería civil, las mejoras en las tierras, las plantaciones y arbolado con objetivo productivo y los animales domésticos y de crianza. Por el contrario, se excluyen los bienes comprados para usos militares y los de consumo duradero adquiridos por los hogares.

La Fundación BBVA, conjuntamente con Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (IVIE), desarrollan un programa de investigación sobre el crecimiento económico del Estado Español. Entre las bases de datos que integran dicho programa se encuentran las referidas al *stock* de capital, que ofrece las series temporales clasificadas por activos y sectores de actividad agregadas por comunidades y provincias, actualizadas periódicamente hasta 2016. El detalle de los criterios metodológicos y la interpretación de los principales resultados puede consultarse en Pérez y Mas (2020).

A efectos de la valoración del riesgo y vulnerabilidad para las Illes Balears, se considera el *stock* de capital residencial, cruzando en la base de datos de la Fundación BBVA los tipos de activo “1.1 Vivienda”, “1.4 Maquinaria y bienes de equipo” y “1.5. Recursos biológicos cultivados” con las correspondientes ramas de actividad “1. Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca”, “2. Industria” y “7. Actividades inmobiliarias” para la provincia.

Así, se ha estimado que el *stock* de capital residencial (2016) para las Illes Balears era de 39.239 millones de €, el *stock* de capital industrial de 2.225 millones de € y el agrícola de 76 millones de €.

5.1.1 Método de evaluación del *stock* de capital municipal

El método propuesto en el presente documento, siguiendo la propuesta del Informe Asturias-IH, persigue evaluar el impacto del ascenso de nivel medio del mar a nivel de parcela sobre el territorio. Puesto que los datos de *stock* de capital están agregados a nivel provincial, se asume como hipótesis de trabajo que el *stock* de capital se distribuye de una forma proporcional entre cada uno de los municipios de la provincia en función de la cobertura del suelo que cada municipio dedique a los usos del suelo agrícola, industrial y residencial.

Puesto que se cuenta con los datos de usos de suelo obtenidos de la capa de información SIOSE del Instituto Geográfico Nacional (vid. secciones 4.8, 4.9 y 4.10), es posible proceder a la estimación del valor del *stock* municipal y, a partir de aquí, del correspondiente a cada una de las parcelas de cada término municipal.

En primer lugar, se procede a calcular qué porcentaje de suelo de cada categoría corresponde a cada municipio respecto del total provincial. Después se opera con el *stock* de capital provincial obtenido para los términos de agricultura, industria y residencial de acuerdo con:

$$K_i^M = K_i^P \times \frac{S_i^M}{S_i^P} \quad [\text{Ec. 18}]$$

donde K_i^M es el valor de *stock* municipal en € para una rama de actividad “i” (agricultura, industria y residencial); K_i^P es el valor de *stock* provincial en € para una rama de actividad “i”; S_i^M es la asociado a una rama de actividad “i” y S_i^P es la superficie provincial en m² para un uso del suelo asociado a una rama de actividad “i”. A efectos de obtener el valor de *stock* de capital por metro cuadrado se divide K_i^M por S_i^M . Así, para calcular el impacto y la vulnerabilidad en términos socioeconómicos para cada una de las parcelas inundadas de forma permanente o temporal en cada una de los escenarios previstos en el capítulo anterior (vid. Tabla 4.01 y secciones 4.8, 4.9 y 4.10), se ponderará el *stock* de capital municipal por rama de actividad y por m² por la superficie de cada una de las parcelas afectadas.

En términos generales, éste es el proceso adoptado para el cálculo del *stock* de capital industrial y agrícola. No obstante, para el *stock* de capital residencial se introduce un factor de corrección que considera la dimensión del *stock* de capital residencial de las construcciones así como de su contenido, mayorando en 1/3 el valor del *stock* construido:

$$K_r^M(\text{construido} + \text{contenidos}) = K_r^M \times \left(1 + \frac{1}{3}\right) \quad [\text{Ec. 19}]$$

donde K_r^M es el valor de *stock* residencial municipal en €. A continuación, se calcula el valor de *stock* de capital residencial por metro cuadrado dividiendo por la superficie

municipal en m² para dicho uso del suelo. Una vez obtenidos los valores de *stock* de capital por metro cuadrado, todos los valores monetarios se han recalculado para ofrecerse en unidades monetarias constantes del presente (2020).

A efectos de determinar la vulnerabilidad se han aplicado curvas de daño al *stock* de capital afectado. Para los escenarios de inundación permanente se asume la pérdida del 100% del *stock* de capital afectado. Tras consultar a la *Direcció General d'Emergències*, así como a la de *Direcció General de Recursos Hídrics* del *Govern de les Illes Balears*, se constató que no se disponía de una herramienta de curvas de daños para evaluar el impacto de las inundaciones fluviales, por lo que se adoptó la curva de daños de viviendas e instalaciones industriales utilizada en el Informe Asturias-IH adaptada de Gopi Goteti (2014). En el caso de los daños sobre agricultura se consideró el escenario más adverso en el que la inundación temporal se produce previamente a la cosecha y se pierde la totalidad de ésta, por lo que la inundación temporal se equipara, a efectos de pérdidas económicas, a la permanente.

En el caso de la inundación temporal, la duración de la inundación simulada oscila entre 12 y 23 horas, siendo el promedio de 17 horas y oscilando las cotas máximas de inundación entre 0,25 y 1 m sobre el nivel medio del mar de cada caso. Puesto que los datos están homogeneizados a nivel municipal, se asume un término medio de daños a partir de las curvas citadas en el que sobre el *stock* de capital industrial el impacto de los eventos extremos supone una pérdida del 15%, mientras que para el caso del *stock* de capital residencial es del 21% para el continente y del 5% para el contenido.

5.1.2 Resultados del *stock* de capital residencial afectado

Los resultados del *stock* de capital afectado se presentan para cada uno de los escenarios descritos en la Tabla 4.01. Se incluye también un “Escenario 0” correspondiente a los daños ocasionados por el temporal con periodo de retorno 100 años en caso que afectase en el presente a los sistemas costeros caracterizados.

Tabla 4.01. *Stock* de capital residencial afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01, así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Mallorca	3.500,15	9.680,46	34.878,08	25.890,41	221.829,09	59.659,07	359.807,80
Menorca	345,33	722,61	1.261,06	938,49	4.213,54	1.516,98	8.102,03
Eivissa	302,79	1.052,53	1.090,51	1.294,11	7.923,41	2.146,72	16.059,60
Formentera	24,54	517,59	1.191,02	777,29	3.970,14	1.720,97	9.782,63
Illes Balears	4.177,14	12.100,78	38.591,29	29.047,14	238.834,45	65.302,85	395.404,05

A continuación, se presenta el valor económico de dichos impactos en una serie de tablas, aunque cabe recalcar que las cifras resultantes no constituyen un pronóstico de daños a futuro, sino que son indicadores de las consecuencias a las que podría llegarse

en el caso de no actuar, ni de llevarse a cabo ninguna política de adaptación o de respuesta por parte de la población. En las figuras se da cuenta de la distribución municipal de dichos valores en relación a su contribución al *stock* de capital provincial; con el objeto de tener una primera aproximación de lo que supone a efectos de impacto regional y detectar aquellas zonas en las que el impacto tenga una mayor impronta. Como se ha explicado en el capítulo 4 de la presente memoria, no se ha asumido ninguna tendencia económica, para que la referencia, a efectos de comparación, siempre sean los efectos sobre la situación y sociedad presente.

En primer lugar, se presentan los resultados relativos al **stock de capital residencial**, puesto que son los más importantes en orden de magnitud (Tablas 5.01 y 5.02). Para el conjunto de las Illes Balears las pérdidas de *stock* de capital residencial, en caso de producirse a día de hoy un evento extremo con periodo de retorno de cien años, serían de 4,2 millones de €. Para 2050, el impacto conjunto de la inundación permanente asociada al ascenso del nivel medio del mar y de la inundación temporal ligada al evento extremo con periodo de retorno 100 años supondría una pérdida de 39 millones de €, en el peor de los casos. En 2100, en caso de reducirse las emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-4.5) el impacto se movería entre 29 y 239 millones de €. Mientras que de mantenerse el ritmo emisiones actuales (RPC-8.5), en 2100 el impacto podría manifestarse con una pérdida de *stock* de capital residencial entre 65 y 395 millones de € (Tabla 5.01). Mallorca, seguida de Eivissa, serían las islas con un mayor impacto. A nivel municipal, Alcúdia, Muro, Pollença y Eivissa experimentan el mayor impacto, con pérdidas por encima de los 100 millones de € en el peor de los casos y por encima de los 10 millones de € en el resto (Tabla 5.02).

Tabla 5.02a. *Stock* de capital residencial municipal afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01, así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

Municipio	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Alaior	1,05	1,71	2,13	1,83	18,83	2,56	75,33
Alcúdia	1.334,60	7.208,99	25.437,70	17.924,08	185.668,43	46.309,56	298.201,52
Andratx	78,54	89,57	237,21	208,82	651,24	292,15	886,05
Artà	43,30	43,73	218,96	158,52	407,26	221,60	524,83
Banyalbufar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calvià	393,98	456,16	2.078,21	1.518,99	4.232,27	2.202,15	4.847,37
Campos	18,40	43,75	92,64	78,92	356,78	130,10	497,88
Capdepera	114,36	140,74	289,37	225,45	659,89	283,67	1.315,87
Ciutadella	154,32	263,51	468,18	345,75	1.104,96	555,05	2.525,36
Deià	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eivissa	158,51	397,16	451,78	491,52	5.373,89	1.009,35	10.251,05
Es Castell	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Es Mercadal	34,22	68,47	125,57	103,29	1.164,83	225,74	2.254,19
Es Migjorn Gran	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	0,02	4,06
Escorca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estellencs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Felanitx	18,06	24,61	210,58	119,50	327,48	189,17	477,10

Tabla 5.02b. Stock de capital residencial municipal afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01, así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

Municipio	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Ferrieres	4,32	127,59	170,62	146,84	898,28	259,11	1.651,99
Formentera	24,54	517,59	1.191,02	777,29	3.970,14	1.720,97	9.782,63
Fornalutx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Llucmajor	0,07	0,26	0,62	0,62	103,44	0,87	318,25
Manacor	71,31	118,02	242,24	186,97	1.332,48	248,54	1.641,27
Maó	89,71	198,40	408,05	338,22	1.381,53	589,42	2.464,76
Muro	50,37	365,31	570,76	508,24	12.458,13	2.626,28	20.228,21
Palma	394,10	139,13	1.923,39	1.863,03	2.825,97	2.057,71	5.711,90
Pollença	363,50	577,60	2.130,01	1.859,24	8.471,34	3.015,38	16.633,29
Sa Pobla	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
St. Antoni P.	16,27	52,75	63,98	67,38	280,30	103,45	589,98
St. Joan L.	44,03	366,06	135,91	418,92	828,59	519,89	1.205,99
St. Josep T.	17,46	44,05	80,93	57,78	761,78	114,24	2.933,91
St. Llorenç C.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	200,34	0,00
Sant Lluís	66,03	190,53	257,14	149,40	541,76	144,19	778,32
Sta. Eulària	66,52	192,51	357,91	258,51	678,85	399,78	1.078,67
Sta. Margalida	0,95	1,86	3,56	2,49	35,71	5,51	321,73
Santanyí	45,83	76,25	241,79	164,81	568,52	259,96	1.127,51
Ses Salines	7,76	1,60	35,92	34,65	44,67	38,16	904,12
Sóller	447,31	134,59	575,09	672,44	2.129,14	971,48	3.563,53
Son Servera	117,70	258,27	590,03	363,63	1.556,34	606,40	2.607,37
Valldemossa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Escenario 1 (mín. 2050, RCP-8.5)



Escenario 2 (máx. 2050, RCP-8.5)



Escenario 3 (mín. 2100, RCP-4.5)



Escenario 4 (máx. 2100, RCP-4.5)



Escenario 5 (mín. 2100, RCP-8.5)



Escenario 6 (máx. 2100, RCP-8.5)

Fig. 5.01. Stock de capital residencial afectado (% respecto del stock de capital residencial provincial) para los diferentes escenarios considerados en la Tabla 4.01 por municipios.

La Fig. 5.01 apunta en la misma línea que el comentario anterior, aunque se representa el impacto sobre el capital de *stock* residencial provincial en términos porcentuales. Así, destaca la importancia de la afección en el municipio de Alcúdia (el municipio más afectado) sobre el resto de la comunidad autónoma. Para 2100, los escenarios más adversos tanto en el caso de una reducción de gases de efecto invernadero (RCP-4.5) como en el caso de una continuidad en el nivel de emisiones (RCP-8.5) ubican a Alcúdia como el municipio con un mayor impacto, puesto que aglutina el 0,5% o el 0,7%, respectivamente, del impacto sobre el *stock* de capital residencial. Esto es, un orden de magnitud por encima de Muro, el siguiente municipio con mayor impacto, el cual contribuiría con una pérdida del 0,05% del *stock* de capital residencial para el peor escenario de 2100, seguido de Pollença con una pérdida del 0,04% y Eivissa y Formentera con el 0,02%..

5.1.3. Resultados del *stock* de capital industrial afectado

Tal y como se ha comentado anteriormente, los resultados del *stock* de capital afectado se presentan para cada uno de los escenarios descritos en la Tabla 4.01, así como para un “Escenario 0” correspondiente a los daños ocasionados por el temporal con periodo de retorno 100 años en caso que afectase en el presente a los sistemas costeros caracterizados.

En las Tablas 5.03 y 5.04 se presentan los resultados relativos al ***stock* de capital industrial afectado**. Para el conjunto de las Illes Balears las pérdidas de *stock* de capital industrial, en caso de producirse a día de hoy un evento extremo con periodo de retorno de cien años serían de aproximadamente 23.000 €. Para 2050, el impacto conjunto de la inundación permanente asociada al ascenso del nivel medio del mar y de la inundación temporal ligada al evento extremo con periodo de retorno 100 años supondría una pérdida de unos 349.000 € en el peor de los casos. En 2100, en caso de reducirse las emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-4.5), el impacto se movería entre los 283.000 € y los 3,3 millones de €, aproximadamente. De mantenerse el ritmo de emisiones actuales (RCP-8.5), el impacto podría manifestarse con una pérdida de *stock* de capital industrial entre unos 877.000 € y unos 4 millones de € (Tabla 5.03).

Tabla 5.03. *Stock* de capital industrial afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01, así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Mallorca	22,69	58,26	349,13	283,72	939,41	877,03	1.110,85
Menorca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eivissa	0,00	0,00	0,00	0,00	2.334,64	0,00	2.456,48
Formentera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Illes Balears	22,69	58,26	349,13	283,72	3.274,06	877,03	3.567,33

Tabla 5.04. Stock de capital industrial municipal afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01, así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Alaior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcúdia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Andratx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Artà	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Banyalbufar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calvià	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Campos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capdepera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ciutadella	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deià	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eivissa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Es Castell	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Es Mercadal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Es Migjorn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Escorca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estellencs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Felanitx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferrerías	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formentera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fornalutx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Llucmajor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manacor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maó	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Muro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Palma	22,69	58,26	349,13	283,72	939,41	877,03	1.110,85
Pollença	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sa Pobla	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
St. Antoni P.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
St. Joan L.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
St. Josep T.	0,00	0,00	0,00	0,00	2.334,64	0,00	2.456,48
St. Llorenç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sant Lluís	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sta. Eulària	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sta. Margalida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Santanyí	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ses Salines	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sóller	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Son Servera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valldemossa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

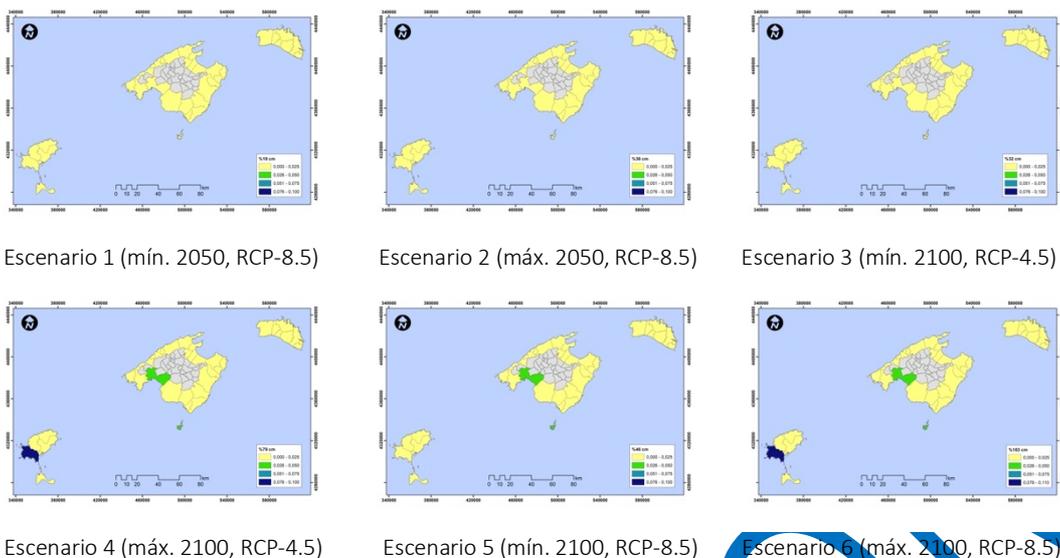


Fig. 5.02. Stock de capital industrial afectado (% respecto del stock de capital industrial provincial) para los diferentes escenarios considerados en la Tabla 4.01 por municipios.

Tal y como puede observarse en la Fig. 5.02 y la Tabla 5.04, el impacto sobre el stock de capital industrial se concentra en las islas de Mallorca y Eivissa, concretamente en los municipios de Palma y Sant Josep, aunque de forma conjunta tan sólo representan el 0,02% del total del stock de capital industrial de la comunidad autónoma.

5.1.4. Resultados del stock de capital agrícola afectado

De la misma forma que para el caso de los resultados del stock de capital residencial y agrícola afectado, los resultados del stock de capital afectado se presentan para cada uno de los escenarios descritos en la Tabla 4.01, así como para un “Escenario 0” correspondiente a los daños ocasionados por el temporal con periodo de retorno 100 años en caso que afectase en el presente a los sistemas costeros caracterizados.

En las Tablas 5.05 y 5.06 se presentan los resultados relativos al **stock de capital agrícola afectado**. Para el conjunto de las Illes Balears las pérdidas de stock de capital

Tabla 5.05. Stock de capital agrícola afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01, así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Mallorca	0,02	0,02	4,70	3,01	50,68	13,92	137,06
Menorca	0,06	0,04	0,05	0,10	4,38	4,41	7,12
Eivissa	0,00	0,12	0,00	0,25	3,34	0,93	16,78
Formentera	0,02	0,12	0,08	0,18	5,38	1,90	9,41
Illes Balears	0,10	0,30	4,83	3,54	63,78	21,17	170,37

Tabla 5.06. Stock de capital agrícola municipal afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01, así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

Municipio	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Alaior	0,00	0,00	0,00	0,00	3,41	4,14	5,68
Alcúdia	0,00	0,00	4,60	2,94	33,74	11,12	49,07
Andratx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Artà	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
Banyalbufar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calvià	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01
Campos	0,00	0,00	0,00	0,00	5,69	0,00	31,83
Capdepera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ciutadella	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deià	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eivissa	0,00	0,00	0,00	0,00	1,35	0,02	3,32
Es Castell	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Es Mercadal	0,06	0,04	0,04	0,10	0,75	0,28	1,05
Es Migjorn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Escorca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estellencs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Felanitx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferrerías	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formentera	0,02	0,12	0,08	0,18	5,38	1,90	9,41
Fornalutx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Llucmajor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,11	0,67
Manacor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
Maó	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,38
Muro	0,00	0,00	0,01	0,01	0,73	0,02	26,44
Palma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,95
Pollença	0,00	0,00	0,03	0,01	7,31	2,53	11,86
Sa Pobla	0,01	0,01	0,02	0,02	0,43	0,03	10,68
St. Antoni P.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,05
St. Joan L.	0,00	0,11	0,00	0,17	0,17	0,22	0,53
St. Josep T.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,54	0,32	5,92
St. Lorenç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	1,03
Sant Lluís	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sta. Eulària	0,00	0,00	0,00	0,07	1,25	0,35	6,95
Sta. Margalida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	1,43
Santanyí	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00	0,92
Ses Salines	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Sóller	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	1,07
Son Servera	0,00	0,01	0,03	0,03	0,16	0,10	0,65
Valldemossa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

agrícola, en caso de producirse a día de hoy un evento extremo con periodo de retorno de cien años, sería inferior al millar de euros. Para 2050, el impacto conjunto de la inundación permanente asociada al ascenso del nivel medio del mar y de la inundación temporal ligada al evento extremo con periodo de retorno 100 años, en el peor de los casos, supondría una pérdida de unos 5.000 €. En 2100, en caso de reducirse las

emisiones de gases de efecto invernadero (RCP-4.5), el impacto oscilaría entre 4.000 € y 64.000 €, aproximadamente. De mantenerse el ritmo de emisiones actuales (RCP-8.5), el impacto podría manifestarse con una pérdida de *stock* de capital residencial entre 21.000 € y 170.000 €, aproximadamente (Tabla 5.05).

Por islas, Mallorca, seguida de Eivissa, sería la isla con un mayor impacto, aunque en su conjunto la inundación costera apenas alcanza, en el peor de los casos, el 0,21% del *stock* de capital agrícola provincial (Fig. 5.03). Alcúdia, Campos, Muro, Sa Pobra y Pollença son los municipios más afectados (Tabla 5.06), seguidos de Formentera, Santa Eulària des Riu y Sant Josep de sa Talaia, aunque con un orden de magnitud menor que los municipios mallorquines.

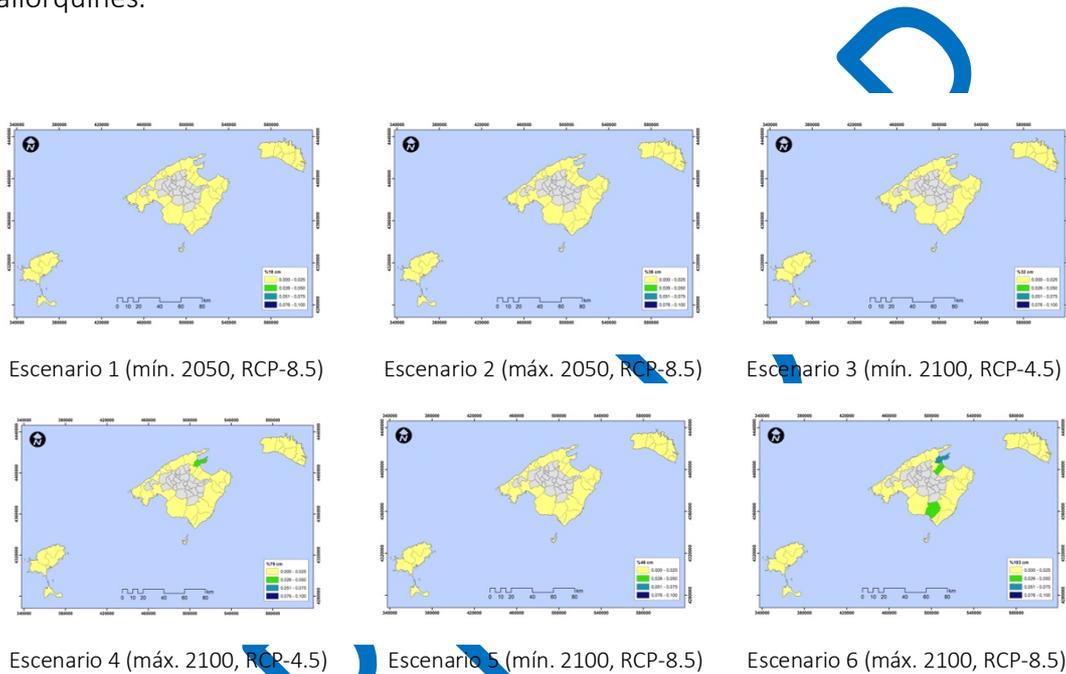


Fig. 5.03. *Stock* de capital agrícola afectado (% respecto del *stock* de capital agrícola provincial) para los diferentes escenarios considerados en la Tabla 4.01 por municipios.

5.2 Riesgo sobre el sistema económico: Valor Añadido Bruto

El Valor Añadido Bruto (VAB) responde a la riqueza generada durante un periodo de tiempo considerado, previo cálculo de la diferencia entre el valor de la producción y los consumos intermedios utilizados, tales como materias primas, servicios y suministros exteriores, etc.

Entre las bases de datos que mantiene la Fundación *IMPULSA BALEARS* se encuentran las referidas al VAB, que ofrece las series temporales por principales ramas de actividad y actualizadas periódicamente hasta 2017 para cada municipio de las Illes Balears. Cabe resaltar que, la *Fundació IMPULSA BALEARS* es una plataforma de conocimiento estratégico e interacción regional que trabaja para facilitar la toma de decisiones de los agentes económicos y sociales y la configuración de una agenda de transformación productiva con un impacto significativo sobre la competitividad global de las Illes Balears.

Así, se ha estimado que el VAB de las Illes Balears ascendió en 2017 a 24.481 millones de €, de los cuales el 85,6% correspondía a Servicios, el 7,6% a Construcción, el 6,1% a industria y el 0,7% a agricultura.

5.2.1 Método de evaluación del Valor Añadido Bruto (VAB)

El método propuesto en el presente documento, siguiendo la propuesta del Informe Asturias_IH persigue evaluar el impacto del ascenso de nivel medio del mar a nivel de parcela sobre el territorio. Debido a que los datos de VAB están agregados a nivel municipal, se asume como hipótesis de trabajo que el *stock* de capital se distribuye de una forma proporcional entre cada uno de los municipios de la provincia en función de la cobertura del suelo que cada municipio dedique a los usos a las actividades agrícolas, industriales y de servicios.

A efectos de obtener el valor de *VAB* por metro cuadrado se divide valor de *VAB* municipal para una rama de actividad en euros (VAB_i^M) -en el que el subíndice “i” refiere a una rama de actividad (agricultura, industria y servicios)- entre la superficie municipal en m² para un uso del suelo asociado a una rama de actividad “i” (S_i^M).

Así, para calcular el impacto y la vulnerabilidad en términos socioeconómicos para cada una de las parcelas inundadas de forma permanente o temporal en cada una de los escenarios previstos en el capítulo anterior (vid. Tabla 4.01 y secciones 4.8, 4.9 y 4.10), se ponderó el *VAB* municipal por rama de actividad y por la superficie de cada una de las parcelas afectadas (en m²) a partir de la base de datos SIOSE.

A efectos de determinar las consecuencias en el *VAB*, análogamente a lo expuesto en el caso del *stock* de capital, la inundación permanente y la inundación temporal reciben un tratamiento diferenciado. Así, para los datos de *VAB* que representan valores de producción anuales de los distintos sectores y para cada municipio, en caso de la inundación permanente, se asumió que las pérdidas de producción son totales. Sin embargo, cuando se analizaron los posibles daños causados por inundaciones asociadas a eventos extremos con cotas de inundación suponen entre 0,2 y 1 m por encima del nivel medio del mar de cada caso (Vid. sección 2 y 3), siguiendo los criterios de corrección de la pérdida de producción recogidos en el Informe Asturias_IH, se asumió que éstos suponen entre 2 y 5 días de pérdida de producción. Dicha minoración se aplica a las ramas de actividad de servicios e industria. En el caso de la agricultura, se adopta como hipótesis de trabajo que el evento extremo acontece previamente a la cosecha y, por tanto, que se pierde toda la cosecha, de manera que no hay diferencia entre los efectos de la inundación permanente y la eventual en este caso.

5.2.2 Resultados *VAB* agrícola afectado

De la misma forma que para los resultados obtenidos para el *stock* de capital afectado, los resultados del *Valor Añadido Bruto (VAB)* agrícola afectado se presentan para cada uno de los escenarios descritos en la Tabla 4.01 así como para un “Escenario 0” correspondiente a los daños ocasionados por el temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual.

A continuación, presentamos una serie de tablas en las que se da cuenta del valor económico de dichos impactos, aunque cabe recalcar que las cifras resultantes no constituyen un pronóstico de daños a futuro, sino que son indicadores de las consecuencias a las que podría producirse en el caso de no actuar, ni de llevarse a cabo ninguna política de adaptación o de respuesta por parte de la población. En las figuras se da cuenta de la distribución municipal de dichos valores en relación a su contribución al VAB provincial. De esta forma, se obtiene una primera aproximación del impacto regional y se detectan aquellas zonas en las que el impacto supone una mayor impronta a efectos de estadística económica. Como se ha explicado en el capítulo 4 de la presente memoria, no se ha asumido ninguna tendencia económica, para que la referencia sean los efectos sobre la situación y sociedad presente.

En las Tablas 5.07 y 5.08 se muestran los resultados del **VAB agrícola** afectado. Los municipios en los que se ha simulado la inundación costera contribuyen en su conjunto al 75% del VAB agrícola de las Illes Balears. No obstante, si en el contexto actual se sufriera el evento extremo de periodo de retorno 100 años, la inundación eventual tan solo afectaría una superficie de suelo agrario, implicando una pérdida mínima de VAB agrícola (<1.000€).

Tabla 5.07. VAB agrícola afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01 así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Mallorca	0,10	0,10	9,01	5,80	122,37	33,38	837,58
Menorca	0,01	0,01	0,03	0,04	14,52	16,26	24,34
Eivissa	0,00	0,06	0,00	0,20	37,23	1,37	99,47
Formentera	0,08	0,49	0,32	0,72	21,07	7,42	36,84
Illes Balears	0,20	0,66	9,35	6,76	195,19	58,44	998,23

Atendiendo a lo recogido en las Tablas 5.07 y 5.08, el impacto del ascenso del nivel medio del mar sobre la actividad agrícola solo empieza a dejarse sentir a partir de ascensos del nivel medio del mar superiores a los 46 cm. En 2100, para escenarios de reducción de gases de efectos invernadero (RCP-4.5), el impacto sobre el VAB agrícola puede alcanzar un máximo de 195.000 €, aproximadamente. En cambio, para el mismo horizonte temporal y emisiones continuistas (RCP-8.5), se prevé una pérdida alrededor de 998.000 €. Estos valores supondrían, respectivamente, un 0,1 y un 0,5% del VAB agrícola de las Illes Balears. Por islas, Mallorca es la que se lleva el mayor impacto, concentrándose en los municipios de Muro, Alcúdia, Pollença y Campos. En las Pitiusas, el municipio de Eivissa es el más afectado seguido de Formentera y de Santa Eulària des Riu. En Menorca el impacto sobre el VAB agrícola apenas se deja sentir en el municipio de Alaior.

Tabla 5.08. VAB agrícola municipal afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01, así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

Municipio	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Alaior	0,00	0,00	0,02	0,01	13,35	16,17	22,21
Alcúdia	0,00	0,00	8,57	5,48	62,85	20,71	91,42
Andratx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Artà	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Calvià	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02
Campos	0,00	0,00	0,00	0,00	4,70	0,00	26,29
Capdepera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ciutadella	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eivissa	0,00	0,00	0,00	0,00	34,96	0,56	85,81
Es Castell	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Es Mercadal	0,01	0,01	0,01	0,03	0,20	0,07	0,28
Es Migjorn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,24
Felanitx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferrieres	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formentera	0,08	0,49	0,32	0,72	21,07	7,42	36,84
Llucmajor	0,00	0,00	0,01	0,00	0,65	0,17	1,11
Manacor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
Maó	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,01	1,61
Muro	0,08	0,08	0,20	0,19	17,70	0,56	637,96
Palma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,84
Pollença	0,00	0,00	0,15	0,06	33,94	11,74	55,09
Sa Pobla	0,02	0,02	0,04	0,04	0,73	0,05	18,34
St. Antoni P.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03
Sant Joan L.	0,00	0,06	0,00	0,09	0,09	0,12	0,29
St. Josep T.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,15	2,77
St. Llorenç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,36
Sta. Eulària	0,00	0,00	0,00	0,10	1,90	0,53	10,58
Sta. Margalida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,00	1,25
Santanyí	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,71
Ses Salines	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Sóller	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	3,18
Son Servera	0,00	0,01	0,03	0,03	0,19	0,12	0,74

5.2.3 Resultados VAB industrial afectado

Al igual que para el VAB agrícola afectado, los resultados del *Valor Añadido Bruto (VAB)* industrial afectado se presentan para cada uno de los escenarios descritos en la Tabla 4.01 así como para un “Escenario 0” correspondiente a los daños ocasionados por el temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual.

En el caso del VAB industrial afectado, cabe destacar que el impacto directo del ascenso del nivel medio del mar sobre el sistema socioeconómico industrial solo afecta a los municipios de Palma y a Sant Josep de sa Talaia. El conjunto de municipios que sufren la inundación costera contribuye en su conjunto al 87% del VAB industrial de les Illes

Balears. Sin embargo, tal y como ya se avanzaba en el apartado de *stock* de capital, los resultados del **VAB industrial** afectado detectan afección exclusivamente en estos dos municipios. .

Excepto en los casos citados, la actividad industrial queda a resguardo de las zonas expuestas a inundación costera. Para 2100 y bajo escenarios de reducción de gases de efectos invernadero (RCP-4.5), en el conjunto de las Illes Balears el impacto sobre el VAB industrial puede alcanzar un máximo de 1,6 millones de €. Para el mismo horizonte temporal, pero bajo escenarios de emisiones continuistas (RCP-8.6), la pérdida sería de alrededor de 1,8 millones de €. En el primer caso representaría un 0,09 % del VAB industrial de las Illes Balears y en el segundo de un 0,1%.

5.2.4 Resultados VAB de servicios afectado

De la misma forma que para los casos anteriores, los resultados del *Valor Añadido Bruto (VAB)* afectado se presentan para cada uno de los escenarios descritos en la Tabla 4.01, así como para un “Escenario 0” correspondiente a los daños ocasionados por el temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual.

En las Tablas 5.09 y 5.10 se presentan los resultados del **VAB de servicios afectado**. Los municipios en los que se ha simulado la inundación costera contribuyen en su conjunto al 91% del VAB relativo a la rama de servicios de las Illes Balears. No obstante, si en el contexto actual se sufriera el evento extremo de periodo de retorno 100 años, la inundación eventual tan solo afectaría una superficie de suelo de servicios que implicaría una pérdida de VAB cercana a 1,1 millones de €. Atendiendo a lo recogido en las Tablas 5.09 y 5.10 y la Fig. 5.04, el impacto del ascenso del nivel medio del mar sobre la actividad de servicios empieza a dejarse sentir a partir de ascensos del nivel medio del mar superiores a los 30 cm. En 2100 y para escenarios de reducción de gases de efectos invernadero (RCP-4.5), el impacto sobre el VAB de servicios puede alcanzar en un máximo de 83 millones de € aproximadamente. En el caso de escenarios con emisiones continuistas (RCP-8.5), se estima una pérdida de alrededor de 162 millones de €. Estos valores representarían, respectivamente, un 0,3 y un 0,7% del VAB de servicios de las Illes Balears. Por islas, Mallorca es la que se lleva el mayor impacto, concentrándose en los municipios de Alcúdia, Muro y Palma. En las Pitiusas, el municipio de Eivissa es el más afectado seguido de Formentera y de Sant Antoni de Portmany. En Menorca el impacto sobre el VAB de servicios apenas se deja sentir, excepto en el municipio de Es Mercadal.

Tabla 5.09. VAB de servicios afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01 así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Mallorca	711,76	1.692,03	8.264,08	5.709,61	63.823,10	13.380,80	121.858,56
Menorca	4,57	4,29	31,22	109,61	181,47	46,88	382,30
Eivissa	247,20	654,24	1.187,61	961,76	18.656,00	3.702,60	40.001,16
Formentera	144,77	347,80	296,85	549,17	318,37	644,94	364,69
Illes Balears	1.108,30	2.698,35	9.779,75	7.330,15	82.978,93	17.775,23	162.606,70

Tabla 5.10. VAB de servicios municipal afectado (miles de €) para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01, así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020).

Municipio	2020	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 0	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Alaior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcúdia	108,1	715,1	4.475,0	3.038,7	46.981,1	9.137,9	80.422,0
Andratx	18,5	21,5	49,6	42,2	152,4	77,9	16,0
Artà	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,5
Calvià	222,8	247,2	1.075,9	847,6	2.459,6	1.159,5	3.887,9
Campos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Capdepera	2,5	3,8	4,0	4,0	15,0	4,4	22,1
Ciutadella	0,0	0,0	0,0	0,0	24,6	0,0	34,4
Eivissa	57,2	108,7	81,8	151,1	14.760,0	2.090,2	31.035,0
Es Castell	1,9	4,2	23,3	20,2	133,1	36,8	345,4
Es Mercadal	2,6	0,1	8,0	7,5	23,7	10,1	2,5
Es Migjorn	10,5	34,2	46,9	42,7	130,9	61,0	203,3
Felanitx	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ferrieres	144,8	347,8	296,8	549,2	318,4	644,9	364,7
Formentera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Llucmajor	0,0	0,0	0,0	0,0	102,6	7,6	435,8
Manacor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maó	8,9	94,4	305,3	243,5	6.271,7	568,6	15.214,3
Muro	214,2	341,1	997,0	926,1	4.314,2	1.509,0	12.284,2
Palma	13,2	25,4	39,2	34,9	1.765,3	59,9	6.846,4
Pollença	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sa Pobla	114,3	334,4	569,8	452,0	2.102,6	943,7	4.269,1
St. Antoni P.	10,6	78,2	170,6	133,5	355,9	169,4	635,3
Sant Joan L.	60,9	116,4	340,7	201,7	1.389,0	464,9	3.815,3
St. Josep T.	15,7	16,2	96,2	61,4	172,6	87,2	23,2
Sant Llorenç	0,0	0,0	0,0	81,9	0,0	0,0	0,0
Sta. Eulària	4,3	16,5	24,8	23,5	48,5	34,4	246,4
Sta. Margalida	23,6	69,9	152,8	132,1	432,6	204,6	43,0
Santanyí	31,3	44,2	226,1	157,9	426,2	214,3	561,4
Ses Salines	10,1	19,5	43,0	42,5	78,5	55,8	818,0
Sóller	0,0	0,0	506,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Son Servera	32,3	59,5	247,1	136,1	520,4	233,0	1.080,3

5.3 Riesgo sobre el sistema económico: servicios ecosistémicos de las playas

En el capítulo anterior se han abordado las consecuencias del ascenso del nivel medio del mar sobre los sistemas naturales (erosión de playas, espacios y hábitats protegidos). No obstante, los sistemas naturales también proveen de servicios ecosistémicos que pueden considerarse como parte del sistema socioeconómico. El daño sobre los mismos supone una pérdida de producción del flujo económico puesto que sobre su existencia pivotan otros sectores, como el turístico. Por ello, aunque la inundación no afecte en exceso al sector turístico de forma directa, éste puede verse perjudicado por una pérdida o reducción del activo sobre el que se asienta. (p.e. las playas y el turismo de sol y playa).

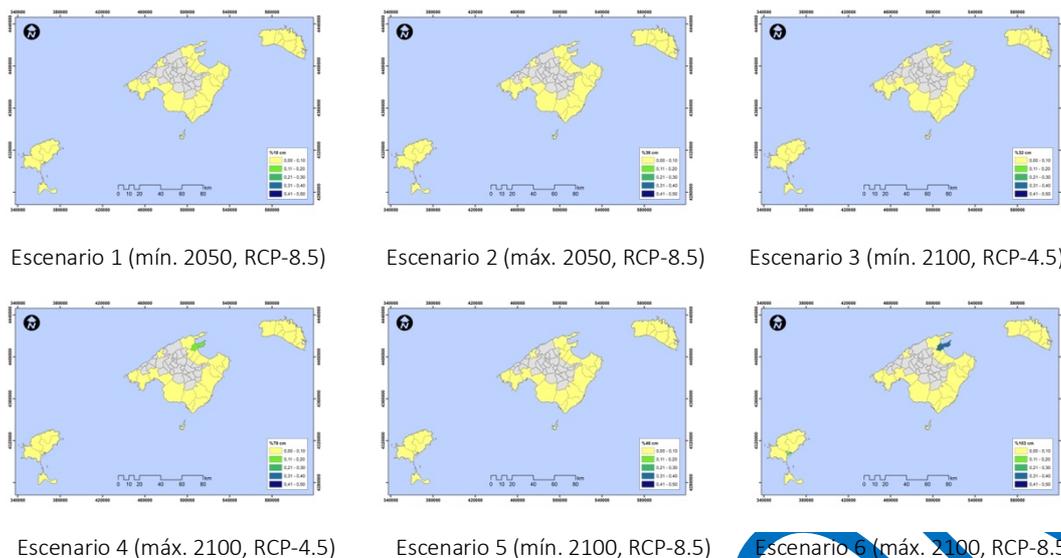


Fig. 5.04. VAB de servicios afectado (% respecto del *stock* de capital de servicios provincial) para los diferentes escenarios considerados en la Tabla 4.01 por municipios.

Debe recordarse que las playas proveen de tres servicios ecosistémicos principales: i) el de protección frente a los temporales y el ascenso del nivel medio del mar ii) el de sostén o base de asentamiento de otros hábitats; y, iii) la función recreativa, entendida como la capacidad que tiene la playa de ofrecer un lugar de descanso y ocio al usuario (Micallef y Williams, 2002). Puesto que en las Illes Balears buena parte de la economía, de forma directa o indirecta, depende del turismo, se ha considerado esencial concentrar todos los esfuerzos dedicados a la valoración económica de los servicios ecosistémicos sobre el papel de la playas como proveedoras de la función recreativa.

5.3.1 Método de evaluación de los servicios ecosistémicos de las playas

A pesar de que las playas aportan muchos servicios ecosistémicos, existe un sólido consenso en relación a que son uno de los principales recursos que aportan valor económico social a los destinos turísticos. Moreno y Amelung (2009) concluyeron que el aumento del nivel medio del mar, la erosión de la costa y las inundaciones costeras serían el impacto global más importante inducido por el cambio climático en la costa arenosa. Básicamente este impacto consistirá, para aquellas playas que no puedan retroceder, en el estrechamiento de la superficie de la playa (Enríquez *et al.*, 2017; Toimil *et al.*, 2018). Este es un punto crítico, ya que la superficie de la playa seca determina la superficie disponible para fines de recreación de sol y baño, así como otros servicios y el uso y explotación económica de la playa.

En secciones anteriores se ha ofrecido un enfoque regional para determinar el impacto de la erosión de la playa asociada al cambio global (apartado 4.12). Los productos de este enfoque son la pérdida de superficie de la playa y de su ancho medio en diferentes escenarios de tormentas probabilísticas y de ascenso del nivel medio del mar. Sin embargo, la valoración de ecosistemas va dirigida a determinar la contribución de los servicios de los ecosistemas para un objetivo específico (es decir, protección, limpieza del agua, valores espirituales, ocio, etc.). A menudo, esta valoración se obtiene mediante

.....

métodos como pruebas de preferencias del usuario o costes marginales, entre otros (Torres et al., 2017). Para las Illes Balears existen algunos estudios que aportan la valoración de los servicios recreativos de las playas por parte de locales o residentes para la isla de Mallorca (Riera et al., 2007), o para residentes y turistas en la isla de Menorca (Pérez-López y Roig-Munar, 2007). No obstante, dichos estudios parten de aproximaciones y métodos diferentes, ya sea el método del coste del viaje, o la predisposición a pagar por un activo natural. Puesto que dichos estudios dependen no sólo del universo de la población encuestada, sino del marco geográfico por el que se pregunta o incluso de la pregunta específica que se plantea.

En este trabajo se ha considerado oportuno adoptar los resultados del estudio de Enríquez y Bujosa (2020), el cual aborda el presente informe de riesgos. Dicho trabajo versa sobre cuánto estarían dispuestos a pagar los turistas que visitan las Illes Balears para evitar el retroceso de 1 m lineal del ancho de playa por el cambio climático. El interés del estudio radica en que: i) se entrevistan a los turistas en la terminal de partidas de los aeropuertos, tras su experiencia en las playas de las Illes Balears; ii) se le ofrecen unos escenarios sobre la preferencia del ancho y configuración de las playas a partir de modelizaciones locales del impacto del ascenso del nivel medio del mar; y, iii) la pregunta está específicamente focalizada a los efectos de reducción del ancho de playa ante un escenario de ascenso del nivel medio del mar. Los datos de Enríquez y Bujosa (2020) están referidos a 2016 y cuantifican la disponibilidad de los turistas a gastar 1,23 € más por día de estancia para recuperar el retroceso de un metro lineal (*cross-shore*) de playa.

Por otro lado, IBESTAT determina, para 2019, que la estancia media de los turistas es de 6,35 días. Por este motivo, se entiende que cada turista estaría dispuesto a invertir 7,81€ (6,35 días x 1,23€) para evitar el retroceso de las playas. Este valor se ha asumido en el presente estudio a efectos de calcular la pérdida de servicios ecosistémicos asociados a la función recreativa. Para ello, se utilizaron los datos de números de turistas de 2019 –el último año con una afluencia turística normal antes del impacto de la pandemia de la COVID-19–, calculándose el correspondiente valor monetario en términos constantes, de manera que el valor recreativo de las playas sería de 8,20 € (2019) por metro lineal (*cross-shore*) de playa.

Una vez que se dispone de un valor económico, para proceder a su transferencia a cada playa es preciso redistribuir el número de turistas por playa. Para ello se ha procedido de la siguiente manera. En primer lugar, se ha desagregado el número de turistas por cada una de las islas, aunque considerando como una sola unidad las Pitiusas, puesto que ese es el nivel de agregación que ofrece IBESTAT. Así, para 2019 las Illes Balears recibieron 16.444.773 visitantes, que se repartieron de la siguiente manera: 11.866.513 en Mallorca, 1.450.185 en Menorca y 3.128.075 en Eivissa y Formentera. Puesto que en ese cómputo pueden entrar otro tipo de turistas, orientados a las prácticas como senderismo, ciclismo, actividades deportivas, etc., se ha optado por circunscribir la valoración al número de turistas de la temporada alta, lo que supone el 82% de los visitantes anuales que reciben las islas, ya que en este caso es un turismo claramente orientado al disfrute de los recursos de sol y playa.

A partir de dicha estimación del número de turistas, se redistribuyen los turistas en el universo de playas caracterizado en la sección 4.12 a partir de la siguiente función:

$$REV_n = \frac{SEF_n}{SEF_i} \times TUR_i \times BEV_i \times BER_n \quad [\text{Ec. 20}]$$

Donde REV_n es el valor económico de uso recreativo de la playa “n” en €; SEF_n es la superficie efectiva ponderada de cada playa en m², según la Ec. 21; SEF_i es el sumatorio de la superficie efectiva, en m², de todas las playas consideradas para cada isla; TUR_i es el número de turistas que visitan en temporada alta cada una de las islas; BEV_i es la cantidad que cada turista está dispuesto a pagar para evitar la erosión de las playas según el trabajo de Fernández y Bujosa (2020); y BER_n es la reducción del ancho medio de playa, en metros lineales (*cross-shore*), según cada escenario de la Tabla 4.01, calculado en la sección 4.12 de la presente memoria.

La superficie efectiva ponderada de playa se obtiene a partir de la función:

$$SEF_n = A_n \times F_n^T \times F_n^S \quad [\text{Ec. 21}]$$

Donde A_n es el área de playa seca para cada una de las playas, en m²; F_n^T es un factor de corrección según el contexto de las playas (de 1 a 0,5; Tabla 5.11); y F_n^S es un factor de corrección según los servicios de los que está dotada cada playa (de 1 a 0,05; Tabla 5.12).

Tabla 5.11. Factor de corrección por tipología de playa.

Localización	Descripción	Factor corrección
Playas urbanas	Playas naturales o artificiales frente a asentamientos urbanos que preceden a paseos marítimos. Ausencia de dunas longitudinales o dunas costeras.	1
Playas semiurbanas	Playas cercanas a asentamientos urbanos que pueden mantener algunos atributos naturales. Preceden a acantilados, desembocaduras de torrentes, dunas de escaso desarrollo o paseos marítimos.	0,8
Playas aisladas icónicas	Playas vírgenes, alejadas de asentamientos urbanos, aunque con un grado de publicitación elevado en guías turísticas, revistas, trípticos y otro material publicitario.	1
Playas aisladas	Playas vírgenes alejadas de asentamientos urbanos	0,5

Los factores de corrección actúan repartiendo el número de turistas entre las distintas playas del estudio, atendiendo a la tipología de cada playa, así como a la accesibilidad y servicios de dicha playa. En este sentido, se asume que las playas más frecuentadas serán aquellas que se encuentran al pie de las estaciones turísticas, en contrapunto a aquellas que se encuentran más alejadas (Tabla 5.11). A este respecto, se introduce como excepción la existencia de playas aisladas icónicas, que aparecen en todas las guías turísticas y que son intensamente visitadas a pesar de sus limitaciones de accesibilidad. En relación a la accesibilidad y servicios de las playas (Tabla 5.12), se asumió que la dotación de sanitarios, socorristas, hamacas, “chiringuitos”, etc., suponen un reclamo

para el conjunto de visitantes. El catálogo de servicios disponibles se obtuvo mediante la consulta de la página web *Platges de Balears* del Servicio de Emergencias de la Direcció General d'Emergències i Interior del GOIB (<https://www.platgesdebalears.com/>).

Tabla 5.12. Factor de corrección por accesibilidad y servicios ofertados en la playa.

Servicios	Descripción	Factor corrección
Categoría 1	Acceso fácil y seguro. Parking, socorristas y servicio de limpieza. Oferta complementaria y de actividades de ocio. Calidad del entorno, agua y la arena alta.	1
Categoría 2	Acceso fácil y seguro. Parking, socorristas y servicio de limpieza. Oferta complementaria y de actividades de ocio. Calidad del entorno, agua y la arena media.	0,8
Categoría 3	Acceso fácil. Sin servicios.	0,5
Categoría 4	Accesible. Equipamientos de parking y servicios de socorristas y limpieza. Calidad del entorno, agua y la arena media.	0,5
Categoría 5	Accesible. Equipamientos de parking y servicios de limpieza. Calidad del entorno, agua y la arena media.	0,3
Categoría 6	Acceso difícil. Sin servicios.	0,05

5.3.2 Resultados de los servicios ecosistémicos de las playas

El método presentado indica que en 2050, la pérdida de servicios ecosistémicos en términos de función recreativa supondría entre 651 y 1.325 millones de €, solo para los turistas en Illes Balears y para las condiciones más adversas. Estos valores supondrían entre el 2 al 4% del PIB de 2019. Para 2100, la pérdida de servicios ecosistémicos de las playas alcanzarían entre 1.921 y 3.379 millones de €, traduciéndose entre un 6 y un 10% del PIB (Tabla 5.13).

En términos monetarios (Tabla 5.14), en 2100 las playas más dañadas del archipiélago –asumiendo que no se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero– son las playas de mayor longitud ubicadas en las principales cuencas costeras de la isla de Mallorca: la playa de Alcúdia en la costa noreste de Mallorca y la playa de s'Arenal en la bahía de Palma, con 740 y 234 millones de euros de pérdida de servicios ecosistémicos relacionados con la función recreativa de las playas, respectivamente (Fig. 5.05).

Tabla 5.13. Pérdida del servicio ecosistémico de función recreativa de las playas de las Illes Balears para cada uno de los escenarios descritos en la Tabla 4.01(en millones de €).

Escenario / isla	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
	Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Mallorca	516,14	1.039,64	990,73	2.264,52	1.498,94	2.621,88
Menorca	51,27	106,00	100,55	213,19	152,53	240,05
Pitiüses	83,69	179,37	169,85	415,99	269,32	516,85
Illes Balears	651,10	1.325,01	1.261,14	2.893,69	1.920,79	3.378,77

Tabla 5.14. Pérdida del servicio ecosistémico de función recreativa de las playas, a nivel municipal, para la inundación permanente y temporal asociada a cada uno de los escenarios considerados en la Tabla 4.01 (millones de €), así como el efecto de la inundación eventual de un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual (2020) (millones de €).

Municipio	2020 Escenario 0	2050 (RCP-8.5)		2100 (RCP-4.5)		2100 (RCP-8.5)	
		Escenario 1 (Mín.)	Escenario 2 (Máx.)	Escenario 3 (Mín.)	Escenario 4 (Máx.)	Escenario 5 (Mín.)	Escenario 6 (Máx.)
Alaior	17,4	20,2	43,2	40,9	88,2	65,0	92,9
Alcúdia	143,1	166,0	351,2	333,6	758,2	523,8	765,7
Andratx	2,0	2,3	5,0	4,8	11,0	7,5	11,2
Artà	5,7	6,6	14,0	13,4	36,3	21,3	48,3
Calvià	40,1	46,6	100,4	94,5	246,5	151,7	307,9
Campos	28,8	33,5	71,6	67,9	165,2	108,1	190,8
Capdepera	25,6	29,7	63,5	60,0	162,8	96,1	208,6
Ciutadella	5,7	6,6	13,2	12,5	30,3	19,2	37,6
Eivissa	4,5	5,2	11,2	10,6	20,9	16,7	21,0
es Mercadal	4,8	5,6	11,8	11,1	27,6	17,4	35,4
es Migjorn Gran	4,4	5,2	11,0	10,4	21,0	16,2	21,2
Felanitx	5,6	6,5	13,7	13,0	31,3	19,8	39,6
Ferrieres	6,3	7,3	13,0	12,7	14,4	14,0	14,5
Formentera	2,3	2,7	5,8	5,5	14,6	8,8	19,2
Llucmajor	21,1	24,4	52,2	49,4	133,8	79,1	171,2
Manacor	6,5	7,7	16,2	15,4	38,8	24,7	49,2
Maó	0,6	0,7	1,4	1,4	2,6	2,1	2,8
Muro	70,5	80,4	114,9	114,3	118,1	117,6	118,1
Palma	45,3	52,7	113,1	106,8	283,0	169,0	372,0
Pollença	12,4	14,3	27,4	26,4	50,5	35,7	60,5
Sant Antoni P.	10,3	12,0	25,5	24,3	40,4	36,6	41,6
Sant Joan L.	6,1	7,1	15,1	14,3	39,0	23,0	51,8
Sant Josep T.	37,6	43,9	94,3	89,1	230,2	142,6	290,8
Sant Llorenç C.	15,9	18,6	39,7	37,6	102,4	60,2	136,3
Sant Lluís	4,9	5,7	12,3	11,6	29,1	18,6	35,6
Santa Eulària Riu	11,8	13,6	29,2	27,7	75,4	44,3	98,6
Santa Margalida	4,4	5,1	11,0	10,4	27,5	16,7	31,3
Santanyí	10,3	12,0	25,5	24,2	57,6	38,5	64,3
Ses Salines	1,2	1,4	3,0	2,9	7,8	4,6	10,4
Sóller	1,6	1,8	4,0	3,7	9,4	6,0	9,8
Son Servera	5,4	6,3	13,1	12,5	24,3	18,7	26,7

En la isla de Eivissa, Platja d'en Bossa es la playa más afectada por una pérdida de servicios ecosistémicos de la función recreativa de las playas. La pérdida equivalente ascendería a 215 millones de euros aproximadamente. El resto de playas de la isla se mantienen un orden de magnitud por debajo de este valor (Fig. 5.05).

El impacto en las playas de Menorca, en términos de servicio ecosistémico de la función recreativa de las playas, es menor que en el resto de islas. El mayor impacto corresponde a la playa de Son Bou, en el sur de Menorca, con una pérdida de servicios ecosistémicos de la función recreativa de las playas equivalente a 75 millones de € para el 2100 (Fig. 5.05).

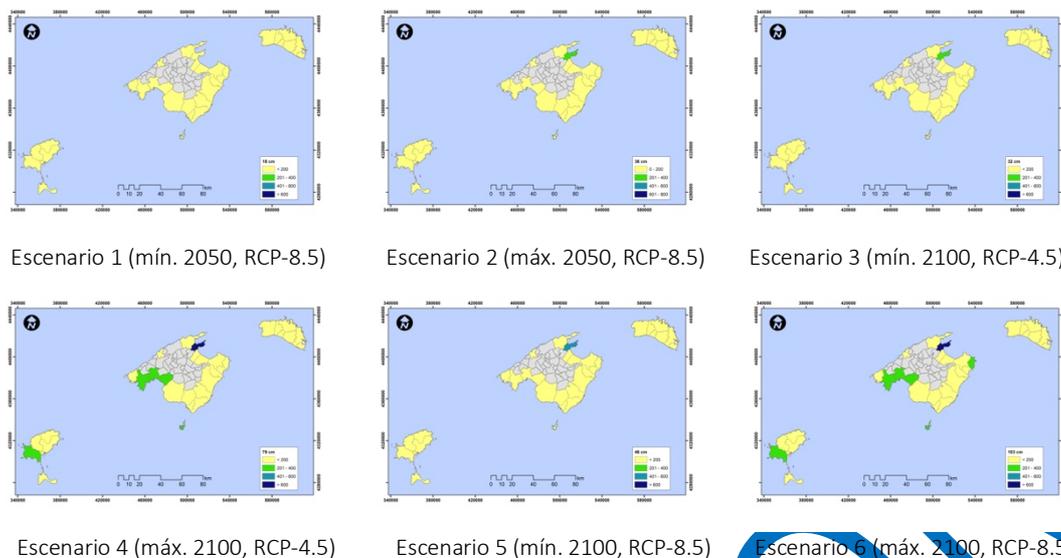


Fig. 5.05. Pérdida del servicio ecosistémico de función recreativa de las playas (% respecto del servicio ecosistémico provincial) para los diferentes escenarios considerados en la Tabla 4.01, por municipios.

5.4 Índice sintético del riesgo sobre el sistema socioeconómico

En la presente memoria se concibe el riesgo como una combinación de la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad para diferentes horizontes temporales y diferentes escenarios de ascenso del nivel medio del mar asociados a las tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero. La gestión del riesgo asociado al cambio climático requiere de una estrategia sectorial o sistemática, abordando el riesgo en distintos horizontes temporales asumiendo un umbral relacionado con el nivel de riesgo actual. En apartados anteriores se ha descrito como “Escenario” 0 al escenario correspondiente con los daños ocasionados por la inundación eventual provocada por un temporal con periodo de retorno 100 años sobre la línea de costa actual. Dado este umbral y los diferentes impactos considerados y abordados en secciones anteriores (sobre el sistema territorial, sus elementos físicos, de infraestructuras críticas, espacios naturales, hábitats prioritarios, patrimonio histórico y arqueológico o la pervivencia de las playas), ahora cabe elaborar un indicador sintético que permita ofrecer una instantánea regional y espacial de las zonas en las que el riesgo en la costa asociado al cambio climático puede tener un mayor impacto.

5.4.1 Método del índice sintético del riesgo sobre el sistema socioeconómico

El método empleado para obtener el indicador sintético del riesgo sobre el sistema socio-económico se basa en reescalar el rango de valores que asume cada una de las variables socioeconómicas abordadas en cuatro categorías:

- 1 – Riesgo bajo.
- 2 – Riesgo moderado.
- 3 – Riesgo moderado-alto.
- 4 – Riesgo alto.

Los umbrales que limitan cada categoría se han establecido a partir de los niveles máximos alcanzados en cada categoría para el Escenario 0, correspondiente al clima presente y asumido como riesgo actual (Tabla 5.15).

Tabla 5.15. Intervalos para reescalar las variables socioeconómicas en las diferentes categorías de riesgo.

Variable	Unidades	Umbrales para las categorías de riesgo			
		1	2	3	4
Población afectada (PA)	Habitantes	0 – 100	100 – 500	500 – 1.000	>1.000
Stock de capital agrícola (SCA)	Miles de €	0 – 0,05	0,05 – 5	5 – 50	>50
Stock de capital industrial (SCI)	Miles de €	0 – 20	20 – 200	200 – 2.000	>2.000
Stock de capital residencial (SCR)	Miles de €	0 – 30	30 – 3.000	3.000 – 30.000	>30.000
VAB agricultura (VABag)	Miles de €	0 – 0,08	0,08 – 8	8 – 80	>80
VAB industria (VABin)	Miles de €	0 – 5	5 – 50	50 – 500	>500
VAB de servicios (VABser)	Miles de €	0 – 200	200 – 2.000	2.000 – 20.000	>20.000
Valor servicio ecosistémico recreativo playas (SERpl)	Millones €	0 – 150	150 – 300	300 – 600	>600

Una vez efectuado el redimensionamiento de las escalas de valores para cada escenario, se ha construido un índice sintético adaptado, por un lado, a las características económicas de las Illes Balears, y por otro, estableciendo bajo criterio de experto, pesos a cada indicador socio-económico:

$$I = 30\% PA + (2\% SCA + 5\% SCI + 23\% SCR) + (3\% VABag + 7\% VABin + 10\% VABser + 20\% SERpl)$$

donde los pesos se reparten de la siguiente manera:

30% – Población Afectada por la inundación costera (PA).

30% – Impacto sobre el stock de capital, repartido de la siguiente manera:

2% – Stock de capital agrícola (SCA).

5% – Stock de capital industrial (SCI).

23% – Stock de capital residencial (SCR).

40% – Impacto sobre el Valor Añadido Bruto (VAB), repartido de la siguiente manera:

3% – VAB agrícola (VABag).

7% – VAB industrial (VABin).

10% – VAB servicios (VABser).

20% – Servicios ecosistémicos función recreativa playas (SERpl).

5.4.2 Resultados del indicador sintético del riesgo sobre el sistema socioeconómico

La Figura 5.06 muestra la distribución de riesgo para el clima actual. En el Escenario 0 ningún municipio alcanza valores que lo ubiquen en una situación diferente al riesgo bajo. Aunque en municipios como Sant Josep de Talaia, Muro o Pollença la suma de la población afectada por el evento extremo con periodo de retorno 100 años pueda afectar aproximadamente entre 100 y 200 personas..

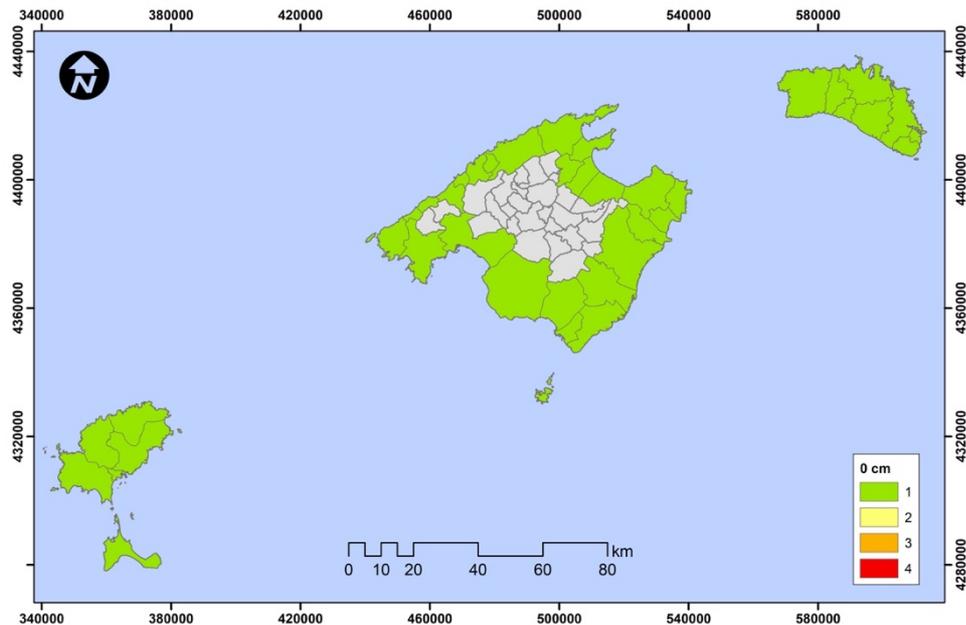


Fig. 5.06. Distribución municipal del riesgo sobre el sistema socioeconómico correspondiente al Escenario 0: clima actual y inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno de 100 años.

Las Figuras 5.07 y 5.08 presentan el rango de riesgo para el horizonte temporal 2050 y el escenario RCP-8.5, integrando la inundación permanente por el ascenso del nivel medio del mar y la inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno 100 años.

Cabe llamar la atención sobre el hecho de que, tanto para el ascenso mínimo (Escenario 1) como para el máximo (Escenario 2), la isla de Menorca permanece en su totalidad en un nivel de riesgo bajo, mientras que determinados sectores del resto de las islas entran ya en una categoría de riesgo moderado. Así, en Mallorca las bahías del norte, Pollença, Alcúdia y Muro van sumando impactos tanto en población afectada, como en afectación sobre vivienda y servicios ecosistémicos de las playas y constituyen una de las áreas de mayor impacto. También se observa un impacto inferior en el municipio de Palma, aunque el peso del sector industrial afectado, que básicamente se concentra en este municipio, lo ubica en la categoría de impacto moderado. Formentera, dadas sus características fisiográficas, experimenta una tendencia parecida a la de la bahía de Alcúdia. Del mismo modo, Sant Josep de sa Talaia también muestra un riesgo moderado, debido a las zonas de Ses Salines y la Platja d'en Bossa, las de mayor impacto en el territorio ibicenco.

El Escenario 2, llegando al ascenso del nivel medio del mar de 36 cm, supone un cambio de categoría de riesgo para el municipio de Alcúdia, que ya en 2050 podría ser moderado-alto.

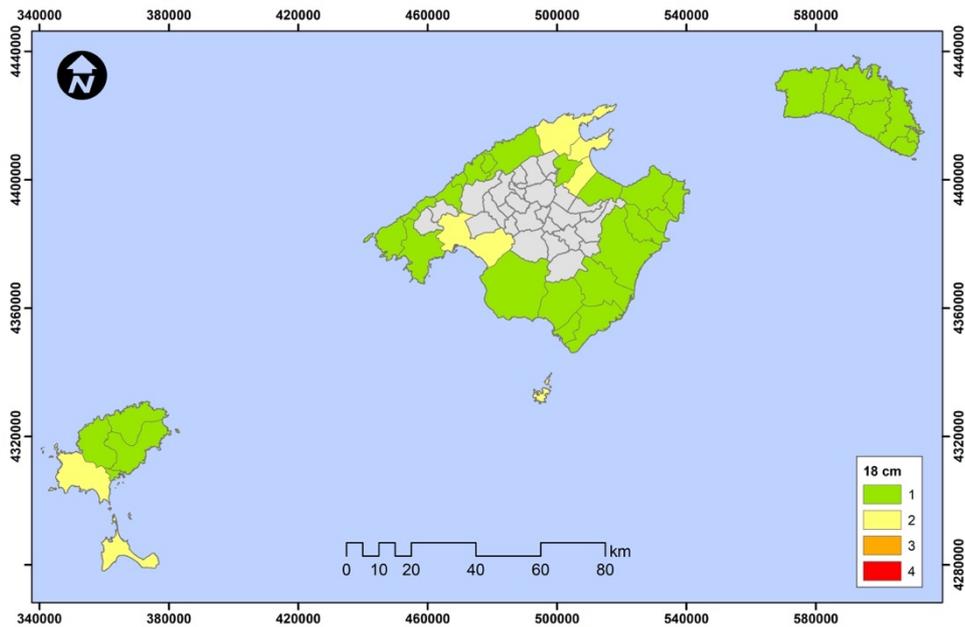


Fig. 5.07. Distribución municipal del riesgo sobre el sistema socioeconómico correspondiente al Escenario 1: ascenso del nivel medio del mar mínimo (18 cm) en 2050 bajo escenario RCP-8.5 e inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno de 100 años.

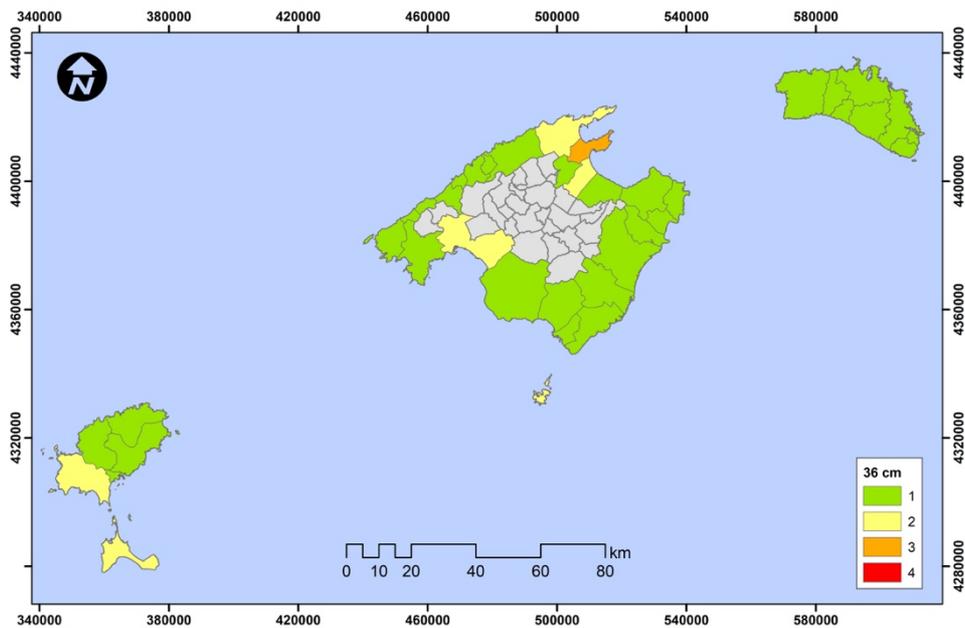


Fig. 5.08. Distribución municipal del riesgo sobre el sistema socioeconómico correspondiente al Escenario 2: ascenso del nivel medio del mar máximo (36 cm) en 2050 bajo escenario RCP-8.5 e inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno de 100 años.

Las Figuras 5.09 y 5.10 presentan el rango de riesgo para el horizonte temporal 2100 y el escenario RCP-4.5, el cual implica un descenso en las emisiones de gases de efecto invernadero, integrando la inundación permanente por el ascenso del nivel medio del mar y la inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno 100 años.

El mínimo ascenso del nivel medio del mar para dicho horizonte temporal y escenario climático –Escenario 3– no difiere de las condiciones más adversas previstas para 2050. En cambio, el máximo ascenso del nivel medio del mar (79 cm) –Escenario 4–, pese a la reducción de emisiones, implica que en todas las islas ya haya algún municipio en la categoría de riesgo moderado: Ferreries en Menorca; Eivissa capital y Santa Eulària des Riu en Eivissa; así como Campos, Manacor y municipios de la bahía de Palma en Mallorca. Este hecho es debido al efecto combinado sobre la población y los flujos económicos, principalmente el impacto sobre el *stock* de capital residencial y la pérdida de servicios ecosistémicos de función recreativa de las playas.

Las condiciones del Escenario 4, pese a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, también suponen que el impacto aumente en el municipio de Palma y de Muro.- Esto es debido, básicamente, a la pérdida de superficie de playa. En Alcúdia, además de la pérdida de playa, también se suma un peso importante por la afectación sobre vivienda y sector servicios, pues habrá algunos hoteles que sufrirán las consecuencias del ascenso del nivel medio del mar.

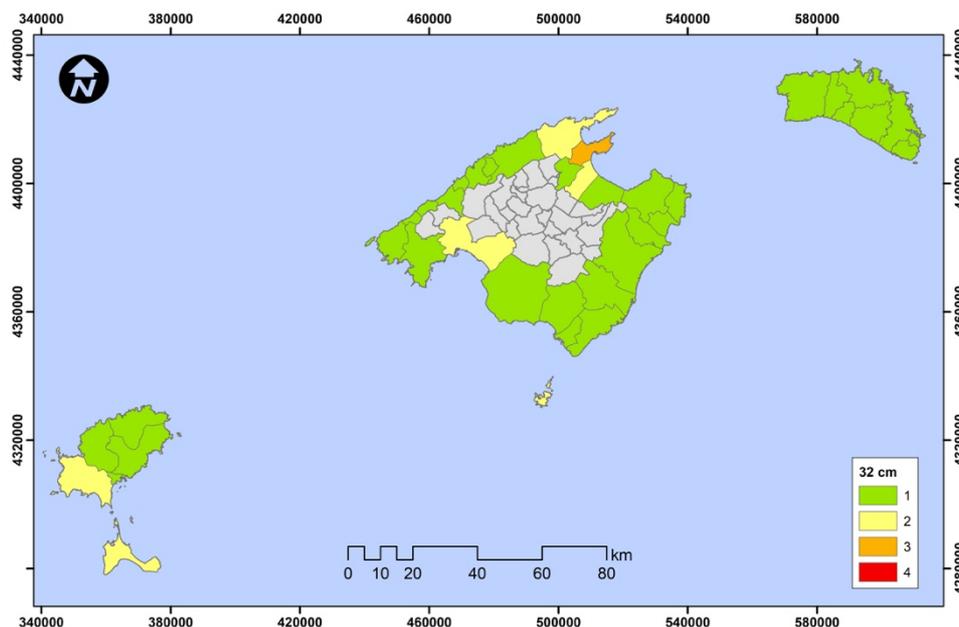


Fig. 5.09. Distribución municipal del riesgo sobre el sistema socioeconómico correspondiente al Escenario 3: ascenso del nivel medio del mar mínimo (32 cm) en 2100 bajo escenario RCP-4.5 e inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno de 100 años.

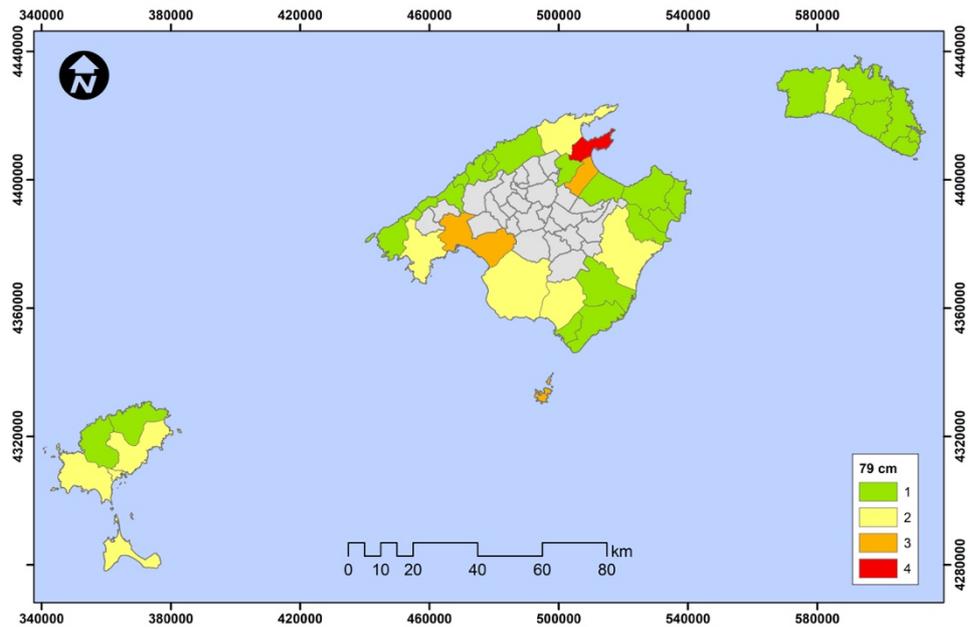


Fig. 5.10. Distribución municipal del riesgo sobre el sistema socioeconómico correspondiente al Escenario 4: ascenso del nivel medio del mar máximo (79 cm) en 2100 bajo escenario RCP-4.5 e inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno de 100 años.

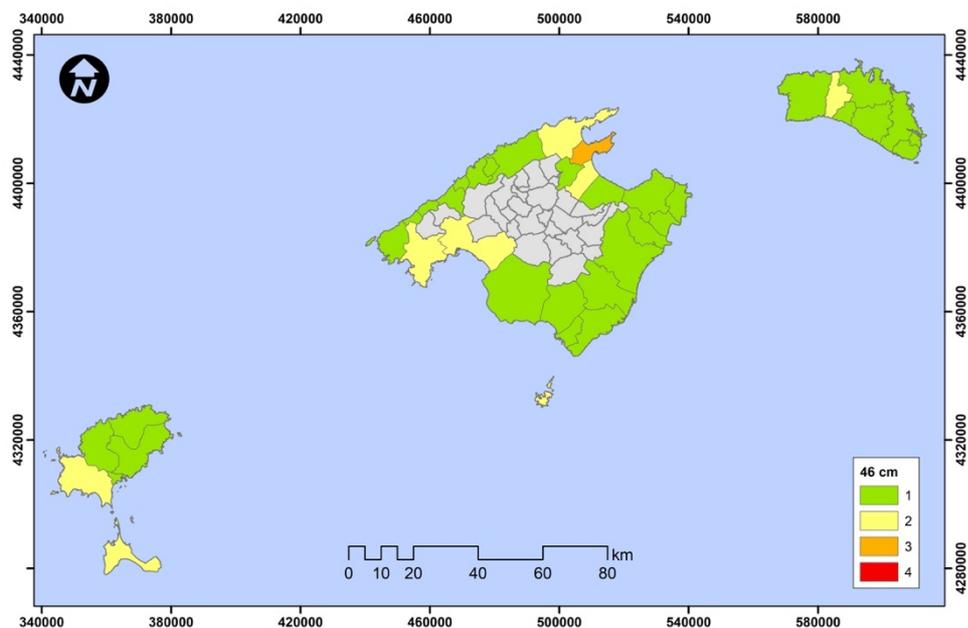


Fig. 5.11. Distribución municipal del riesgo sobre el sistema socioeconómico correspondiente al Escenario 5: ascenso del nivel medio del mar mínimo (46 cm) en 2100 bajo escenario RCP-8.5 e inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno de 100 años.

Las Figuras 5.11 y 5.12 presentan el rango de riesgo para el horizonte temporal 2100 y el escenario RCP-8.5, el cual implica una tendencia de emisiones de gases de efecto invernadero semejante a la actual, integrando la inundación permanente por el ascenso del nivel medio del mar y la inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno 100 años.

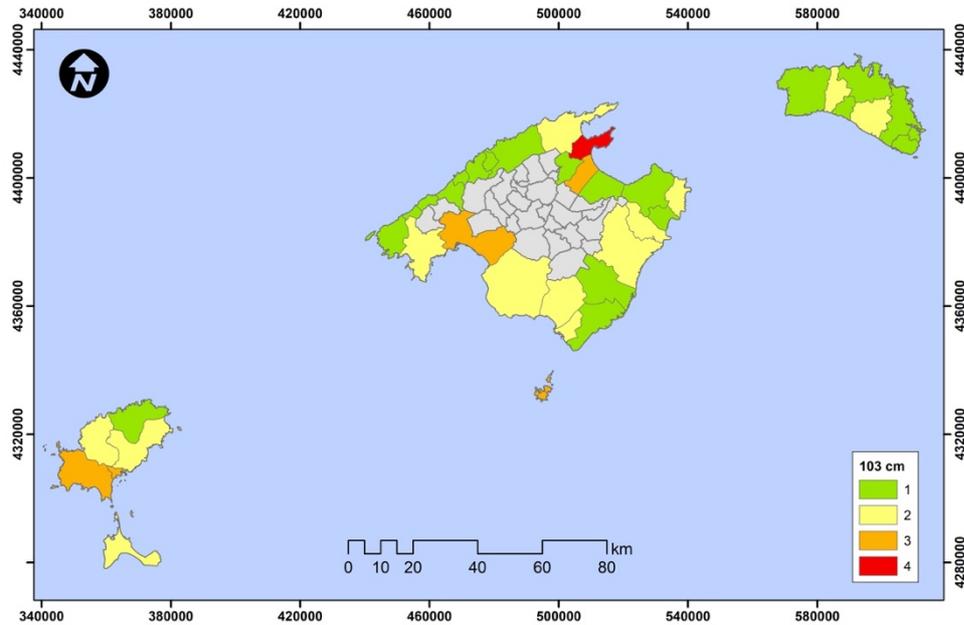


Fig. 5.12. Distribución municipal del riesgo sobre el sistema socioeconómico correspondiente al Escenario 6: ascenso del nivel medio del mar máximo (103 cm) en 2100 bajo escenario RCP-8.5 e inundación temporal asociada a un evento extremo con periodo de retorno de 100 años.

El mínimo ascenso del nivel medio del mar para dicho horizonte temporal y escenario climático –Escenario 5–, supone un cambio leve respecto de las condiciones más adversas previstas para 2050. En este sentido, los municipios de Calvià en Mallorca y Ferreries en Menorca pasan a la categoría de moderado en este Escenario 5, debido a la pérdida de superficie de playa y de los flujos económicos residenciales. En cambio, el máximo ascenso del nivel medio del mar –Escenario 6–, en el que ya se superaría el metro de ascenso del nivel medio del mar respecto al nivel actual (103 cm), implicaría que en Mallorca (Palma y Muro) y Eivissa (Sant Josep de sa Talaia y Eivissa) haya más de un municipio en la categoría de riesgo moderado-alto. En el caso de Mallorca, Palma y Muro verían incrementado su riesgo debido a que poseen las playas de mayor longitud de la isla, lo que supondrá un incremento de pérdida de servicios ecosistémicos de las playas.

En Eivissa, Sant Josep de sa Talaia y Eivissa alcanzarán también este nivel de riesgo debido al impacto sobre el Prat d'en Fita y ses Salines. El municipio de Alcudia en Mallorca merece una mención especial, por ser el único municipio que adquiere un nivel de riesgo alto. Este hecho es debido al efecto sobre los flujos económicos asociados a la vivienda, servicios y efectos sobre la población.

Cabe destacar que, en Mallorca, Sant Llorenç, Ses Salines y Capdepera pasarían a formar parte del grupo de municipios con un riesgo moderado, a raíz de la afección sobre vivienda y población, y la pérdida de playa. En cambio, Alaior en Menorca y Sant Antoni de Portmany en Eivissa también se unirían a los municipios con riesgo moderado.

5.5 Resumen

- En esta sección se han evaluado y cuantificado los efectos de la inundación costera asociada a los diferentes escenarios de cambio climático en términos monetarios para el *stock* de capital, el Valor Añadido Bruto (VAB) y los servicios ecosistémicos sobre la función recreativa que ofrecen las playas.
- Dentro del capítulo del *stock* de capital, la rama que sufre un mayor impacto es el *stock* de capital residencial. Para 2050 el impacto conjunto de la inundación permanente y temporal supondría una pérdida de 39 millones de €, mientras que en 2100 alcanzaría, en el peor de los casos, 395 millones de €.
- Dentro del capítulo de flujos económicos, el VAB asociado al sector servicios en 2100 recibiría, en el peor de los casos, un impacto de 162 millones de €, un 0,7% del VAB de servicios de las Illes Balears.
- La pérdida de servicios ecosistémicos, centrada en la pérdida de la función recreativa de las playas, supone, para el peor de los escenarios en 2050, un impacto de 1.325 millones de € y, para 2100, de 3.379 millones de €, representando el 4% y el 10% del PIB de 2019, respectivamente.
- El índice sintético del riesgo sobre el sistema socio-económico y su distribución municipal revela la existencia de un riesgo moderado-alto en el municipio de Alcúdia para el horizonte temporal 2050. Para el horizonte temporal 2100, aunque existe un mayor número de municipios costeros con un impacto moderado, el impacto es entre alto y moderado-alto en el sector norte de la bahía de Alcúdia, moderado-alto en el litoral de Palma y moderado-alto en Sant Josep de sa Talaia y Eivissa (en este último caso a raíz del impacto en Platja d'en Bossa y Ses Salines).

5.6 Productos

- Una base de datos agregados a nivel municipal correspondiente a la estimación en términos económicos del impacto sobre el *stock* de capital, el VAB y los servicios ecosistémicos de función recreativa de las playas asociados a cada uno de los horizontes temporales y la inundación permanente y temporal de los escenarios RCP-4.5 y RC-P8.5.

6
Bibliografía



6. Bibliografia

- Balaguer, P., Vallespir, J., Vizoso, G., Ruíz, M., Cañellas, B., Fornós, J. J., Tintoré, J. (2015). *Atles de sensibilitat ambiental del litoral de les Illes Balears. Sistema d'Observació i Predicció Costaner de les Illes Balears*, SOCIB (MINECO-CAIB). Palma, 159 pp.
- Bates, P. D., Horritt, M. S., Fewtrell, T. J. (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. *Journal of Hydrology*, 387(1):33 – 45.
- Dean, R. G. y Dalrymple, R. A. (1991). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. World Scientific, Singapore.
- Enríquez, A. R., Marcos, M., Falqués, A., Roelvink, D. (2019). Assessing beach and dune erosion and vulnerability under sea level rise: A case study in the mediterranean sea. *Frontiers in Marine Science*, 6:4.
- Enríquez, A. y Bujosa, A. (2020). Measuring the economic impact of climate-induced environmental changes on sun-and-beach tourism. *Climatic Change*, 160: 203-217.
- Gómez-Pujol, L., Orfila, A., Morales-Márquez, V., Compa, M., Pereda, L., Fornós, J. J., Tintoré, J. (2019). *Beach Systems of Balearic Islands: Nature, Distribution and Processes*, pages 269–287. Springer International Publishing, Cham.
- Gómez-Pujol, L., Roig-Munar, F. X., Fornós, J. J., Balaguer, P., Mateu, J. (2012). Provenance-related characteristics of beach sediments around the island of menorca, balearic islands (western mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 33(2-3):195–208.
- Guerrero, V. 1981. Los asentamientos humanos sobre los islotes costeros de Mallorca. *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana*, 38: 191-231.
- IH Cantabria (2017). *Asistencia técnica a la elaboración de un estudio sobre la adaptación al cambio climático de la costa del principado de Asturias*. IH Cantabria, Universidad de Cantabria. Santander.
- IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance ClimateChange Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of theIntergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- 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., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A.

-
- Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Kopp, R. E., Horton, R. M., Little, C. M., Mitrovica, J. X., Oppenheimer, M., Rasmussen, D. J., Strauss, B. H., Tebaldi, C. (2014). Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. *Earth's Future*, 2(8):383–406.
- Mentaschi, L., Vousdoukas, M. I., Voukouvalas, E., Dosio, A., Feyen, L. (2017). Global changes of extreme coastal wave energy fluxes triggered by intensified teleconnection patterns. *Geophysical Research Letters*, 44(5):2416–2426.
- Micallef, A. y Williams, A.T. (2002). Theoretical strategy considerations for beach management. *Ocean & Coastal Management*, 45: 261-275.
- Miller, J. K. y Dean, R. G. (2004). A simple new shoreline change model. *Coastal Engineering*, 51(7):531 – 556.
- Moreno, A. y Abelung, B. (2009). Climate Change and Tourist Comfort on Europe's Beaches in Summer: A Reassessment. *Coastal Management*, 37: 550-568.
- Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J., Nicholls, R. J. (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding - a global assessment. *PLOS ONE*, 10(3):e0118571.
- Pérez-López, N., Roig-Munar, F.X. (2007). Valoración económica de los sistemas arenosos de Menorca: una contribución a la revalorización de la geomorfología litoral. In: Gómez-Pujol, L. & Fornós, J.J. (eds): *Investigaciones recientes (2205-2007) en Geomorfología Litoral*: 123-127. UIB, IMEDEA, SHNB, SEG, Palma.
- Pérez, F. y Mas, I. (Dir.), (2020). El stock de capital en España y sus comunidades autónomas. Ajuste de la inversión pública y reducción del déficit. Documentos de Trabajo 1/2020. Fundación BBVA. Bilbao. 178 pp.
- Pörtner, H.-O., Roberts, D., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B. (eds.) (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. IPCC. En prensa.
- Riera, A., Álvarez-Díaz, M., Crespí, R., Gómez-Pujol, L. (2007). El valor d'ús recreatiu de la badia de Santa Ponça (Calvià). *Cojuntura*, 20: 66-71.
- Rogers, D. (1998). *Procedural Elements for Computer Graphics*. WCB/McGraw-Hill.
- Smith, J. M. (1993). Nearshore wave breaking and decay. Technical Report CERC-93-11, U.S. Army Corps of Engineers: Waterways Experiment Station.
- Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A., Sallenger, A. H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53(7):573–588.
- Thornton, E. B. y Guza, R. T. (1983). Transformation of wave height distribution. *Journal of Geophysical Research*, 88(C10):5925.
-

-
- Toimil, A., Díaz-Simal, P., Losada, I., Camus, P. 2018. Estimating the risk of loss of beach recreation value under climate change. *Tourism Management*, 68: 387-400
- Toimil, A., Losada, I. J., Camus, P., Díaz-Simal, P. (2017). Managing coastal erosion under climate change at the regional scale. *Coastal Engineering*, 128:106 – 122.
- Torres, C., Faccioli, M., Font, A.R. (2017). Waiting or acting now? The effect of willingness-to-pay of delivering inherent t uncertainty information in choice experiments. *Ecological Economy*, 131: 231-240.
- van Rijn, L. C. (1984). Sediment transport, part II: Suspended load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(11):1613–1641.
- van Vuuren, D.P. et al. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109:5–31.
- Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M., Feyen, L. (2017). Extreme sea levels on the rise along Europe’s coasts. *Earth’s Future*, 5(3):304–323.
- Vousdoukas, M. I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T. A., Athanasiou, P., Luijendijk, A., Feyen, L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, 10(3):260–263.

BORRADO

BORRADOR



G CONSELLERIA
O TRANSICIÓ ENERGÈTICA,
I SECTORS PRODUCTIUS
B I MEMÒRIA DEMOCRÀTICA

