

ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y AMENAZAS FUTURAS

4

Laura Asensio Martínez, Jaime Ribalaygua Batalla, Emma Gaitán Fernández, Luis Torres Michelena, Lorena Galiano Sánchez, Carlos Prado López

Colaboran: Domingo Rasilla Álvarez, Pablo Fernández de Arroyabe, Francisco Conde Oria

4.1

IDENTIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE AMENAZAS CLIMÁTICAS

Para realizar una selección de las amenazas climáticas que deben contemplarse en el plan de adaptación, es necesario disponer de información contextual actualizada sobre el escenario de peligrosidad climática existente/observado en el municipio, junto con los parámetros climáticos asociados más relevantes en cada caso y a nivel específico. Además, las bases de datos sobre catástrofes o peligros relacionados con el clima, junto con los indicadores multiescalares de vulnerabilidad climática y desarrollo humano, o los planes de acción climática, suelen componer una fuente de información principal y cercana. Finalmente, esta detección temprana de riesgos climáticos se complementa técnicamente con herramientas de apoyo local, como la consulta a personas expertas y el análisis de la percepción social de los riesgos climáticos.

Específicamente, el procedimiento para identificar las amenazas climáticas con mayor incidencia y relevancia en el municipio de Santander ha consistido en la recopilación y análisis de cuatro fuentes de información base:



Consulta a través de herramientas existentes de apoyo al conocimiento y la adaptación. Nivel contextual a escala europea.



Fuentes de información documental, incluyendo estrategias y planes territoriales de ámbito regional y local, artículos científicos y publicaciones de universidades, entre otros. Nivel regional y local.



Consulta pública efectuada a través de talleres de trabajo grupal con actores relevantes. Nivel local.



Registros históricos de daños por climatología adversa documentados en el municipio. Nivel local.

Una vez evaluadas cada una de estas fuentes, se procede a la priorización de las amenazas climáticas en el municipio a través del empleo del método de análisis multicriterio, que consiste en una combinación semicuantitativa de un conjunto de criterios objetivos, que representan la incidencia específica en el territorio de cada una de las amenazas, incluyendo su magnitud y frecuencia, así como los daños originados en términos humanos y materiales, y teniendo en cuenta dos grandes tipologías de amenazas climáticas:



Directas, es decir, claramente asociadas con la ocurrencia de eventos climáticos extremos y con la variabilidad del clima, tales como las olas de calor, las sequías o las lluvias extremas.



Derivadas, aquellas que se ven influenciadas por el clima, generalmente como factor exacerbante, pero que no tienen un origen esencialmente meteorológico o climático, tales como la transmisión de enfermedades.

En los siguientes apartados se analizan detalladamente los resultados obtenidos para cada una de las fuentes de información y, finalmente, se muestra el procedimiento y los criterios empleados en la priorización final de las amenazas climáticas que hay que considerar en el presente marco.

Consulta preliminar mediante herramientas de screening climático

La Plataforma Europea de Adaptación al Clima (Climate-ADAPT)¹ tiene como objetivo ayudar a Europa a adaptarse al cambio climático, facilitando a los usuarios el acceso y que compartan datos e información sobre el cambio climático esperado, la vulnerabilidad y el riesgo climático, y las estrategias y las acciones de adaptación. En cuanto a impactos climáticos, específicamente se definen las áreas costeras y las llanuras aluviales en las partes occidentales de Europa como puntos críticos multisectoriales. Específicamente la región atlántica presentará diversos retos relacionados con el incremento de eventos de precipitación extrema, inundaciones fluviales y costeras o tormentas invernales, entre otros.

Asimismo, Climate-ADAPT pone a disposición del público herramientas que apoyan la planificación de la adaptación. Entre estas últimas, para el caso que nos ocupa, destaca

¹ La Plataforma Europea de Adaptación al Clima (Climate-ADAPT) es fruto de una asociación entre la Comisión Europea y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA).

la Herramienta de Apoyo a la Adaptación Urbana (UAST), cuyo objetivo es ayudar a las ciudades, pueblos y otras autoridades locales a desarrollar, implementar y monitorear planes de adaptación al cambio climático. La herramienta permite acceder a diversos conjuntos de información generada en las ciudades europeas. Específicamente, el visor de mapas recopila información de diversas fuentes sobre la distribución espacial y la intensidad observadas y previstas de las altas temperaturas, las inundaciones, la escasez de agua, los incendios forestales y las enfermedades transmitidas por vectores. Los resultados del *screening* básico de la herramienta para la ciudad de Santander se muestran a continuación:

CUADRO 4.1. *Conjunto de datos climáticos para Santander de Climate-ADAPT.*

TIPO DE AMENAZA	INDICADOR EMPLEADO	VALOR PARA SANTANDER
Temperaturas extremas	Número proyectado de olas de calor extremas (2020-2052; RCP 8,5; número en 33 años)	1 - Nivel bajo
	Número anual de grados-día de enfriamiento o refrigeración (1990-2015 media)	31 - Nivel bajo
	Variación del porcentaje de días de verano clasificados como ola de calor entre 1951-200 y 2051-2100	Escenario de impacto alto (percentil 90): 40-50, nivel medio
Inundación costera	Subida del nivel del mar en metros (2081-2100)	Para RCP 8.5: 0,6-1m, nivel muy alto
		Para RCP 2.6: 0,2-0,4 m, nivel medio
	Porcentaje de la zona central de la ciudad inundada en un escenario de subida de nivel del mar de 1m (sin defensas)	2,08 % del núcleo urbano inundado. Nivel bajo
Inundaciones pluviales	Porcentaje de cambio proyectado en los eventos de precipitación extrema en invierno (desde 1971-2000 a 2071-2100; RCP8.5)	5, nivel bajo o moderado
Escasez de agua	Tendencias proyectadas en la frecuencia de la sequía (2071-2100; meses por período de 30 años)	5,98, nivel medio, RCP 8.5
Incendios	Peligro de incendio forestal (1981-2010; índice de gravedad estacional)	1,15, nivel bajo, RCP 8,5
	Peligro de incendio forestal previsto (2071-2100; índice de gravedad estacional)	0,99, nivel bajo, RCP 4,5

[.../...]

Continuación CUADRO 4.1

TIPO DE AMENAZA	INDICADOR EMPLEADO	VALOR PARA SANTANDER
Clima y enfermedades	Aptitud climática para el mosquito tigre (<i>Aedes albopictus</i>) 2008-2009	99,96, nivel muy alto (ciudad de referencia: Bilbao)

Fuente: CINcC (UC) - FIC, 2024 a partir de los datos de la Herramienta de Apoyo a la Adaptación Urbana (UAST) de la plataforma europea Climate-Adaptecca.

Disponible en: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/urban-adaptation>

- A Las olas de calor se definen como tres días consecutivos en los que tanto la temperatura máxima como la mínima superan sus respectivos percentiles 95 del periodo histórico. El análisis se basa en 50 proyecciones de modelos climáticos de la fase 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) (Taylor et al., 2012), bajo el escenario climático RCP8.5.
- B Las inundaciones pluviales en zonas urbanas son el resultado de la combinación de precipitaciones intensas y una elevada proporción de superficies impermeables. Cuando el agua no puede infiltrarse en el suelo, la elevada cantidad de escorrentía superficial puede superar la capacidad del sistema de drenaje y provocar inundaciones. Debido al cambio climático, es probable que las precipitaciones intensas sean cada vez más frecuentes en muchas partes de Europa.
- C El objetivo de esta herramienta es ofrecer una visión general de los peligros climáticos actuales y futuros a los que se enfrentan las ciudades europeas, y no a nivel específico.

La información asociada a cada indicador puede ser consultada en el siguiente enlace: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/urban-adaptation/Urban-Adaptation-viewer-datasets>

En Santander, la serie temporal de temperatura máxima observada para el periodo de registro de 1971 hasta 2005 muestra una clara tendencia a su incremento sostenido. Como se observa en la siguiente figura, los registros observados de temperatura máxima anual presentan medias de entre 14 y 15 °C para la década de 1970, situándose en medias en torno a los 16,5 °C para el último quinquenio del siglo XXI.

Escenarios AdapteCCA - Temperatura máxima - Datos en rejilla (media) - Histórico - Año completo - Santander

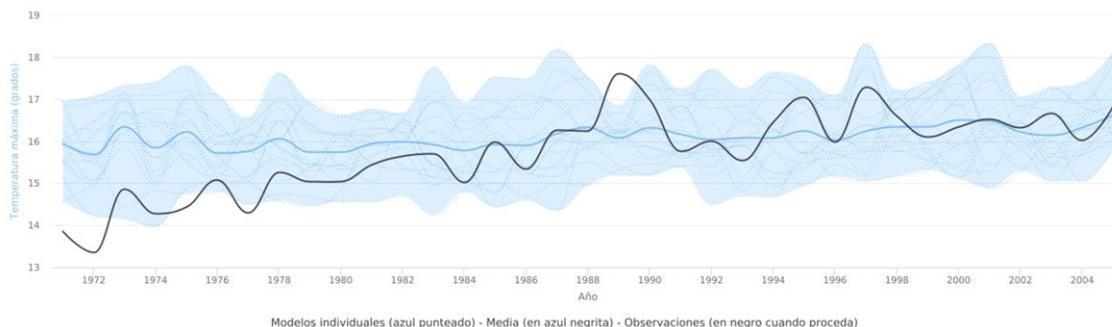
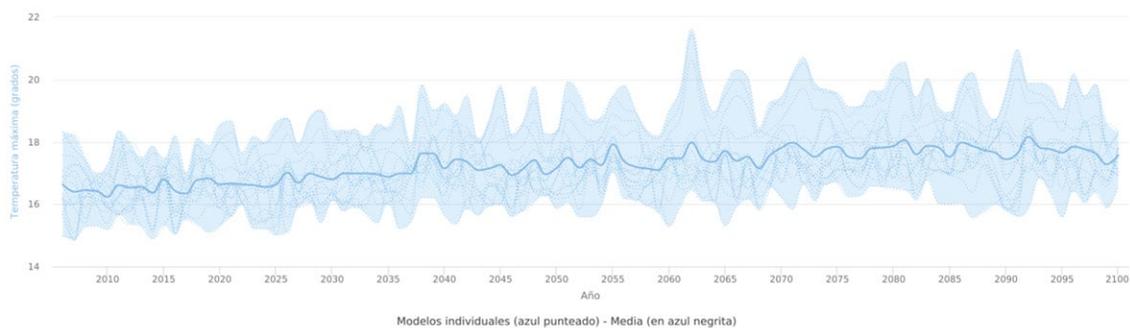


Figura 4.1. Temperatura media, escenarios Adaptecca.

Fuente: Adaptecca, 2022. <http://escenarios.adaptecca.es>

En 2010, la Universidad de Cantabria elaboró los Escenarios Regionales Probabilísticos de Cambio Climático en Cantabria, con la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología, basados en las salidas de los modelos globales del Cuarto Informe del IPCC, los cuales son considerados en la propia Estrategia de Cambio Climático vigente en la actualidad. Los resultados de tales escenarios indican aumentos de temperaturas medias de 3 °C al final de siglo (4 ± 2 °C para el peor escenario, el A2). Es algo más suave para la región del litoral. Asimismo confirman una disminución de la precipitación en toda la región en la segunda mitad de siglo con baja incertidumbre, llegando a descensos del 20 % en toda la región. Además, indican cambios en la distribución de las precipitaciones, con disminuciones mayores en primavera y otoño. En consecuencia, la clasificación climática para finales de siglo a partir de tales proyecciones con los escenarios intermedio y pesimista indica una clara tendencia hacia un clima de tipo mediterráneo para la región oriental, y climas de transición mediterráneo-oceánico que se van desplazando progresivamente del litoral al clima atlántico actual (Gutiérrez *et al.*, 2010)².

Escenarios AdapteCCa - Temperatura máxima - Datos en rejilla (media) - RCP 4.5 - Año completo - Santander (Cantabria)



Escenarios AdapteCCa - Temperatura máxima - Datos en rejilla (media) - RCP 8.5 - Año completo - Santander

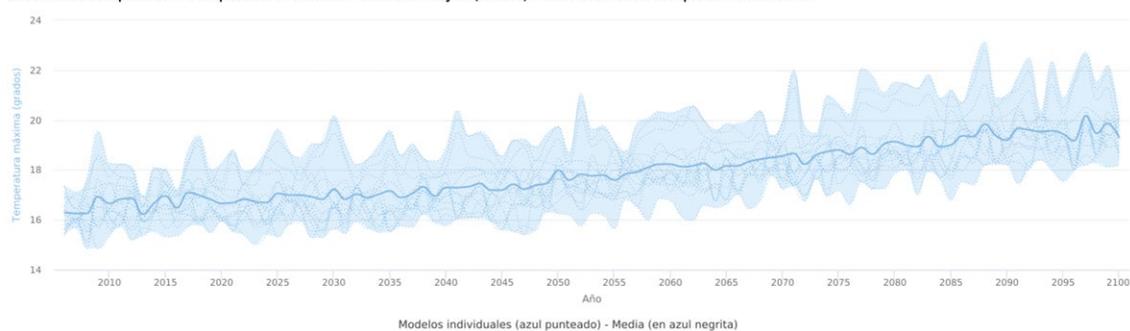


Figura 4.2. Comparativa escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Temperatura máxima, Adaptecca.

Fuente: Adaptecca, 2022.

² Gutiérrez, J. M., Herrera, S., San Martín, D., Sordo, C., Rodríguez, J. J., Frochoso, M., Ancell, R., Fernández, J., Cofiño, A. S., Pons, M.R. y Rodríguez, M. A. (2010). Escenarios Regionales Probabilísticos de Cambio Climático en Cantabria: Termopluiometría. Universidad de Cantabria, Consejería de Medio Ambiente, Gobierno de Cantabria.

Posteriormente, fueron publicadas en la plataforma Adapteca³ las proyecciones regionalizadas de cambio climático para toda España, realizadas a partir de las proyecciones globales del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, en el marco de la iniciativa Escenarios PNACC y concretamente de la colección de Escenarios PNACC 2017. Los datos disponibles se nutren principalmente de dos fuentes: proyecciones puntuales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y proyecciones en rejilla procedentes de la iniciativa internacional Euro-CORDEX⁴ (CORDEX, 2023). La media de la temperatura máxima observada en la última década ronda los 16,5 °C en Santander y, según esos escenarios, se incrementará en aproximadamente 1 °C según el escenario RCP4.5 (intermedio) a finales de siglo, y en 3 °C aproximadamente según el escenario RCP8.5 (pesimista).

Tales cambios, en el caso las áreas litorales como Santander, tendrán incidencia en la ocurrencia de eventos climáticos adversos, como el aumento del nivel del mar, variaciones de altura e intensidad del oleaje, precipitaciones extremas o aumentos de la temperatura del agua (Gobierno de Cantabria, 2018).

Según el mareógrafo de Santander, en un periodo de 55 años (entre 1945 y 1999) el nivel del mar ha aumentado en 2 mm por año. Idénticas conclusiones se reproducen en el trabajo titulado *Cambio climático en la costa española*, publicado por el Instituto de Hidráulica Ambiental y la Universidad de Cantabria (IH Cantabria - UC, 2014), donde se indican aumentos del nivel medio del mar en la zona atlántico-cántabra de entre 1,5 y 1,9 mm/año entre 1900 y 2010, siguiendo la tendencia media global observada. Considerando este escenario medio tendencial, el nivel del mar en 2040 habría aumentado en 6 cm, lo que supondría retrocesos medios cercanos a los 3 m, incluyendo algunas playas de Santander.

Asimismo, Santander está expuesto a inundaciones costeras o embates de mar en playas, y estuarios y marismas del entorno, que sirven como llanuras de laminación. Las inundaciones en estas zonas se acentúan aún más cuando coincide el pico de avenida con la pleamar. Específicamente, el fuerte oleaje afecta a las zonas costeras norte y este del municipio, provocado por mar de fondo, y el interior de la bahía, debido principalmente al viento sur. Las zonas más sensibles corresponden a la venida García Lago y entorno de 2ª Playa del Sardinero (Ayuntamiento de Santander, 2016).

Por otro lado, en el municipio se producen inundaciones generales por precipitación *in situ* o pluviométricas que causan encharcamiento temporal de la vía pública, infraestructuras y edificaciones, debido fundamentalmente a las acumulaciones ocasionadas por precipitaciones intensas, que pueden producir el colapso de la red de saneamiento, especialmente cuando están asociadas a fuertes mareas, lo que actúa como un factor de intensificación del riesgo (Ayuntamiento de Santander, 2016).

³ Puede consultarse en la siguiente web: https://escenarios.adaptecca.es/#&model=EURO-CORDEX-EQM.average&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=year&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE

⁴ Véase el siguiente enlace: <https://www.euro-cordex.net/>

4.1.1. Talleres participativos con actores locales para la selección de amenazas

En diciembre de 2022 se celebró el primer Taller Técnico sobre Percepción del Riesgo al Cambio Climático en Santander, como paso inicial para la redacción de este plan de adaptación. Se trata del primero de una serie de encuentros participativos desarrollados a lo largo del proyecto, acompañando las diferentes fases de estudio y decisión, enfocados tanto a técnicos como a la ciudadanía.

El objetivo principal del evento fue recopilar información clave por parte de actores relevantes en relación con la percepción de las amenazas relacionadas con el cambio climático en el municipio de Santander. En la sesión participaron 22 personas representantes, entre otros de Protección Civil y Bomberos, encargados de gestionar directamente los riesgos; las Concejalías de Medio Ambiente, Turismo y Salud del Ayuntamiento de Santander; el CIMA de la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria; la AEMET; así como investigadores sobre cambio climático, salud, urbanismo y ordenación del territorio y entidades especializadas en naturaleza, como SEO/BirdLife.



El primer cuestionario de este proceso de consulta consistió en evaluar una lista larga de amenazas hidrometeorológicas (directas y derivadas) plausibles para el municipio, con el objetivo final de priorizar la importancia y frecuencia de cada una de ellas específicamente para Santander.



Figura 4.3. Sesión participativa, taller de percepción del riesgo.

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024.

Valor Final

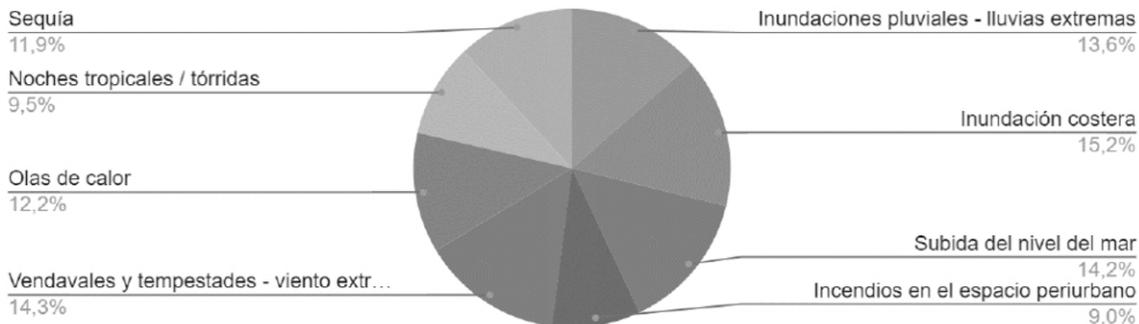


Figura 4.4. Porcentaje puntuación final para amenazas climáticas directas, frecuencia e intensidad.

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024.

La valoración agregada del conjunto de encuestados (un total de 21) indica una relevancia mayor para las **amenazas climáticas costeras**, incluidas las inundaciones costeras y la subida del nivel del mar, junto con eventos de **vendavales acompañados de viento extremo**, seguidos de las inundaciones pluviales derivadas de eventos de precipitación extrema y, en quinto lugar, seguidos de olas de calor, sequías y noches tropicales. En último lugar, se posicionan los incendios periurbanos. Estos niveles de relevancia se mantienen casi invariables para ambos criterios analizados, magnitud y frecuencia de la amenaza.

Respecto a la incidencia de las amenazas climáticas derivadas, la valoración agregada del conjunto de encuestados indica una relevancia mayor para el **aumento de especies invasoras**, junto con un **aumento de vectores de nuevas enfermedades**, con una puntuación final alcanzada del 23 y 22 % respectivamente, seguido de una proliferación de pólenes alérgicos y plagas de insectos, ambas con una puntuación final del 19 % aproximadamente. En último lugar, se posiciona un incremento de la incidencia de polvo sahariano, con casi un 17 % de la puntuación final.

Análisis de registros históricos

Los registros históricos de eventos climáticos peligrosos ocurridos en el municipio de Santander fueron recabados a través del portal de transparencia del **Consortio de Compensación de Seguros (CCS)**⁵, adscrito al Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Las bases de datos fueron suministradas para el periodo 1996 - 2021, e incluye los expedientes

⁵ El Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) es una entidad pública empresarial adscrita al Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, a través de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones. Desempeña múltiples funciones en el ámbito del seguro, entre las que destacan las relacionadas con la cobertura de los riesgos extraordinarios.

de inundaciones, embates de mar y tempestad ciclónica atípica (TCA).

Para el periodo de registro se han cursado un total de 6.573 expedientes de daños, de los cuales casi un 77 % pertenecen a expedientes por TCA. Estos expedientes se corresponden con un total de 133 eventos, de los cuales casi un 70 % corresponden a inundaciones pluviales derivadas de lluvias extremas. Es el tipo de evento más frecuente en el municipio, con una ocurrencia media anual de entre 3 y 4 eventos, mientras que los embates de mar y los TCA presentan frecuencias anuales por debajo de 1.

En términos de **impacto económico**, en el municipio de Santander los expedientes registrados han causado costes por casi 18,3 millones de euros, de los cuales un 47 % se derivan de inundaciones pluviales, un 40 % de eventos de TCA y cerca de un 13 % para embates de mar.

La información suministrada por el CCS permite, además, analizar la ubicación de los eventos registrados por códigos postales y los tipos de activos o bienes que han sido afectados por cada tipo de evento. Atendiendo a su ubicación, cerca del 93 % de los costos acumulados por embates de mar se producen en el código postal (CP) 39005, coincidente con el área costera del este del municipio. El 75 % de los daños económicos por inundaciones se da en los CP 39011, 39001, 39005 y 39002, coincidentes con áreas del sector suroeste y otras densamente pobladas, principalmente del área central de la capital. Finalmente, el 73 % de los daños económicos por TCA se da en los CP 39011, 39001, 39012, con una distribución similar al anterior.

Respecto a los tipos de activos o bienes que han sido afectados por cada tipo de evento: más del 70 % de los costes ocasionados por embates de mar se dan en comercios y almacenes, más del 15 % en viviendas y cerca del 13 % en vehículos y automóviles. Los costes por inundaciones también ocurren principalmente en comercios y almacenes, ocasionando más de 58 % de los costos totales, en segundo lugar, tales costes se dan en obras civiles con casi un 17 %. Los TCA ocasionan los mayores costes en viviendas y comercios y almacenes, con un 35 y 40 % respectivamente, y cerca de un 23 % en edificaciones industriales.

De forma complementaria a la información facilitada por el Consorcio de Compensación de Seguros, a continuación se presentan algunos **registros históricos** o efemérides, definidas como sucesos meteorológicos relevantes por su valor histórico, anecdótico o climatológico (AEMET, 2023).

- 10 septiembre 1581. Intensos aguaceros en Santander, con grandes pérdidas de vidas y bienes.
- 29 diciembre 1777. Un fuerte tornado azota la ciudad y las poblaciones cercanas. Una carta de la época relata que “salió a especie de un volcán de viento tan fuerte que todos pensaban en Santander iban las más de las casas a tierra”.

- 5 febrero 1915. Temporal de viento sur que ocasiona el hundimiento del vapor Alfonso XIII en Santander.
- 15 febrero 1941. Una borrasca con 951,9 mb, la presión más baja registrada en Santander, produce una *surada*, con vientos superiores a 150 km/h que avivaron un fuego hasta provocar el gran incendio de la ciudad que consume los edificios de 37 calles.
- 7 agosto 1943. Máxima de 40,2 °C en Santander.
- 10 marzo 1955. En Cantabria, las nubes eclipsan el sol y se hace completamente de noche tres veces durante la mañana. El fenómeno se observa en Santander y en una zona costera de unos 30 km.
- 27 agosto 1983. El aeropuerto de Santander registra 96,2 mm en una hora.
- 7 junio 1987. Fuerte galerna en la cornisa cantábrica, desde Galicia hasta las costas francesas. Se registran 90 km/h en Santander.
- 16 diciembre 1989. Temporal del Sur con vientos que alcanzan los 147 km/h en el aeropuerto de Santander.
- 27 diciembre 1999. Racha de 172 km/h en Santander y de 167 km/h en su aeropuerto.
- 3 octubre 2006. Racha de 161 km/h en Santander y de 118 km/h en su aeropuerto.
- 14 febrero 2007 Rachas de 130 km/h en Santander.
- 7 marzo 2007. Rachas de viento de 140 km/h en Santander.
- 2014, 2016 y 2018 importantes impactos en la costa por temporales de invierno.

En 2016, el municipio de Santander desarrolla con el Cuerpo de Bomberos un plan de contingencia frente a la diversidad de fenómenos que se han producido en la ciudad a lo largo de su historia. En lo que respecta al ámbito de la respuesta y defensa frente a riesgos, incluyendo los derivados de la climatología adversa, el municipio cuenta con el **Plan de Emergencias Municipal de Santander** (PEMUSAN), en el que se aborda tanto un análisis de riesgos como una batería de medidas de respuesta local frente a la magnitud de los eventos climáticos observados. Dentro de esta clasificación, el PEMUSAN hace una identificación general, primero, y una valoración final de aquellos riesgos que presentan incidencia para el municipio de Santander.

En el cuadro 4.2 se presenta un resumen de los riesgos de ámbito climático que se analizan dentro del PEMUSAN, junto con su valoración correspondiente.

Para cada uno de estos eventos, el PEMUSAN incluye una ficha descriptiva, donde además se identifican los sectores vulnerables, las áreas expuestas, los daños potenciales, los indicadores del riesgo y las medidas preventivas que se adoptan. Las inundaciones pluviométricas tienen el potencial de ocasionar el colapso circulatorio y una diversidad de daños múltiples.

CUADRO 4.2. Análisis de riesgos, PEMUSAN

EVENTO CLIMÁTICO	VALORACIÓN DEL RIESGO ^A	ÍNDICE DE PROBABILIDAD ^B	ÍNDICE DE DAÑOS PREVISIBLES ^C
Inundaciones pluviométricas	IR: 15 Riesgo medio	3	5
Movimientos gravitatorios	IR: 4 Riesgo bajo	2	2
Fenómenos atmosféricos adversos	IR: 12 Riesgo bajo	6	2
Incendios de vegetación	IR: 30 Riesgo medio	6	5

Fuente: CINCC (UC) - FIC, 2024 a partir de PEMUSAN (2016).

- A Índice de riesgo (IR): Alto (A): Mayor o igual a 40. Medio (M): De 15 a 30. Bajo (B): Menor o igual a 12.
- B Índice de probabilidad (IP): 2 Sin constancia registrada. 3 Algún suceso registrado cada diez años. 6 Más de cinco sucesos registrados al año.
- C Índice de daños previsibles (ID): 0 Sin daños. 2 Pequeños daños materiales y/o algunas personas levemente afectadas. 5 Grandes daños materiales o numerosas personas afectadas.

En el caso de los fenómenos meteorológicos adversos, estos eventos tienen potencial para ocasionar desalojos de viviendas, posibles afecciones en la salud de los grupos poblacionales de riesgo, y otras implicaciones sociales y económicas. Concretamente para fenómenos relacionados con el viento, se indican como adversos aquellos de intensidad superior a 80 km/h, o galernas que, a su vez, pueden ser de mar o tierra. Por su parte, los incendios de vegetación tienen el potencial de ocasionar daños a las personas, a bienes y al medioambiente, por destrucción de la flora y fauna en las áreas quemadas.

Priorización de amenazas climáticas en el municipio

La metodología empleada para priorizar y seleccionar las principales amenazas hidrometeorológicas en el municipio está basada en el método de **análisis multicriterio**, cuyo objetivo es determinar el grado de incidencia de cada amenaza según el grado de ocurrencia, incluyendo la frecuencia y magnitud de la amenaza, y al potencial de impacto o daño que ocasiona, incluyendo daños humanos en términos de vidas humanas, heridos o damnificados, daños materiales en viviendas e infraestructura, o daños ocasionados en los sectores económicos y ambiental del **municipio**.

Para cada amenaza se obtiene el valor y orden de relevancia final según su ocurrencia. La formulación empleada cuenta con dos ventajas:

- (i) Implica que la valoración final depende en gran medida de las puntuaciones asignadas en el taller local, debido a que esa fuente de información es local, se desarrolla específicamente bajo el contexto de análisis de amenazas climáticas e integra la visión social e institucional del municipio de forma multidisciplinaria.

- (ii) Permite suavizar las divergencias propias que se derivan del empleo de múltiples fuentes de información con indicadores de la ocurrencia diversos, algunos sometidos además a interpretación bajo criterio experto.

Los resultados del análisis multicriterio indican una ocurrencia de mayor relevancia para las inundaciones costeras, seguidas de **vendavales, subida del nivel del mar e inundaciones pluviales**. Dentro de un segundo gran orden, se ubican las sequías, seguidas de incendios periurbanos y, por último, olas de calor y noches tropicales.

Respecto a las amenazas derivadas, destaca la aparición de **vectores de nuevas enfermedades**, seguido de la aparición de **nuevas especies invasoras** y aumentos de niveles de **pólenes alergénicos**. Cabe mencionar que es posible que determinadas amenazas, principalmente aquellas de aparición lenta, tales como las olas de calor, adquieran una relevancia mayor a futuro, por lo que estos resultados iniciales son combinados con los resultados del análisis climático, lo que permitirá mejorar el nivel de conocimiento sobre amenazas emergentes en Santander.

4.2

ANÁLISIS CLIMÁTICO Y GENERACIÓN DE ESCENARIOS LOCALES

4.2.1. Análisis del clima actual

La ubicación costera del municipio proporciona un clima suave, tanto en el periodo invernal como estival, sin extremos climáticos acusados. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, Santander presenta un característico **clima oceánico de tipo Cfb** (marítimo de costa occidental), con un clima templado de veranos frescos (temperatura media del mes más cálido inferior a 22 °C), con precipitaciones abundantes y bien repartidas durante todo el año. La oscilación térmica anual de las temperaturas medias mensuales es baja ($\Delta 8$ °C).

La pluviometría es abundante en primavera y en otoño especialmente, aunque se detecten reducciones significativas en los últimos años. Las variaciones del porcentaje de humedad pueden ser significativas, si bien predominan los valores elevados. Las temperaturas se mantienen a lo largo de todo el año en valores suaves y son muy pocas las ocasiones en que se producen episodios de frío o calor extremo. Veranos generalmente templados, con temperaturas suaves e inviernos fríos, pero no extremos debido al efecto termorregulador del mar, con temperaturas que muy rara vez descienden por debajo de los 0 °C y con un promedio de un día de nieve al año. En términos generales, las temperaturas medias del municipio se mueven entre los 24,5 °C de máxima en agosto y los 5,8 °C de mínima en febrero. Un fenómeno característico de Santander son los episodios de viento sur, con intensidad notable, superiores a 80 km/h, que provocan altas temperaturas y baja humedad, con especial afcción a la salud de algunos grupos de población.

CUADRO 4.3. Variables climáticas actuales de Santander

PARÁMETROS CLIMÁTICOS SANTANDER (PERIODO DE REFERENCIA: 1991-2020, EXTREMAS: 1957-2016)													
MES	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Temperatura máxima absoluta (°C)	25,1	29,9	31,3	30,6	36,8	37,8	37,2	37,3	37,6	33,5	30,0	25,4	37,8
Temperatura máxima media (°C)	13,7	13,9	15,8	16,9	19,4	21,8	23,7	24,5	22,9	20,6	16,5	14,4	18,7
Temperatura media (°C)	10,0	9,9	11,6	12,9	15,6	18,1	20,1	20,8	18,9	16,5	12,8	10,8	14,8
Temperatura mínima media (°C)	6,3	5,8	7,4	8,7	11,7	14,4	16,6	17,0	14,8	12,3	9,2	7,0	10,9
Temperatura mínima absoluta (°C)	-5,4	-5,2	-3,0	0,6	2,6	5,6	6,0	6,0	2,8	1,4	-3,5	-5,2	-5,4
Precipitación total (mm)	114,4	97,6	95,9	98,7	76,0	62,6	53,7	57,6	90,8	121,1	172,3	128,3	1.169
Días de precipitaciones (≥1 mm)	12,3	11,1	11,1	11,9	10,4	7,6	7,3	7,6	8,9	11,1	13,3	12,1	123,6
Días de nevadas	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9
Horas de sol	85	104	135	149	172	178	187	180	160	129	93	75	1.647
Humedad relativa (%)	72	72	71	72	74	75	75	76	76	75	75	73	74

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Observatorio del Aeropuerto de Parayas (Camargo).

Introducción

La herramienta más sólida para simular el clima son los **modelos climáticos (MC)**, mediante los cuales es posible simular la circulación atmosférica general de forma eficaz. Sin embargo, debido a su resolución (en torno a 100 km), no son capaces de simular fenómenos atmosféricos de menor escala, y que son de gran importancia en la climatología local. Con el objetivo de solventar esta y otras limitaciones de los MC, se utilizan lo que se conoce como **técnicas de regionalización o downscaling**.

En este proyecto se propone utilizar una metodología de regionalización estadística en dos pasos desarrollada por la Fundación para la Investigación del Clima (Ribalaygua *et al.*, 2013), ampliamente probada en multitud de proyectos nacionales e internacionales. Esta metodología ha sido aplicada a las variables temperatura (tanto máxima como mínima) y precipitación.

El método trabaja en **dos pasos sucesivos**:

- El primer paso, denominado **estratificación analógica**, consiste en seleccionar, de un banco de datos de referencia, aquellos "n" días con configuraciones atmosféricas más similares a las del día analizado "X". La medida de similitud utilizada compara el parecido entre las variables predictoras empleadas para caracterizar las situaciones sinópticas atmosféricas; esas variables determinan el forzamiento sinóptico causante de los descensos y ascensos de aire, generadores de nubosidad y precipitación. Se busca, además, aportar información sobre la dirección del viento en superficie, lo que permite estudiar los efectos que la topografía ejerce en esos ascensos de las masas de aire, y por tanto en la distribución espacial de la nubosidad y de la precipitación.
- En el segundo paso se aplican métodos diferentes, en función de la variable que se quiera calcular:
 - Para estimar las temperaturas mínimas y máximas diarias, se realiza, por cada variable, una **regresión lineal múltiple** con selección automática de predictores hacia adelante y hacia atrás.
 - Para el caso de la precipitación se contempla la estima por **simple promediado** de los "k" días análogos más parecidos a "X".

La metodología FICLIMA, representada en la figura siguiente, presenta algunas ventajas con respecto a otras metodologías estadísticas, que se reflejan en el cuadro adjunto:

CUADRO 4.4. Ventajas de la metodología FICLIMA frente a otras metodologías de downscaling estadístico

El problema de la estacionariedad se minimiza gracias al criterio de selección de predictores, basado en consideraciones teóricas, que reflejen las relaciones físicas entre predictores y predictandos, relaciones físicas que no deben cambiar a lo largo del tiempo.

Cuando se utiliza el método de selección de análogos por sí solo, y dado que la simulación final estará basada en los días más análogos, el valor asignado a la variable meteorológica estudiada estará limitado por el valor observado que tenga en esos días análogos, es decir, su margen de variabilidad vendrá dado por la propia variabilidad del pasado (nunca calcularíamos valores superiores o inferiores). Sin embargo, el segundo paso introducido en la metodología FICLIMA nos permite superar esa limitación: las relaciones lineales diarias establecidas para temperatura y la redistribución de la precipitación según la función de distribución permiten simular valores que pueden exceder la limitación de los valores observados iniciales.

Los resultados de verificación son considerablemente mejores que los de la inmensa mayoría de las metodologías, estadísticas y dinámicas, con las que se ha comparado en diversos proyectos nacionales e internacionales. Estos excelentes resultados de verificación se han comprobado en las diferentes zonas del planeta en las que se ha probado, y se justifican por los sólidos fundamentos teóricos en los que se basa FICLIMA.

Fuente: FIC.

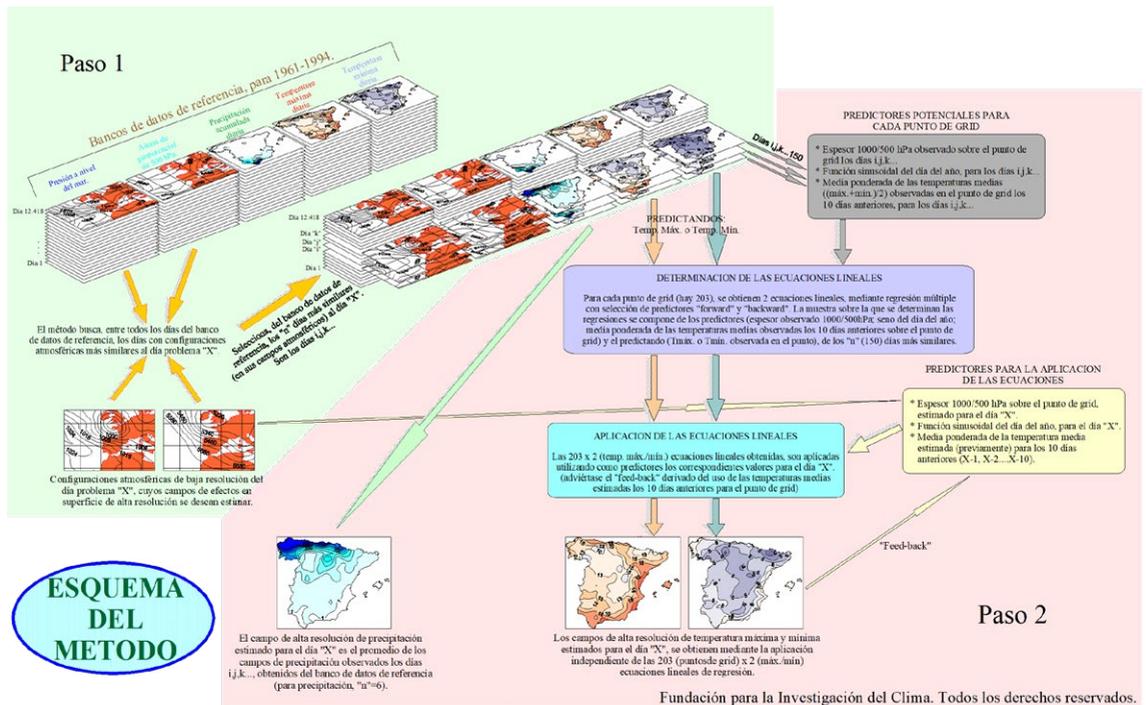


Figura 4.5. Esquema de la metodología FICLIMA.

Fuente: FIC.

Datos y zona de estudio

La ubicación del municipio, al norte de la península ibérica, limítrofe con el mar Cantábrico, implica características climáticas del tipo oceánico templado, con inviernos templados y lluviosos, y veranos frescos y relativamente lluviosos. Para poder llevar a cabo el proceso de regionalización, es necesario disponer de un conjunto de datos, los cuales se resumen en la siguiente figura.

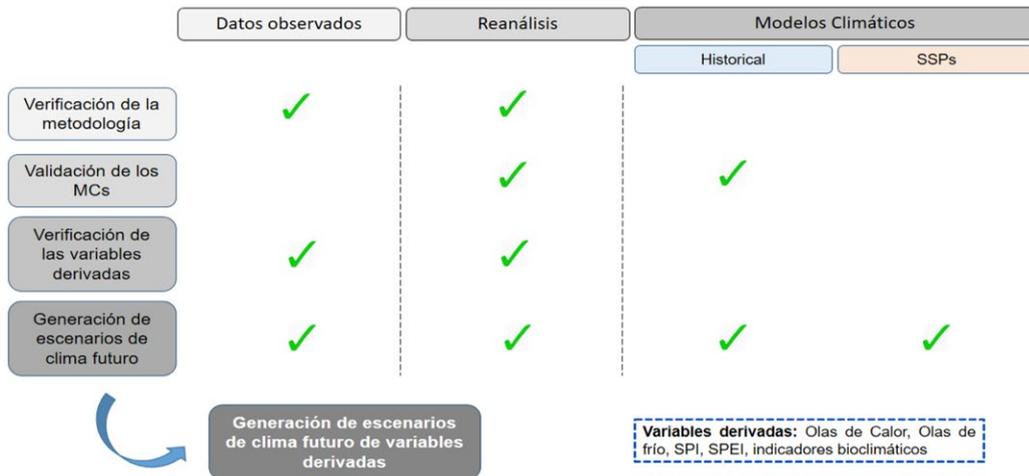


Figura 4.6. Esquema de datos necesarios para el estudio.

Fuente: FIC.

Para el estudio, se dispone de un conjunto de datos observados obtenidos de estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). En el cuadro siguiente se muestra la ubicación de los observatorios que tenían datos de cada una de las variables.

CUADRO 4.5. Conjunto de observatorios climáticos

VARIABLE	NÚMERO DE OBSERVATORIOS
Temperatura	28
Precipitación	18
Viento	8
Humedad relativa	9
Presión	4

Fuente: FIC.

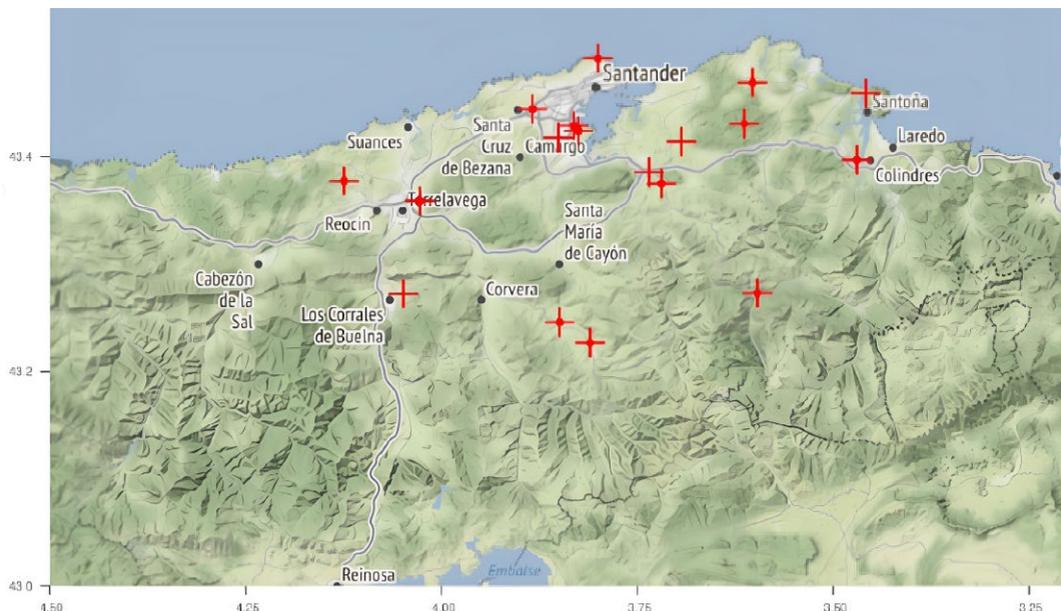


Figura 4.7. Observatorios disponibles de la red AEMET.

Fuente: FIC.

Los datos observados se someten a un estricto control de calidad y homogeneización (Monjo *et al.*, 2013). Se descartan aquellos datos que no superen los estándares de calidad establecidos.

La base de datos del Reanálisis ERA5 y ERA5-Land y los diferentes modelos climáticos completan la generación de escenarios.

Modelos climáticos

En concreto, se ha trabajado con los modelos climáticos pertenecientes a la 6ª fase del CMIP (**CMIP6**) y los escenarios de emisiones definidos en esa fase, los **SSP** (*Shared Socioeconomic Pathways*). Las técnicas estadísticas, debido a su rapidez computacional, permiten trabajar con un número elevado de modelos climáticos (n) y SSP (m), por lo que se obtendrá un conjunto de $(n \times m)$ proyecciones climáticas. Los modelos climáticos se corren de forma continua desde el pasado hacia el futuro, una vez que se simula el periodo de control, y la ejecución se separa en tantas ejecuciones como SSP se consideren. De cada modelo climático se dispone, por tanto, de una simulación de control denominada "Historical" para el periodo 1951-2014 (si bien el periodo de referencia empelado fue 1985-2014) y de 4 SSP para el periodo 2016-2100 (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5).

Se han utilizado 10 modelos climáticos de resolución diaria, recogidos dentro del CMIP6. A lo largo de las distintas fases por las que ha pasado este proyecto, se han introducido mejoras en la calidad de los modelos climáticos hasta llegar a los actuales **Earth System Models** (ESM) (Benestad, 2010). Asimismo, en cada una de las fases se han definido nuevos escenarios de emisiones, ajustándose a las nuevas necesidades de adaptación y mitigación frente al cambio climático. CMIP6 cuenta con un conjunto común de escenarios futuros que comprenden el uso del suelo y las emisiones, tal y como se requiere para los futuros SSP (Eyring *et al.*, 2016).

CUADRO 4.6. *Análisis de riesgos, PEMUSAN*

MODELOS CMIP6	RESOLUCIÓN	AGENCIA RESPONSABLE	REFERENCIAS
ACCESS-CM2	1,258° x 1,8758°	Australian Community Climate and Earth System Simulator (ACCESS), Australia	Bi et al. (2020)
BCC-CSM2-MR	1,125° x 1,121°	Beijing Climate Center (BCC), China Meteorological Administration, China	Wu et al. (2019)
CanESM5	2,812° x 2,790°	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CC-CMA), Canadá	Swart et al. (2019)
CESM2-WACCM	0,95° x 1,25°	National Center for Atmospheric Research (NCAR), EE. UU.	Gettelman et al. (2019)
CNRM-ESM2-1	1,406° x 1,401°	CNRM (Centre National de Recherches Meteorologiques), Meteo-France, Francia	Seferian (2019)
EC-EARTH3	0,703° x 0,702°	EC-EARTH Consortium	EC-Earth Consortium (2019)
MPI-ESM1-2-HR	0,938° x 0,935°	Max-Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Germany	Gettelman et al. (2017)
MR-ESM2-0	1,125° x 1,121°	Meteorological Research Institute (MRI), Japan	Yukimoto et al. (2019)
NorESM2-MM	1,250° x 0,942°	Norwegian Climate Centre (NCC), Norway	Bentsen, M. et al. (2019)
UKESM1-0-LL	1,875° x 1,250°	UK Met Office, Hadley Centre, United Kingdom	Good et al. (2019)

Fuente: *Elaboración propia.*

Nota. *Los modelos fueron suministrados por los archivos del Programa de Diagnóstico e Intercomparación de Modelos Climáticos (PCMDI).*

Resultados de las proyecciones climáticas

Las proyecciones climáticas se han generado para cada uno de los observatorios disponibles por cada variable. A continuación, se recogen los resultados obtenidos en la generación de los **escenarios de clima futuro** de las distintas variables en función de los resultados mostrados por las medias de cada SSP (líneas gruesas). Se toma de referencia el observatorio "1109X" del Aeropuerto de Santander:

- Se esperan **aumentos progresivos de las temperaturas**, tanto máximas como mínimas, a lo largo de todo el siglo XXI. En el caso de las **temperaturas máximas** se esperan aumentos de entre 1,38 y 2 °C a mediados de siglo, en función del escenario de emisiones considerado y entre 1,41 y 3,83 °C a final de siglo. Estos incrementos supondrían que la temperatura media máxima pasaría de ser de en torno a 18,94 °C a situarse entre los 20,32 y 21,02 °C a mediados de siglo, y entre 20,35 y 22,77 °C a final de siglo.
- En el caso de las **temperaturas mínimas**, los aumentos esperados a mediados de siglo van desde 1,65 °C en el caso más favorable hasta 2,41 °C en el caso menos favorable, lo que supondría que la temperatura mínima media alcance valores de entre 11,94 °C y 12,70 °C. Para finales de siglo, se espera que la temperatura mínima media ascienda entre 1,67 y 4,63 °C, de manera que los valores de temperatura mínima media se situarían entre 11,96 °C y 14,92 °C.
- No se esperan cambios significativos en cuanto a la **precipitación** acumulada anualmente. Todos los escenarios de emisiones muestran un comportamiento similar en cuanto a la evolución futura de las precipitaciones, de manera que estas se situarán en torno a los 1200-1300 mm/año. Sí se espera que la distribución pluviométrica sufra alteraciones con respecto a la distribución actual. De manera que las precipitaciones podrían ser más intensas y concentradas en el tiempo que distribuidas de forma homogénea a lo largo de periodos más extensos.
- La **humedad** se espera que se comporte de manera muy similar a la situación climática actual de la región, sin cambios significativos, especialmente a mediados de siglo. En función del modelo y del escenario considerado, a finales de siglo, la humedad máxima puede oscilar entre un -2,5 y 1 %, mientras que la humedad mínima podrá variar entre un -5 y 2,5 %.
- El comportamiento esperado de la **presión** es muy similar al observado actualmente, con oscilaciones de ± 1 hPa a finales de siglo.
- Respecto al **viento** medio, se observan descensos muy leves que van entre 0,25 m/s (0,9 km/h) y 0,5 m/s (1,8 km/h). Las variaciones esperadas en la racha máxima, tanto media como máxima, se esperan muy similares a aquellos esperados en el viento medio. En el caso de las **rachas máximas**, estas pasarán de ser de una intensidad máxima de unos 93-94 km/h a 88-92 km/h a finales de siglo.

Escenarios de clima futuro de temperatura (máxima y mínima)

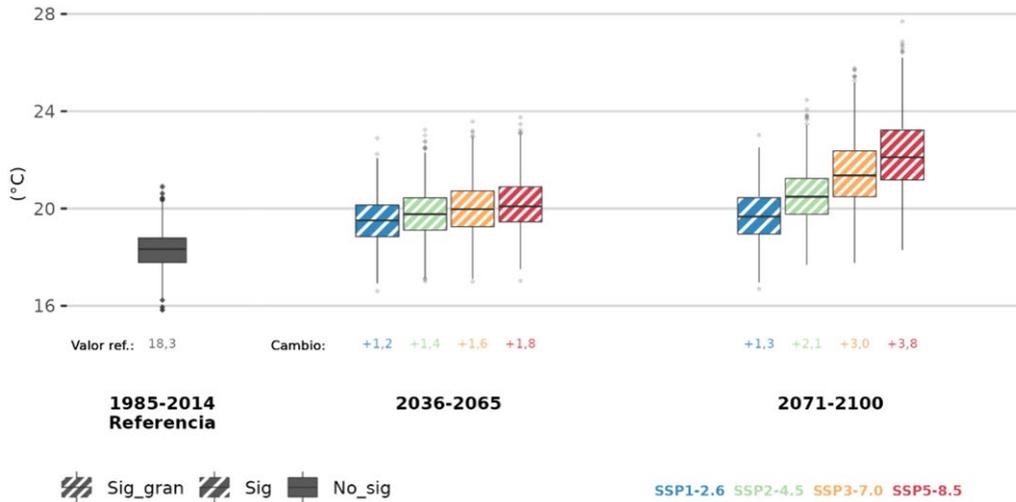


Figura 4.8. Incrementos esperados de temperatura máxima para el siglo XXI.

Nota. Representados como medias móviles de 30 años, según los SSP representados con respecto al promedio del periodo 1976 – 2015 (tomado como referencia). Simulaciones de todos los modelos sobre el observatorio “1109X”. Las líneas muestran la mediana de todos los valores para cada SSP; las sombras cubren desde el percentil 10 hasta el 90.

Fuente: FIC.

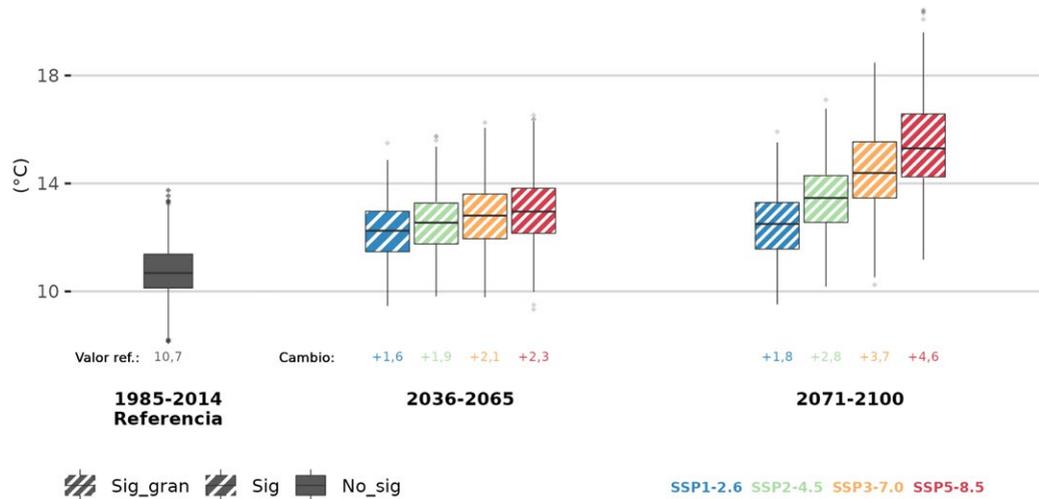


Figura 4.9. Incrementos esperados de temperatura mínima para el siglo XXI.

Nota. Representados como medias móviles de 30 años, según los SSP representados con respecto al promedio del periodo 1976 – 2015 (tomado como referencia). Simulaciones de todos los modelos sobre el observatorio “1109X”. Las líneas muestran la mediana de todos los valores para cada SSP; las sombras cubren desde el percentil 10 hasta el 90.

Fuente: FIC.

Escenarios de clima futuro de precipitación

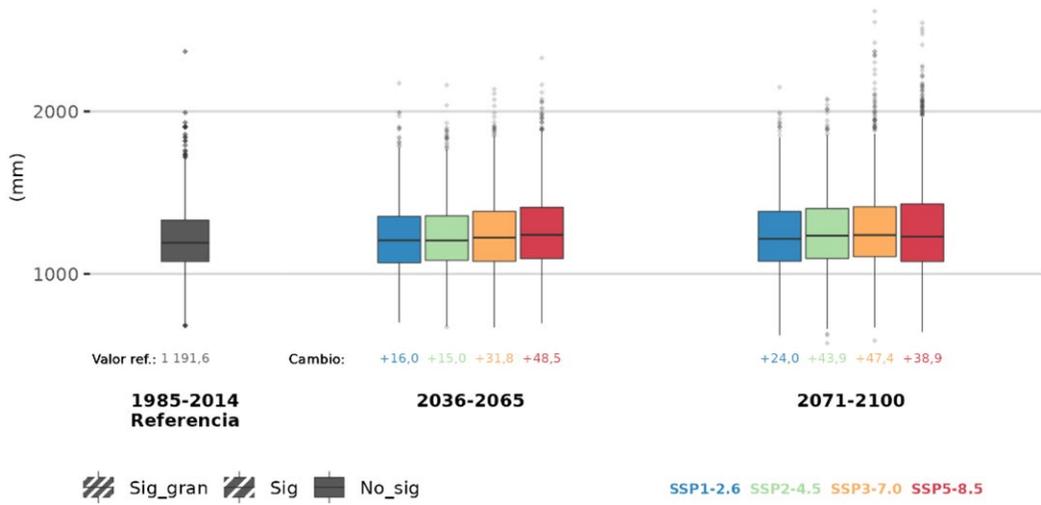


Figura 4.10. Valores absolutos esperados de precipitación (mm) para el siglo XXI.

Nota. Representados como medias móviles de 30 años, según los SSP representados con respecto al promedio del periodo 1976 – 2015 (tomado como referencia). Simulaciones de todos los modelos sobre el observatorio “1109X”. Las líneas muestran la mediana de todos los valores para cada SSP; las sombras cubren desde el percentil 10 hasta el 90.

Fuente: FIC.

Escenarios de clima futuro de humedad relativa

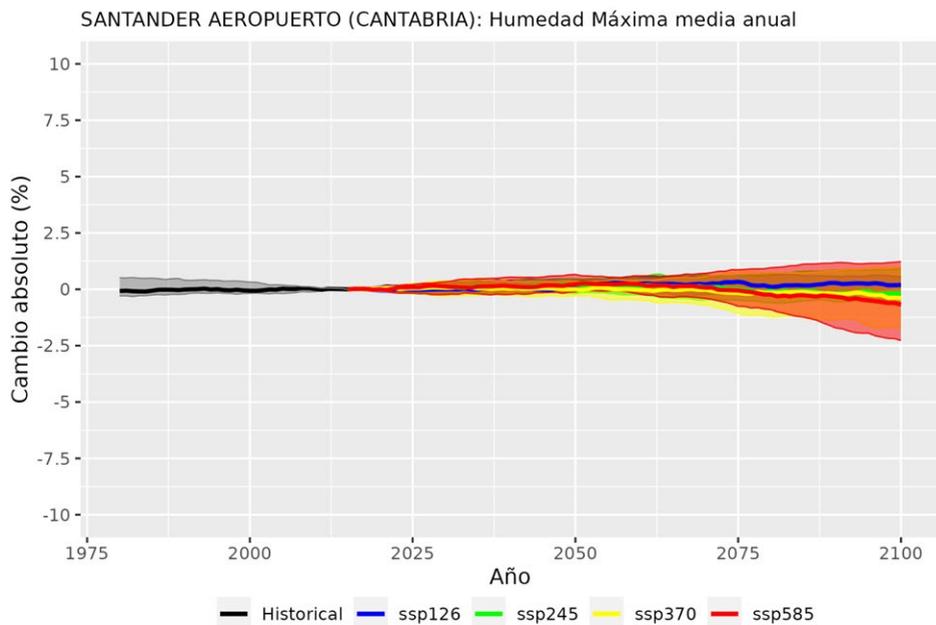


Figura 4.11. Incrementos esperados de humedad máxima para el siglo XXI.

Fuente: FIC.

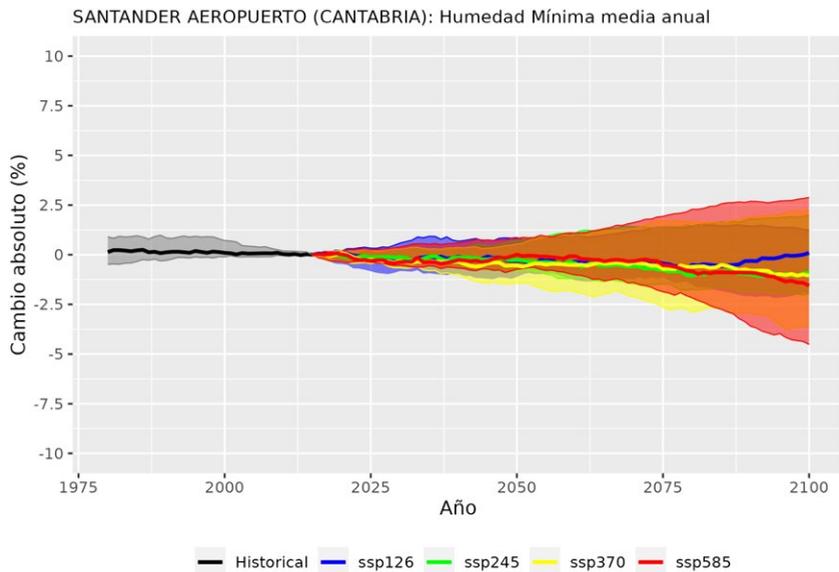


Figura 4.12. Incrementos esperados de humedad mínima para el siglo XXI.

Nota. Representados como medias móviles de 30 años, según los SSP representados con respecto al promedio del periodo 1976 – 2015 (tomado como referencia). Simulaciones de todos los modelos sobre el observatorio “1109X”. Las líneas muestran la mediana de todos los valores para cada SSP; las sombras cubren desde el percentil 10 hasta el 90.

Fuente: FIC.

Escenarios de clima futuro de presión

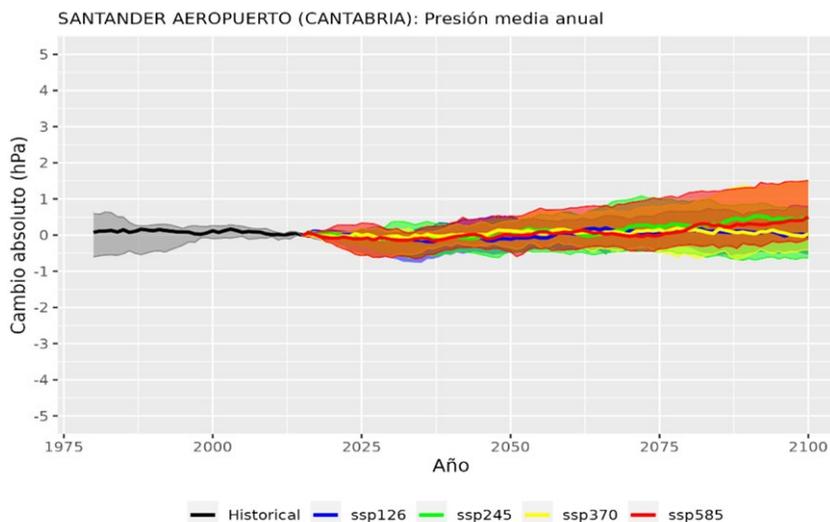


Figura 4.13. Incrementos esperados de presión para el siglo XXI.

Nota. Representados como medias móviles de 30 años, según los SSP representados con respecto al promedio del periodo 1976 – 2015 (tomado como referencia). Simulaciones de todos los modelos sobre el observatorio “1109X”. Las líneas muestran la mediana de todos los valores para cada SSP; las sombras cubren desde el percentil 10 hasta el 90.

Fuente: FIC.

Escenarios de clima futuro de viento medio

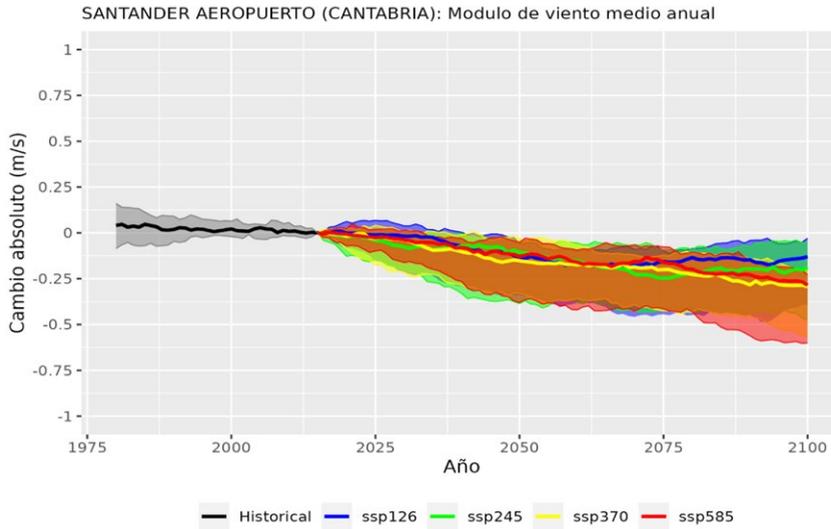


Figura 4.14. Incrementos esperados de viento medio para el siglo XXI.

Nota. Representados como medias móviles de 30 años, según los SSP representados con respecto al promedio del periodo 1976 – 2015 (tomado como referencia). Simulaciones de todos los modelos sobre el observatorio “1109X”. Las líneas muestran la mediana de todos los valores para cada SSP; las sombras cubren desde el percentil 10 hasta el 90.

Fuente: FIC.

Escenarios de clima futuro de racha máxima de viento

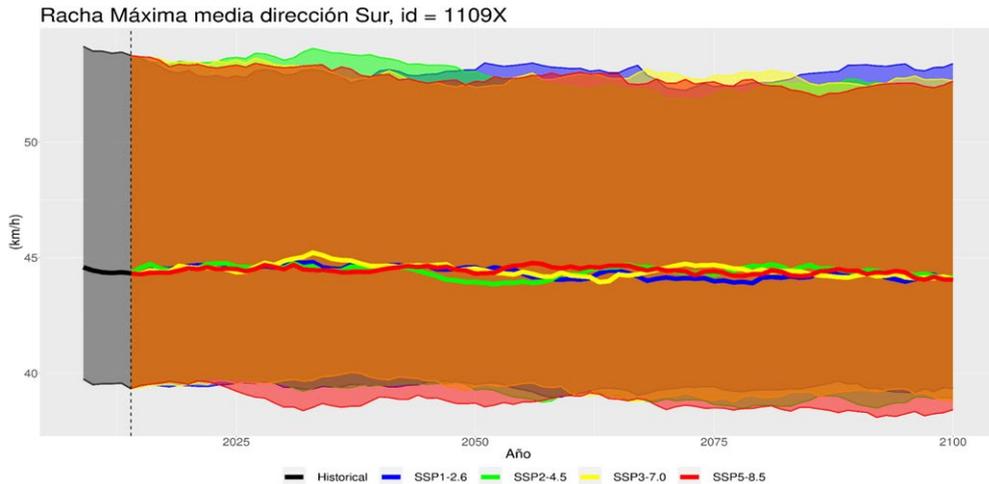


Figura 4.15. Valores esperados de racha máxima media de viento de componente sur para el siglo XXI.

Nota. Representados como medias móviles de 30 años, según los SSP representados con respecto al promedio del periodo 1976 – 2015 (tomado como referencia). Simulaciones de todos los modelos sobre el observatorio “1109X”. Las líneas muestran la mediana de todos los valores para cada SSP; las sombras cubren desde el percentil 10 hasta el 90.

Fuente: FIC.

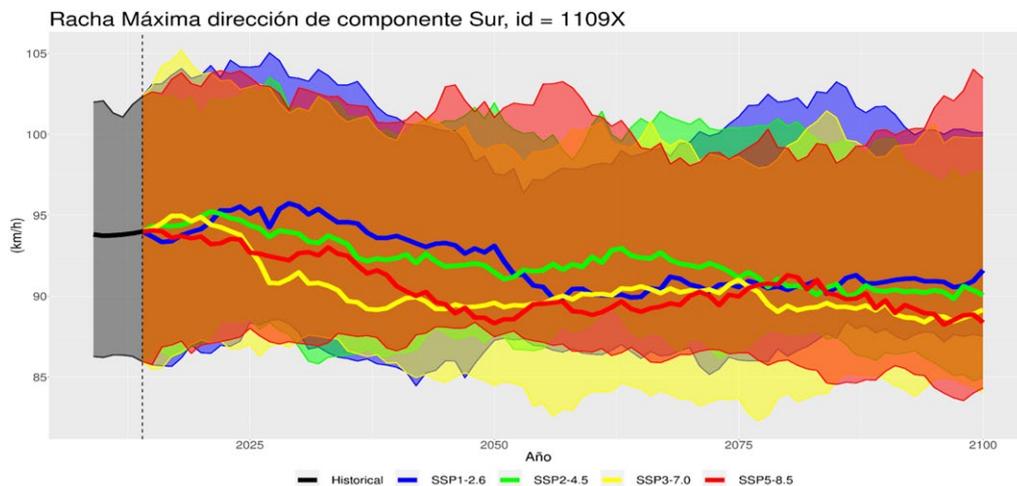


Figura 4.16. Valores esperados de racha máxima de viento de componente sur para el siglo XXI.

Nota. Representados como medias móviles de 30 años, según los SSP representados con respecto al promedio del periodo 1976 – 2015 (tomado como referencia). Simulaciones de todos los modelos sobre el observatorio “1109X”. Las líneas muestran la mediana de todos los valores para cada SSP; las sombras cubren desde el percentil 10 hasta el 90.

Fuente: FIC.

4.2.3. Resumen escenarios climáticos

De los datos climáticos obtenidos a partir del periodo histórico y proyectado a 2100, podemos concluir los siguientes valores para el conjunto de los escenarios climáticos:

- **Temperatura máxima media:** a partir de un valor histórico entre 16-19 °C se proyecta para 2100 una temperatura máxima entre 21-23 °C.
- **Temperatura mínima media:** a partir de un valor histórico entre 8-11 °C se proyecta para 2100 una temperatura mínima entre 13-15 °C.
- **Precipitación:** se mantienen unos promedios similares a los actuales, con leves variaciones. La distribución anual sí puede verse alterada, concentrándose el total de las precipitaciones en periodos más cortos.
- **Olas de calor:** a partir de un valor histórico entre 3-4 días se proyecta para 2100 un aumento hasta los 9-10 días de duración de las olas de calor.
- **Temperatura-ola de calor (Intensidad):** a partir de un valor histórico entre 26-29 °C se proyecta para 2100 una temperatura de 29-32 °C, lo que implica un aumento de la intensidad total.
- **Noches tórridas:** a partir de un valor histórico entre 0-1 día/año se proyecta para 2100 un aumento notable hasta los 6-9 días/año.

En resumen, podemos afirmar que el contexto futuro del clima en Santander seguirá el siguiente patrón:

- Aumentos de temperatura progresivos a lo largo del siglo XXI, 1,3-3,8 °C en 2100.
- Leves variaciones en el régimen pluviométrico, pero de mayor torrenciabilidad.
- Aumentos en el número de días de calor, con el consiguiente aumento en la frecuencia de episodios de olas de calor, así como en su duración e intensidad máxima.
- Aumentos significativos en el número de noches tropicales, ecuatoriales y tórridas de forma progresiva a lo largo de todo el siglo XXI.

4.3

ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DE AMENAZAS CLIMÁTICAS

El objetivo de esta fase es analizar las amenazas climáticas seleccionadas para el municipio de Santander, tanto para el periodo histórico o actual como para los periodos proyectados a futuro.

Las amenazas seleccionadas a partir del proceso participativo y del análisis de los eventos históricos son las siguientes:

- Inundación pluvial por precipitaciones extremas
- Tempestad ciclónica atípica (TCA)
- Inundación fluvial
- Islas de calor urbano
- Olas de calor
- Episodios de noches cálidas
- Sequía meteorológica
- Viento extremo, galernas y viento sur
- Inundación costera

La **ocurrencia** (distribución, intensidad, duración y frecuencia) de estos eventos se modeliza a través de las principales variables climáticas analizadas (temperatura, precipitación, viento y humedad) a partir de los escenarios regionalizados de cambio climático para Santander, basados en las salidas CMIP del Sexto Informe del IPCC. Este proceso de modelado se aplica específicamente a las amenazas climáticas por **sequías, olas de calor**, eventos de **viento extremo** e **inundaciones pluviales**, entre otras. Para las amenazas de inundación costera y subida del nivel del mar, la evaluación parte de los recientes resultados obtenidos por el proyecto **PIMA-Adapta**⁶ Costas, dentro del marco de la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático.

⁶ PIMA Adapta Costas (2020). Conocimiento y acción frente a los riesgos derivados del cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

EVENTOS DE PLUVIOMETRÍA EXTREMA

En este bloque se analizan los viales del municipio con **probabilidad de encharcamiento**, debido a la ocurrencia de eventos de precipitación extrema, definidos como episodios en los que la precipitación acumulada en una hora o menos es de intensidad igual o mayor a 15 mm/h, o cuya precipitación acumulada en 12 horas es de intensidad igual o superior a 40 mm/h (Ayuntamiento de Santander, 2016). Es importante considerar que en este procedimiento no se aborda un modelado detallado de la amenaza de inundación en viales, que debería considerar, entre otros, tanto el sistema de drenaje municipal a escala de detalle como la escorrentía y acumulación del flujo generada por eventos de precipitación extrema considerando condiciones actuales y futuras, para diferentes periodos de retorno. Sin embargo, con la consideración de los escenarios climáticos CMIP6 se podrá delimitar una cartografía válida que permita calcular la exposición potencial a esta amenaza.

La metodología propuesta para el análisis de viales con alta probabilidad de encharcamiento en el municipio de Santander recoge los siguientes pasos:

- (i) Análisis de las condiciones de subsidencia topográfica en el perfil longitudinal de las carreteras del municipio (modelado **Blue Spots**⁷).
- (ii) Análisis de las áreas de encharcamiento documentadas, obtenidas a través de la cartografía aportada por el Ayuntamiento de Santander (2016), y por los registros de intervenciones efectuadas desde 2018 hasta 2022 por eventos de pluviometría extrema por parte del Cuerpo de Bomberos del municipio.
- (iii) Validación y delimitación final de áreas de **alta probabilidad** de encharcamiento vial en el municipio, a partir de los resultados del bloque 1 y 2.
- (iv) Evaluación de la tendencia de eventos de pluviometría extrema en el municipio en condiciones de cambio climático en el corto, medio y largo plazo, según las salidas de los escenarios locales derivados de los modelos CMIP6.

En el último paso de este procedimiento se ofrece una evaluación rigurosa de la tendencia proyectada en la ocurrencia de eventos de pluviometría extrema en el municipio de Santander, en términos de intensidad, duración y frecuencia, y para cada uno de los escenarios de cambio climático a escala local, según las recientes salidas del Sexto Informe de Evaluación del IPCC.

El índice de amenaza por eventos de pluviometría en Santander se obtiene por normalización del valor medio de la frecuencia obtenida para los distintos escenarios climáticos para cada horizonte temporal. Como se puede observar en el cuadro, el índice normalizado presenta valores por encima de 0,6 para todos los periodos, lo que implica que la frecuencia media de los eventos de pluviometría extrema no llega a duplicarse para las proyecciones climáticas a largo plazo respecto a su frecuencia histórica (cuadro 4.7). La

⁷ <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/tools/the-blue-spot-model-a-key-tool-in-assessing-flood-risks-for-the-climate-adaptation-of-national-roads-and-highway-systems>

frecuencia media anual de eventos de pluviometría extrema para el conjunto de escenarios climáticos es de casi 3 eventos/año, con resultados medios del índice de amenaza para las secciones censales de Santander en torno a 0,63 en el periodo histórico. Para los periodos proyectados, se esperan incrementos absolutos en torno a 0,5 eventos/año de media, llegando a una frecuencia de 4,5 eventos/año para el periodo proyectado a largo plazo.

Como resultado, obtenemos los valores medios de eventos de pluviometría extrema y el siguiente índice de amenaza normalizada para el municipio de Santander (figura 4.17).

CUADRO 4.7. Frecuencia media anual e índices de amenaza media

	FRECUENCIA MEDIA DE EVENTOS	ÍNDICE DE AMENAZA MEDIO
PERIÓDO HISTÓRICO (1985-2014)	2,97	0,63
CORTO PLAZO (2016-2040)	3,58	0,77
MEDIO PLAZO (2041-2070)	4,05	0,87
LARGO PLAZO (2071-2100)	4,49	0,96

Fuente: Fuente: CINCC (UC) - FIC 2024.

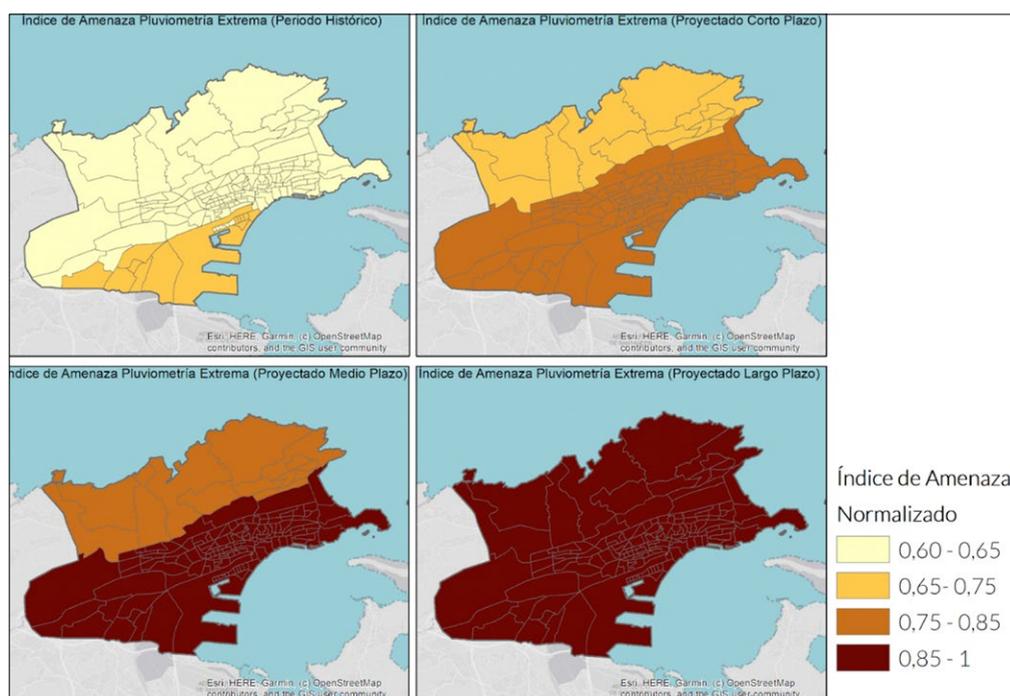


Figura 4.17. Índice de amenaza normalizada por eventos de pluviometría extrema.

Nota. Obtenido a través de la media de la frecuencia para los distintos escenarios climáticos y para cada horizonte temporal por sección censal; para periodo histórico (arriba a la izquierda), proyectado a corto (arriba a la derecha), medio (abajo a la izquierda) y largo plazo (abajo a la derecha).

Fuente: CINCC (UC) - FIC, 2024.

TEMPESTAD CICLÓNICA ATÍPICA (TCA)

La tempestad ciclónica atípica o TCA es un evento atmosférico extremadamente adverso, incluyendo tornados y vientos extraordinarios. Para el presente estudio, los fenómenos de TCA en el municipio de Santander han sido analizados como episodios que combinan vientos extremos, por encima de 84 km/h, y precipitación intensa, de más de 40 mm acumulados en un día. Para tales episodios, se han analizado dos índices de frecuencia y duración:

- Frecuencia, analizada como número medio de días con TCA al año.
- Duración media del evento, analizada como la media de los días consecutivos año con TCA.

La **medición de la ocurrencia** de los TCA se analiza para el periodo histórico (1985-2014) y proyectado a futuro, para los periodos temporales de corto (2016-2040), medio (2041-2070) y largo plazo (2071-2100). Las proyecciones a futuro se obtienen a partir de la media de las salidas de 10 modelos climáticos, para un total de 4 escenarios de emisiones, según se establecen en el Sexto Informe del IPCC (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5). La representación de tales fenómenos por sección censal se efectúa a partir de la media del número de noches al año por cada horizonte temporal, como medida representativa.

A continuación, se presentan los **resultados** para cada uno de los índices de ocurrencia de fenómenos TCA en el municipio de Santander.

CUADRO 4.8. *Número medio de TCA al año en Santander*

MEDIA HISTÓRICA: 0,141575	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Corto plazo (2016-2040)	0,124126	0,139725	0,152720	0,140067
Medio plazo (2041-2070)	0,134185	0,178395	0,130459	0,125216
Largo plazo (2071-2100)	0,109309	0,140246	0,167540	0,126663

Fuente: CINCC (UC) - FIC, 2024 a partir de escenarios climáticos locales basados en las salidas del Sexto Informe del IPCC.

Respecto a la **frecuencia temporal media**, los episodios de TCA en Santander ocurren de media una vez cada 7 años en el periodo histórico, y se espera que tengan una frecuencia moderadamente estable a futuro, que pueda ocurrir un evento cada 5 a 9 años, según el escenario considerado. En el caso de la duración media de los TCA, no se incluye - de los valores para cada escenario, puesto que tanto en el periodo histórico como en todos los escenarios proyectados se mantiene en 1, es decir, son sucesos que se presentan con carácter puntual, o en días concretos no consecutivos.

INUNDACIÓN FLUVIAL

La amenaza de inundación fluvial se considera a partir de los resultados de inundabilidad generados dentro del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables para periodos de retorno de 10, 100 y 500 años (MITECO, 2020). Las inundaciones fluviales presentan una relativa baja incidencia dentro del término municipal de Santander, únicamente aparecen zonas inundables al oeste del municipio, coincidiendo con áreas aledañas al arroyo Otero, de una longitud aproximada de unos 1,3 km, pertenecientes al sistema Pas-Miera de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental.

Específicamente el área de inundación fluvial cubre una extensión total de 8,22 ha de superficie dentro del municipio, de la cuales 5,72 ha se corresponden con áreas de periodo de retorno de 10 años (alta probabilidad), 1 ha con áreas con un periodo de retorno de 100 años (media probabilidad), y las restantes 1,50 ha con áreas con un periodo de retorno de 500 años (baja probabilidad). El área de inundación fluvial afectaría a una única sección censal del municipio, donde el porcentaje de superficie amenazada sería de 0,027 %.

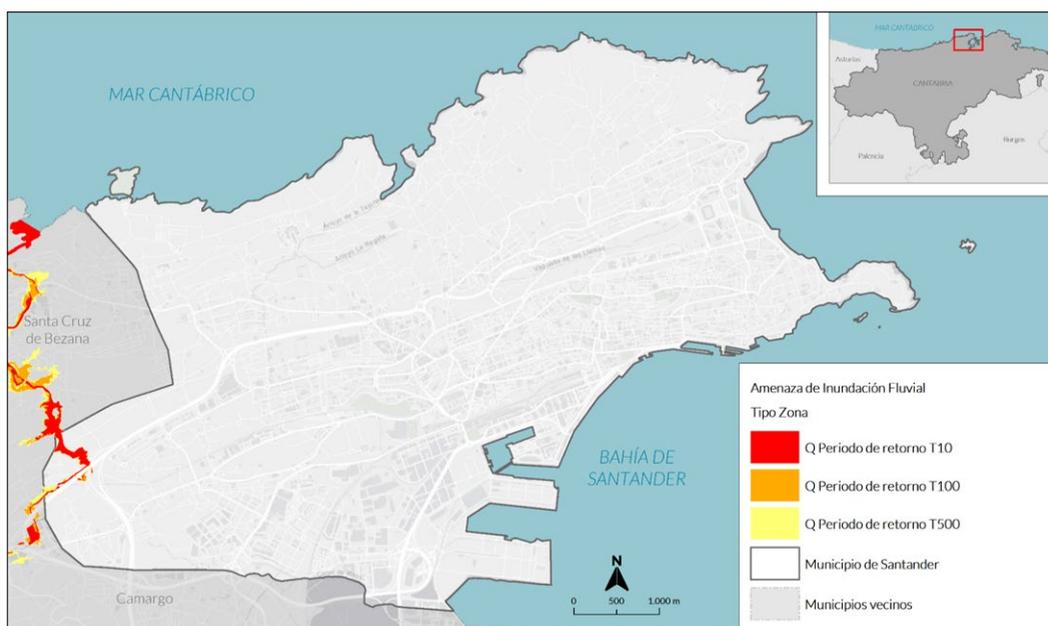


Figura 4.18. Amenaza por inundación fluvial, periodos de retorno 10, 100 y 500 años.

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024 a partir de datos del SNCZI (MITECO, 2020).

ISLAS DE CALOR URBANAS

Las islas de calor son un fenómeno que se produce en aquellas zonas urbanas que experimentan temperaturas más altas que las zonas circundantes debido a la actividad humana. El efecto isla de calor se caracteriza por provocar una temperatura mayor en las ciudades que en sus alrededores y es más acusado por las noches.

Las **causas principales** son la acumulación de calor en estructuras, como edificios, aceras o asfaltos, que absorben más calor y lo liberan más lentamente. A esto se suma el calor y la contaminación atmosférica generada por el tráfico y la industria, que atrapan la radiación solar evitando que se disipe el calor, lo que a su vez incrementa la temperatura del aire.

Todo ello agrava las consecuencias del cambio climático en las ciudades y disminuye la calidad de vida de sus habitantes. Específicamente, las altas temperaturas pueden afectar a la salud de la ciudadanía de las ciudades, provocando malestar general, problemas respiratorios, insolaciones, deshidratación, cansancio e, incluso, aumentar la mortalidad por golpes de calor. Además, tienen impactos directos a nivel energético y económico, principalmente en verano. Las islas de calor generan un incremento de la demanda de energía para los aires acondicionados, lo que a su vez aumenta el precio de la electricidad.

La detección de las **islas de calor urbanas** (ICU) puede abordarse desde tomas de datos de temperatura ambiente con sensores remotos como estaciones meteorológicas o herramientas que permiten registros de temperatura de manera terrestre, hasta la obtención de datos mediante imágenes satelitales. En ese sentido, el uso de las imágenes de sensores remotos permite calcular la **temperatura superficial terrestre** o LST por sus siglas en inglés (*Land Surface Temperature*). Los datos de LST recopilados del satélite se han comparado y correlacionado con los datos de temperatura ambiente seleccionados para estaciones meteorológicas de superficie próximas. Como resultado de esta correlación, ha sido posible aplicar la ecuación de conversión de los valores LST a temperatura ambiente por píxel, recortado al área municipal de Santander. Finalmente, se ha delimitado espacialmente la geometría de las islas en zonas de alta urbanización, aplicando para ello el criterio de selección de áreas con una temperatura ambiente 2 °C por encima de la temperatura ambiente periférica. Finalmente, se ha efectuado un procedimiento de validación a través de datos de temperatura tomados en Santander por el proyecto Smart City, y a través de un proceso de validación aplicando criterio experto.

Como resultado, se ha obtenido la LST a través de imágenes Landsat 8 para el día 1 de julio como escenario de ejemplo, para abordar posteriormente la delimitación de potenciales islas de calor (figura 4.19).

Finalmente, se realiza un proceso de **validación** de las áreas potenciales delimitadas en el paso anterior, que incluye la validación a través de los datos de temperatura tomados en Santander por el proyecto Smart City desde 2012 hasta 2023 y una validación basada en criterio experto. Este procedimiento ha consistido en el testeo de los resultados de la delimitación potencial de las islas de calor por parte del equipo de personas expertas

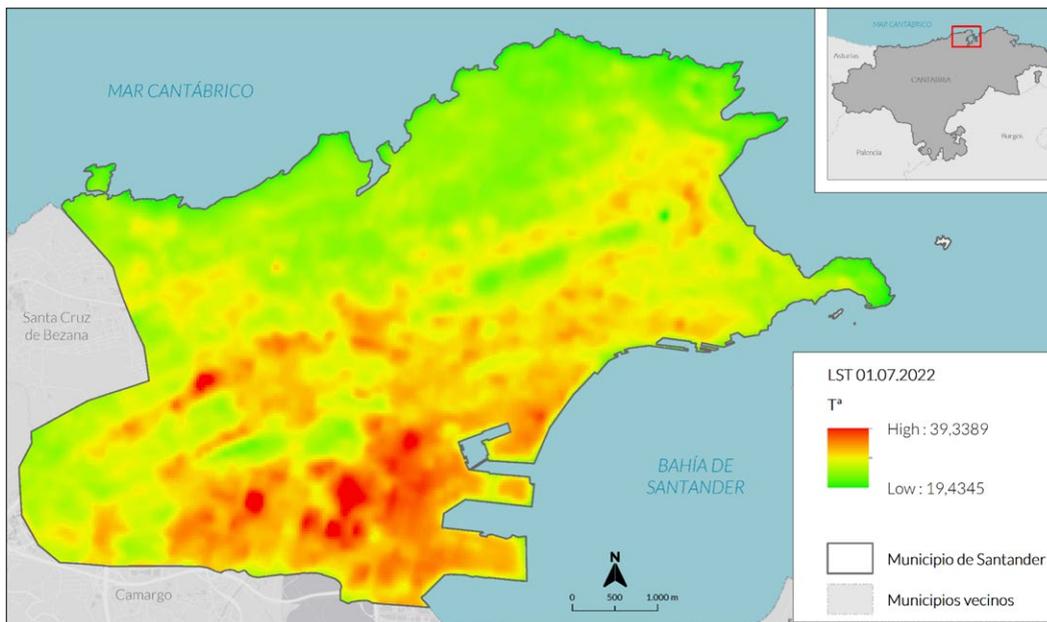


Figura 4.19. Resultados del cálculo de la temperatura de superficie terrestre.

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024 a partir de Imagen Landsat 8 (01/07/2022)

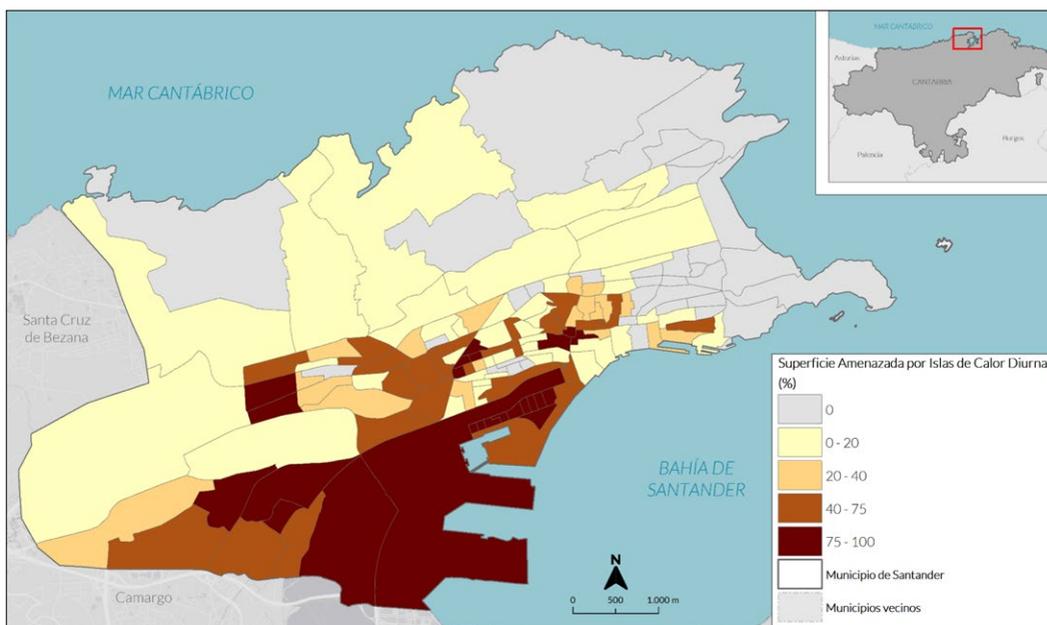


Figura 4.20. Porcentaje de superficie amenazada por potenciales islas de calor diurnas y secciones censales.

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024.

locales con conocimiento amplio de la materia. Teniendo en cuenta los dos aspectos y consideraciones anteriores, la delimitación de la ICU propuesta para Santander debe considerarse como una primera aproximación analítica, que debe, en cualquier caso, complementarse con datos de temperatura ambiente en ciudad con cobertura y distribución adecuadas en futuras iniciativas.

La amenaza por episodios de ICU en Santander se representa a continuación mediante el porcentaje de superficie amenazada por fenómenos de ICU diurnas por sección censal. Las áreas con mayores porcentajes de superficie amenazada por ICU, por encima del 75 % de su superficie, se concentran en el sur, suroeste y centro del municipio. Las secciones costeras del este, suroeste y este, por el contrario, presentan valores nulos o muy bajos de superficie amenazada (figura 4.20).

OLAS DE CALOR

Las olas de calor han sido definidas como episodios de al menos tres días consecutivos con máximas por encima del percentil 95 de la serie histórica de temperaturas máximas diarias para los meses comprendidos entre abril y septiembre.

En este marco de trabajo, se han analizado los siguientes índices de amenaza por ola de calor:

- Número de olas de calor al año
- Duración media de la ola de calor
- Número de días de ola de calor al año
- Intensidad media y máxima de la ola de calor

Con el objeto de no extender la información relacionada con este tipo de eventos, mostramos los índices más característicos que muestran la dinámica futura del fenómeno (número de olas de calor y duración media). Según la serie histórica observada para el periodo 1985-2014, en el municipio de Santander el número medio de olas de calor al año es de aproximadamente 1,2. Los escenarios proyectados a corto plazo pronostican un **incremento notable en el número medio de olas de calor** al año, pasando a valores de entre 2 y 2,5 olas de calor al año para el escenario más optimista, SSP1-2.6, y pesimista, SSP5-8.5, respectivamente, es decir, se llega a duplicar la ocurrencia de estos episodios en los próximos años. En el medio plazo, el número de olas de calor al año presenta valores en torno a 3, llegando a 4 para el escenario SSP5-8.5. Esta tendencia se mantiene para finales de siglo, llega a 6 olas de calor anuales para el escenario SSP3-7.0 y supera 7 olas de calor anuales para el escenario más pesimista, SSP5-8.5 (cuadro 4.9).

La **duración media** de los episodios de ola de calor en Santander, según la media de los modelos climáticos para el periodo 1985-2014, es de aproximadamente 4,5 días. Los escenarios proyectados indican igualmente una tendencia creciente en la duración media de tales

CUADRO 4.9. Número medio de olas de calor al año en Santander

MEDIA HISTÓRICA: 1,22717	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Corto plazo (2016-2040)	2,19313	2,09226	2,45672	2,55703
Medio plazo (2041-2070)	2,65326	3,10226	3,96508	4,22697
Largo plazo (2071-2100)	2,77366	4,32831	5,99306	7,01242

Fuente: CINCC (UC) - FIC, 2024 a partir de escenarios climáticos locales basados en las salidas del Sexto Informe del IPCC.

episodios para el medio y el largo plazo, aunque de manera más moderada. Para el corto plazo, los escenarios climáticos pronostican una duración media entre 5 y 5,5 días, manteniéndose este umbral para mediados y finales de siglo en el escenario más optimista. Para los escenarios intermedios, SSP2-4.5 y SSP3-7.0, a mediados de siglo y finales de siglo se espera una duración de entre 6 y 7 días de media, respectivamente. En el más pesimista, SSP5-8.5, la duración media de la ola de calor podría duplicarse respecto a la media histórica, llegando a valores de 9,7 días de duración media de estos episodios (cuadro 4.10).

CUADRO 4.10. Duración media de los episodios de olas de calor en Santander

MEDIA HISTÓRICA: 4,45443	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Corto plazo (2016-2040)	5,13939	4,80084	5,20159	5,52596
Medio plazo (2041-2070)	5,65013	6,09086	6,04402	7,03383
Largo plazo (2071-2100)	5,38460	6,82348	7,38716	9,7208

Fuente: CINCC (UC) - FIC, 2024 a partir de escenarios climáticos locales basados en las salidas del Sexto Informe del IPCC.

Para representar la amenaza por episodios de olas de calor en Santander por secciones censales se han empleado dos indicadores combinados:

- (i) **Número de días** de ola de calor al año, que, a su vez, incluye los pronósticos de duración media y de frecuencia de tales episodios.
- (ii) **Intensidad máxima** de la ola de calor. Para cada uno de los horizontes temporales considerados se obtienen y combinan valores medios representativos del conjunto de escenarios analizados, previamente normalizados.

Tanto los días de ola de calor como las intensidades máximas presentan cambios notables para el conjunto de los escenarios climáticos proyectados en cada escenario temporal respecto a la media histórica, lo que hace que los niveles normalizados de amenaza por ola de calor tiendan casi a duplicarse a finales de siglo respecto a los valores históricos.

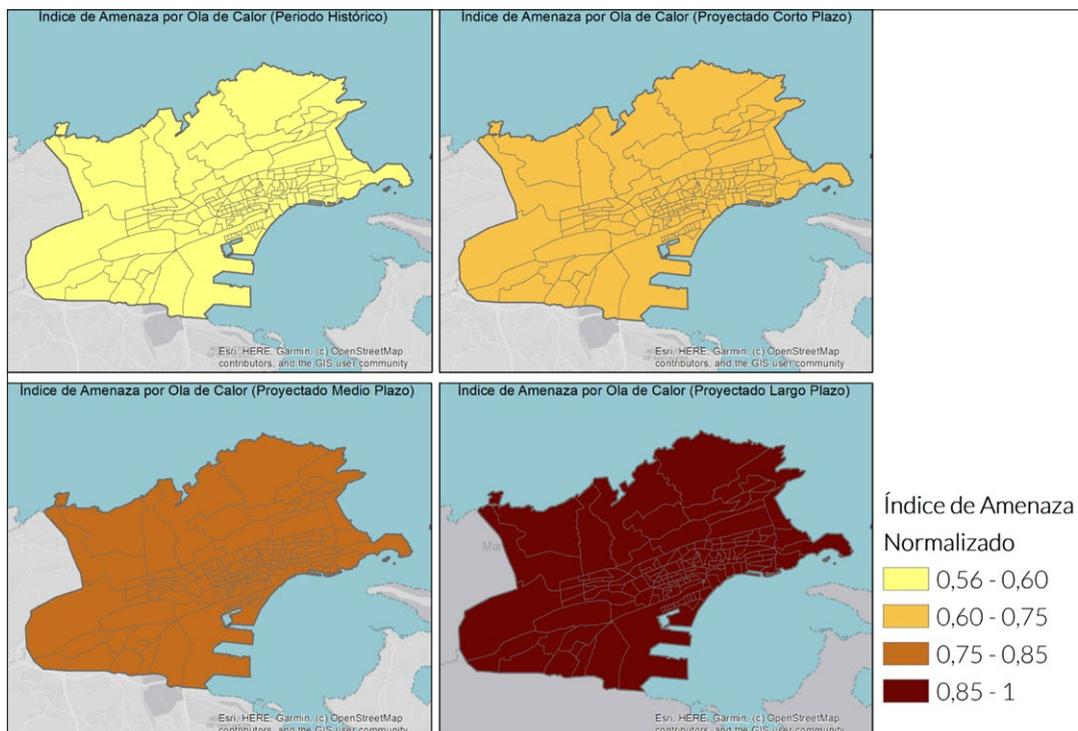


Figura 4.21. Índice de amenaza por ola de calor en Santander.

Nota. Periodo histórico (arriba a la izquierda) proyectado a corto (arriba a la derecha), medio (abajo a la izquierda) y largo plazo (abajo a la derecha).

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024.

CUADRO 4.11. Valores medios por horizonte temporal de intensidad máxima y días de ola de calor al año.

	DÍAS DE OLA DE CALOR AL AÑO	INTENSIDAD MÁXIMA DE LA OLA DE CALOR	ÍNDICE DE AMENAZA POR OLA DE CALOR
Periodo histórico (1985-2014)	10,23	29,06	0,57
Corto plazo (2016-2040)	19,41	29,52	0,66
Medio plazo (2041-2070)	30,02	29,79	0,77
Largo plazo (2071-2100)	51,48	30,19	0,95

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024.

Nota. Para conjunto de escenarios climáticos y resultados medios del índice de amenaza combinado.

NOCHES TROPICALES Y TÓRRIDAS

Una noche tropical es aquella en la que las temperaturas mínimas no bajan de los 20 °C. Las noches ecuatoriales o tórridas son aquellas en las que la temperatura mínima no desciende de 25 °C, según la AEMET.

Resultados del análisis de noches tropicales en Santander

La frecuencia media anual de las noches tropicales en Santander, referida a eventos de **días consecutivos**, para la serie observada en el periodo histórico de 1985 a 2014, es de 1,160349. Según los escenarios locales de cambio climático, basados en las recientes salidas del IPCC (Sexto Informe del IPCC), la frecuencia media proyectada de las noches tropicales en Santander en el corto plazo ronda valores medios anuales próximos a 3, para todos los escenarios de emisión; para el medio plazo ronda valores medios anuales de entre 3 a 6; y para el largo plazo ronda valores medios anuales de entre 3 a 10 noches seguidas.

CUADRO 4.12. Frecuencia media de eventos de noches tropicales con temperatura mínima de 20 °C en Santander

	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Corto plazo (2016-2040)	2,787025	3,190978	3,348073	3,036371
Medio plazo (2041-2070)	3,636427	4,493451	5,924965	6,181109
Largo plazo (2071-2100)	3,475246	6,361529	9,097015	9,889041

Fuente: CINCC (UC) - FIC, 2024 a partir de escenarios climáticos locales basados en las salidas del Sexto Informe del IPCC.

La **duración media anual**, referida a días consecutivos, de las noches tropicales o con temperaturas mínimas de 20 °C en Santander para la serie observada en el periodo histórico de 1985 a 2014 es de 1,837181. Según los escenarios locales de cambio climático, basados en

CUADRO 4.13. Duración media de las noches tropicales con temperatura mínima de 20 °C en Santander.

	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Corto plazo (2016-2040)	3,458352	3,331906	3,822967	3,823205
Medio plazo (2041-2070)	4,042616	4,578436	5,205120	5,751033
Largo plazo (2071-2100)	3,792237	6,093193	7,215842	8,758299

Fuente: CINCC (UC) - FIC, 2024 a partir de escenarios climáticos locales basados en las salidas del Sexto Informe del IPCC.

las recientes salidas del IPCC (Sexto Informe del IPCC), la duración media proyectada de las noches tropicales en Santander para el corto plazo ronda valores medios anuales de entre 3 a 4 aproximadamente, según el escenario de emisión; para el medio plazo ronda valores medios anuales de entre 4 a 6; y para el largo plazo ronda valores medios anuales de entre 4 a 9.

Resultados del análisis de noches ecuatoriales o tórridas en Santander

La media de las proyecciones climáticas para el medio plazo incrementa los valores a aproximadamente 0,8 noches tórridas de media al año en Santander, rondando valores proyectados mínimos en torno a 0,23 para el escenario SSP1-2.6 y máximos de 1,78 para el escenario SSP5-8.5.

Para el largo plazo incrementan los valores a aproximadamente 4 noches tórridas de media al año en Santander, rondando valores proyectados mínimos en torno a 0,19 para el escenario SSP1-2.6, y máximos de 9 para el escenario SSP5-8.5.

CUADRO 4.14. Frecuencia media de eventos de noches tórridas con temperatura mínima de 25 °C en Santander

HISTÓRICO= 0,005508	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Corto plazo (2016-2040)	0,046056	0,053913	0,091899	0,05374
Medio plazo (2041-2070)	0,089231	0,222254	0,314885	0,494965
Largo plazo (2071-2100)	0,076732	0,350549	1,490410	2,632053

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024 a partir de escenarios climáticos locales basados en las salidas del Sexto Informe del IPCC.

CUADRO 4.15. Duración media de las noches tórridas con temperatura mínima de 25 °C en Santander.

HISTÓRICO = 0,005508	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Corto plazo (2016-2040)	0,126627	0,116973	0,134218	0,09728
Medio plazo (2041-2070)	0,138409	0,314264	0,49166	0,895114
Largo plazo (2071-2100)	0,135956	0,554091	2,181558	3,03577

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024 a partir de escenarios climáticos locales basados en las salidas del Sexto Informe del IPCC.

SEQUÍA METEOROLÓGICA

La importancia de la sequía reside en su impacto y en los sectores a los que afecta. Lo que diferencia a los distintos tipos de sequías son la **intensidad**, la **duración**, la **cobertura espacial**

del fenómeno y el sector al que afecta (Hayes *et al.*, 2011). Conocer el comportamiento de estos fenómenos a corto plazo es de gran importancia para minimizar los impactos negativos. El riesgo asociado a un episodio de sequía es consecuencia de las características naturales del propio fenómeno y de la vulnerabilidad de la sociedad frente a él.

El análisis de los episodios de sequía meteorológica, por su propia naturaleza, no se limita a las áreas administrativas de un municipio. Su incidencia presenta un carácter regional con una implicación directa en la disponibilidad del recurso hídrico para el consumo humano.

Los valores medios esperados para el SPI tienen una tendencia general negativa, pero son considerados como normales. Los valores medios esperados para el SPEI se estiman normales para el corto y medio plazo, y moderadamente secos y muy secos para el largo plazo. Como se puede observar en la figura siguiente, el nivel de amenaza por sequía a corto plazo presenta una tendencia negativa, pero dentro del umbral de variabilidad natural del clima en Santander. Esta tendencia negativa se incrementa a medio plazo. Finalmente, para el largo plazo se espera un nivel de amenaza severo, que muestra un umbral de sequía moderadamente seco respecto a la sequía acumulada a medio plazo.

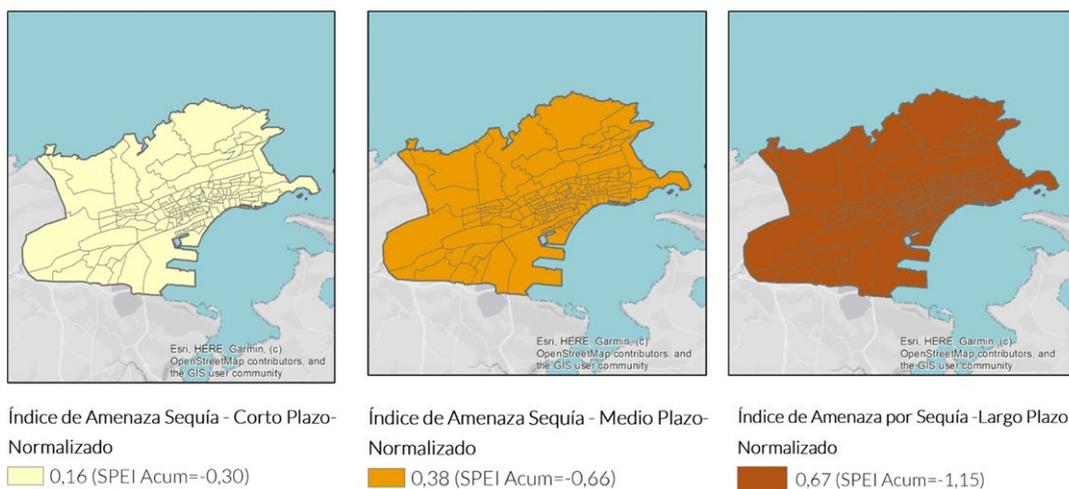


Figura 4.22. Índice de amenaza de sequía.

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024.

VIENTO EXTREMO, GALERNAS Y VIENTO SUR

En el municipio de Santander, la dirección de los vientos predominantes es oeste. Son también muy frecuentes los de dirección noroeste, con velocidades medias de 13,87 y 13,43 km/h respectivamente (Ayuntamiento de Santander, 2016). Entre los meses de septiembre y

abril tienen lugar los vientos de más de 91 km/h. Todos los años se presentan temporales tanto del noroeste como del suroeste, con rachas que superan los 100 km/h. En general, el viento condiciona la aparición de dos tipos de situaciones climatológicas:

● **Situaciones húmedas**

Se producen cuando soplan los vientos del norte al oeste cargados de humedad, debidos a su origen marítimo. Estos, cuando se encuentran con la cordillera cantábrica, ascienden, se enfrían y se producen fenómenos de condensación. De esta forma se originan nubes que se estancan contra la cordillera y provocan lluvias más o menos persistentes.

● **Situaciones secas**

Originadas por vientos del noreste y este, de origen continental, secos y fríos. En esta situación el cielo suele estar despejado, aunque se producen fuertes heladas.

Originadas por vientos del sur, que producen sequedad y un aumento anormal de la temperatura. La humedad puede descender hasta un 40 % y la temperatura puede alcanzar los 30 °C, incluso en pleno invierno.

Cualquier zona del municipio queda expuesta a la ocurrencia de episodios de viento extremo, aunque en mayor medida en las áreas costeras y laderas expuestas. Cabe destacar que la zona alta del municipio se divide en la vertiente norte y la vertiente sur, de tal manera que se registran más intervenciones en la ladera sur cuando sopla el viento de este lado y viceversa. Específicamente, los vientos de componente sur representan situaciones de riesgo más común en el municipio. Según el PEMUSAN, los vientos extremos quedan definidos como vientos de intensidad superior a 80 km/h, independientemente de su dirección. Los vientos en Santander tienen incidencia en la ocurrencia de temporales costeros F7, (50-61 km/h), mar gruesa, mar de fondo de 3 a 4 m y en la ocurrencia de galernas:

- En el mar, cambio brusco del viento, que arrece y rola al noroeste con F7.
- En tierra, giro brusco del viento al noroeste, que aumenta repentinamente con rachas fuertes superiores a 60 km/h en el litoral.

Para el presente estudio se analizan ambos tipos de episodios: (i) vientos de intensidad superior a 80 km/h, y (ii) rachas de vientos de componente sur. Para cada uno de estos eventos de intensidad variable se analizan los siguientes índices de frecuencia y duración:

- Frecuencia, analizada como número medio de episodios de viento extremo al año.
- Duración media del evento, analizada como la media de los días consecutivos al año que ocurren episodios de viento extremo.

Para representar la amenaza por episodios de viento extremo en Santander por secciones censales se ha empleado el valor medio normalizado por sección censal de la racha

máxima de componente sur. Como se aprecia en la siguiente figura, el nivel de amenaza por la ocurrencia de episodios de viento extremo presenta variabilidad geográfica dentro del municipio, generalmente tiende a valores relativamente mayores para las secciones del noreste, pero que, sin embargo, se mantienen con valores comprendidos entre 0,86 y 1, es decir, con un bajo rango de amplitud. Esto es debido a que, como resultado del análisis realizado, las rachas de viento de componente sur, medias o máximas, así como, en general, los episodios de viento extremo, tendrán una **tendencia a la baja** muy poco notoria en términos tanto absolutos como relativos, respecto al periodo histórico, cuando se alcanzan los valores máximos.

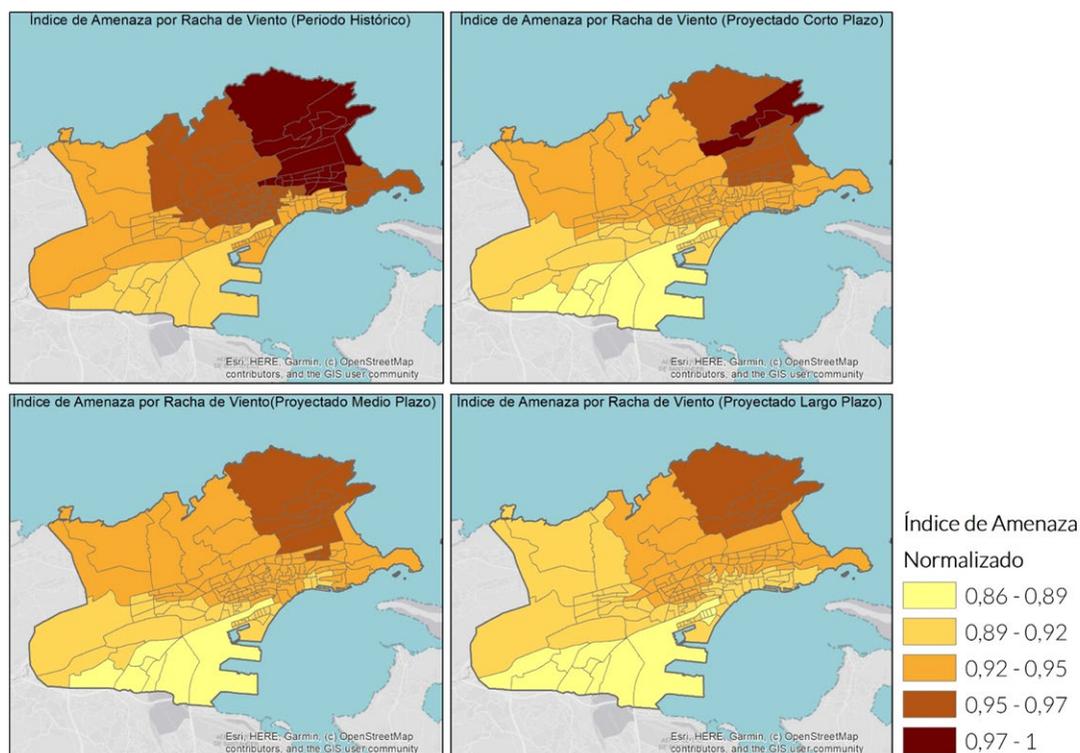


Figura 4.23. Índice de amenaza por viento extremo en Santander.

Nota. Periodo histórico (arriba a la izquierda) proyectado a corto (arriba a la derecha), medio (abajo a la izquierda) y largo plazo (abajo a la derecha).

Fuente: CINCC (UC) - FIC, 2024.

Por lo tanto, el régimen de ocurrencia de vientos extremos y rachas máximas de la componente sur para el conjunto de los escenarios climáticos proyectados en cada escenario temporal no presenta cambios muy notables respecto a la media histórica, lo que hace que los niveles normalizados de amenaza por episodios de viento extremo tiendan a mantenerse por encima de 0,86 en todos los escenarios temporales.

CUADRO 4.16. Valores medios de racha máxima en km/h e índice de amenaza combinado

	RACHA MÁXIMA (MEDIA)	RACHA MÁXIMA (RANGO)	ÍNDICE DE AMENAZA MEDIO
Periodo histórico (1985-2014)	103,21	96,67-108,27	0,95
Corto plazo (2016-2040)	100,67	94,53-105,49	0,93
Medio plazo (2041-2070)	100,32	94,46-104,97	0,92
Largo plazo (2071-2100)	99,44	93,54-104,10	0,92

Fuente: CINCC (UC) - FIC, 2024.

Nota. Por horizonte temporal y para conjunto de escenarios climáticos.

INUNDACIÓN COSTERA

En el ámbito de las zonas costeras, **PIMA Adapta**⁸ está desarrollando una amplia batería de actuaciones de restauración de hábitats y estabilización de la línea de costa a lo largo de todo el litoral español. Esta iniciativa, enmarcada dentro de la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española, que fue aprobada en 2017, cuenta con un repositorio de bases de datos de alta resolución generadas para la evaluación de las inundaciones costeras, incluyendo áreas de inundación costera y profundidad de inundación tanto para el periodo histórico como a futuro para los horizontes 2050 y 2100, con un periodo de retorno de 100 años. Esta modelización a futuro se establece además para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5, intermedio y pesimista respectivamente.

Para la Comunidad de Cantabria, los resultados del informe Adapta Costa (2019-2021) son accesibles a través del Visualizador de Información Geográfica Oficial del Gobierno de Cantabria. A continuación, se muestran las áreas y la profundidad de inundación costera para el periodo histórico y para el escenario de ocurrencia más pesimista (RCP8.5 en el periodo 2100).

A nivel municipal, el área de **inundación costera** para el periodo histórico y con una recurrencia de 100 años es de 108 ha con niveles máximos de profundidad cercanos a los 10 m en las áreas más bajas.

Las proyecciones para mediados de siglo indican incrementos en el área de inundación de aproximadamente un 5 %, algunas décimas más alto para el escenario RCP8.5. Y, por último, los escenarios de proyección a 2100 indican incrementos del área de inundación costera de aproximadamente un 24 % para el RCP4.5 y de un 30 % para el RCP8.5, con niveles máximos de profundidad de la inundación cercanos a 11,4 m. A continuación, se detallan los

⁸ Véase: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/pima-adapta.html>

resultados de incidencia de la amenaza de inundación costera en el municipio de Santander para cada uno de los escenarios que se contemplan.

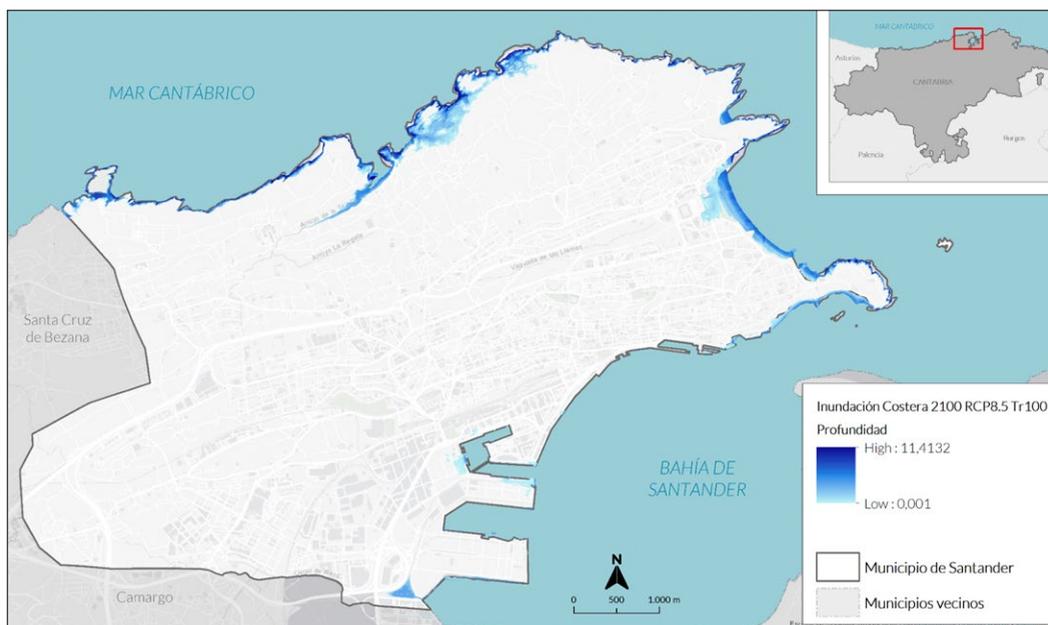


Figura 4.24. Áreas de inundación costera y profundidad de inundación 2100 RCP8.5.

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024 a partir de los datos del informe Adapta-Costa Cantabria (2019-2021)

CUADRO 4.17. Variaciones de índices por subida del nivel del mar

ESCENARIO MEDIO (TR100 AÑOS)	ÁREA DE INUNDACIÓN (HA)	RANGO PROFUNDIDAD (M)	CAMBIO RESPECTO AL HISTÓRICO (HA)	% CAMBIO RESPECTO AL HISTÓRICO
Histórico	108,34	0,001 - 9,9008		
Proyección RCP4.5 2050	113,37	0,001 - 10,059	+5,03	+4,64
Proyección RCP8.5 2050	114,24	0,001 - 10,1473	+5,90	+5,44
Proyección RCP4.5 2100	131,90	0,001 - 10,8353	+23,56	+21,75
Proyección RCP8.5 2100	141,35	0,001 - 11,4132	+33,01	+30,47

Fuente: CINCc (UC) - FIC, 2024 a partir de los datos del informe Adapta-Costa Cantabria (2019-2021)

