

/G

Infraestructuras Críticas

2022

Informe de Impacto y Vulnerabilidad al **Cambio Climático** en Gipuzkoa

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas

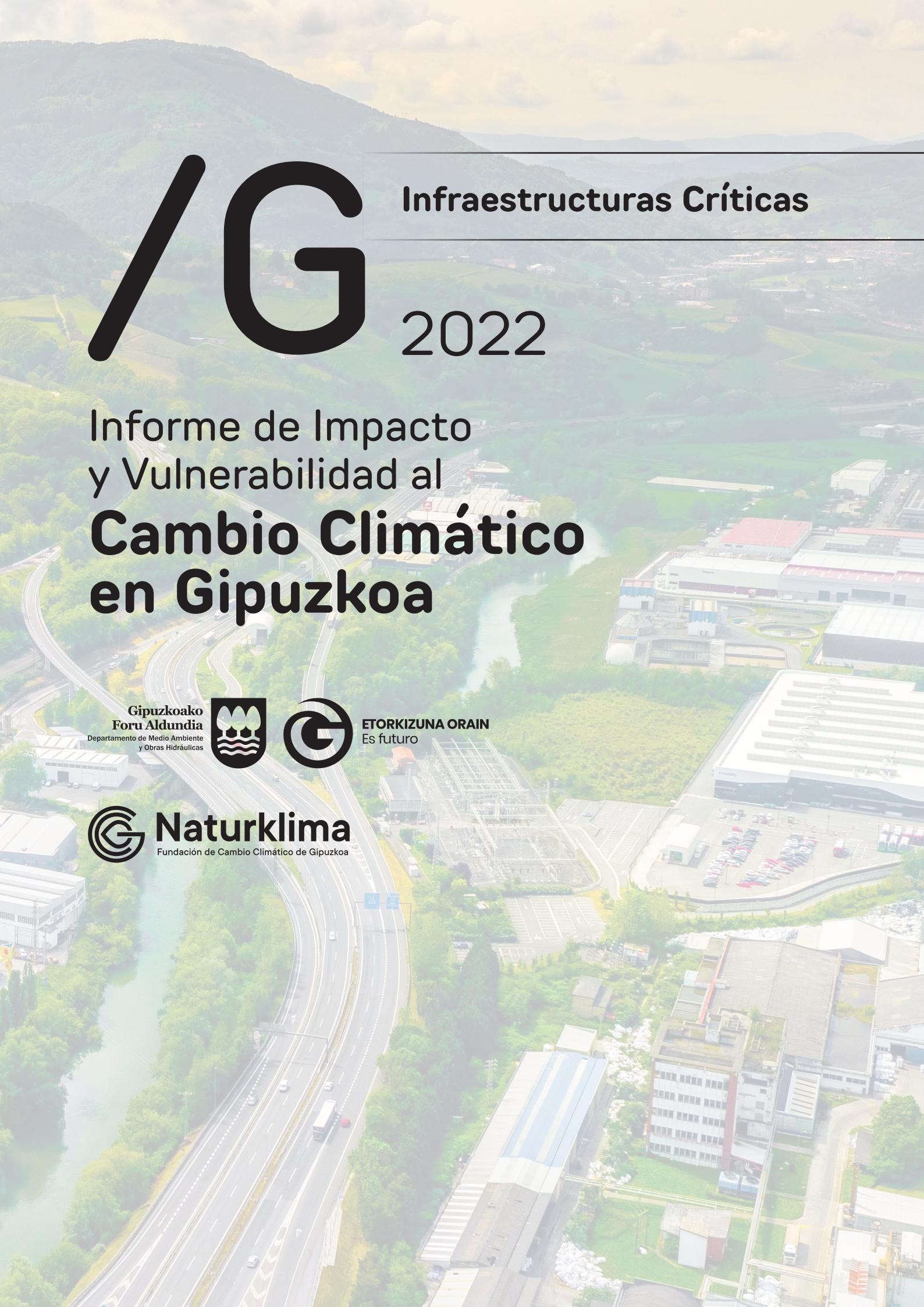


ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa





/G

Infraestructuras Críticas

2022

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro

 **Naturklima**
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

ÍNDICE

Introducción	9
Parte I: El clima desde la escala global a la local en 2021.....	13
1. Introducción.....	16
2. Contexto Global	19
3. Gipuzkoa en 2021.....	31
Anexo: Indicadores de seguimiento de los impactos del cambio climático en Gipuzkoa.....	47
Parte II: Infraestructuras críticas	57
1. Introducción.....	59
2. Infraestructuras críticas en el territorio	63
3. Afecciones históricas.....	71
4. Peligros climáticos en escenarios de cambio climático	85
5. Cadenas de impacto	101
6. Riesgo climático de las infraestructuras críticas ante el cambio climático.....	109
7. Conclusiones	135
Anexos. Glosarios. Referencias	139
Anexo I - Registro de eventos	141
Anexo II - Tendencias actuales de la precipitación y caudales.....	150
Anexo III - Posters.....	154
Glosario	156
Referencias.....	159



Naturklima

Aldaketa Klimatikoaren | Fundación de Cambio
Gipuzkoako Fundazioa | Climático de Gipuzkoa

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro

/G

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa



**José Ignacio
Asensio Bazterra**

Diputado de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas
Presidente de Naturklima

La historia de la humanidad se ha escrito a lo largo de los siglos al ritmo de los cambios, casi siempre obligados, que han llevado a los diferentes tipos de sociedades que han habitado y habitan el planeta a una evolución constante en todos los aspectos imaginables. Los humanos nos hemos adaptado a las nuevas realidades siempre con el fin de con un único objetivo final más allá incluso de nuestro bienestar: nuestra supervivencia. Por eso, en la actualidad, nos enfrentamos a uno de los mayores retos imaginables, porque lo que está en juego es precisamente nuestra supervivencia como especie.

El cambio climático implica, inevitablemente, un nuevo periodo de alteraciones. Los expertos climáticos del IPCC nos han advertido en numerosas ocasiones, y a través de no pocos y variados informes, de la especial importancia estratégica de la presente década como punto de partida para trabajar en una doble dirección: mitigar a través de nuestros actos los efectos del cambio climático, y trabajar en la creación de escenarios resilientes para adaptarnos a aquellas situaciones que nos será complicado evitar por mor de la actual organización de las sociedades avanzadas. Es el momento de cambiar: cómo nos alimentamos, cómo nos movemos, cómo producimos, cómo consumimos y, en definitiva, cómo interactuamos con un planeta que es nuestro hogar y que debemos cuidar.

“Gipuzkoa Klima 2050”, nuestra estrategia de lucha contra el cambio climático aprobada en 2018, fue el impulso definitivo que dimos a esa transformación en Gipuzkoa. El propósito era y, de hecho es, muy sencillo: apostar firmemente mediante normativas, planificaciones, colaboración y por supuesto presupuestos, por impulsar políticas para ralentizar el calentamiento global, garantizar la calidad de vida de la población de Gipuzkoa y asegurar un futuro sostenible para las futuras generaciones.

En este contexto surgió Naturklima, primera fundación que opera a nivel territorial con el objetivo de analizar el calentamiento global y valorar su impacto en la sociedad. Naturklima analiza todos los años, a través de su observatorio, los principales indicadores que nos permiten seguir la evolución de los efectos causados por el cambio climático y realizar proyecciones de futuro. Es imprescindible conocer lo que nos puede ocurrir para poder anticiparnos y mejorar nuestra capacidad de adaptación y contribuir al mismo tiempo a frenar la crisis climática.

Este es el tercer “Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa” que realizamos, y hemos querido ahondar en la incidencia que el cambio climático puede tener a lo largo del presente siglo sobre las infraestructuras críticas de nuestro territorio. Las infraestructuras críticas garantizan el funcionamiento de las funciones vitales para la sociedad como la salud, la seguridad, la economía, o la educación. Es, por tanto, imprescindible conocer el impacto potencial y real del cambio climático sobre estas infraestructuras para adaptarnos, maximizar la resiliencia de nuestro territorio, y garantizar el bienestar de nuestra sociedad.

Las infraestructuras críticas son la columna vertebral de la sociedad moderna. Además de los daños físicos directos que les pueden ocasionar eventos meteorológicos y climáticos extremos tales como olas de calor, precipitaciones fuertes e inundaciones, se añaden esos otros daños indirectos provocados por pérdidas de operatividad o interrupciones de las cadenas de suministro o servicios auxiliares. Además, los impactos sobre estas infraestructuras suponen elevados costes económicos para el territorio. Según los datos y conclusiones corroboradas por el presente informe, las inundaciones, los embates de mar, y los fuertes vientos, han generado un coste que asciende a 270 millones de euros en Gipuzkoa en las tres últimas décadas.

También hemos confirmado que las carreteras, debido a los riesgos de inundaciones pluviales, y las infraestructuras de transmisión de electricidad, por su sensibilidad ante el aumento de temperaturas máximas, son las principales infraestructuras críticas por las que debemos velar, ya que destacan como los elementos más vulnerables ante los efectos del cambio climático.

Gracias a todo este conocimiento que estamos generando, en Gipuzkoa estamos preparados para pasar de las palabras a los hechos y seguir ejecutando las políticas de mitigación y adaptación necesarias que nos están posicionando como referentes, tanto en materia de economía circular como en transición energética.





Introducción



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro





El cambio climático inducido por la actividad humana, incluyendo la mayor frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos y climáticos extremos como olas de calor, eventos de precipitación extrema o sequías, está provocando impactos generalizados sobre los ecosistemas, los asentamientos, las infraestructuras y la población (IPCC-AR6, 2022). En todos los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero elaborados y evaluados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su último informe (IPCC-AR6, 2021), se prevé que la temperatura de la superficie continúe aumentando a lo largo del presente siglo, y con ello la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos. Un calentamiento que alcanzará los 1,5°C en el corto plazo provocaría un incremento de los riesgos climáticos y presentaría múltiples riesgos tanto para los sistemas naturales como los sistemas humanos. En este contexto, el análisis de riesgos proporciona un marco para comprender los impactos cada vez más graves, interconectados y, a menudo, irreversibles y la mejor manera de reducir las consecuencias adversas a través de estrategias de mitigación y adaptación.

Los cambios en el sistema climático global impactan a escalas regionales y locales afectando de manera específica, en función a su vulnerabilidad, a sus diferentes sistemas naturales y socioeconómicos. Por lo tanto, las acciones e iniciativas de adaptación deben ser definidas e implementadas a dichas escalas. En este contexto, es objetivo fundamental del Observatorio de Cambio Climático de Naturklima proporcionar información sistemática, objetiva y con el mayor detalle posible sobre el cambio climático, para explicar y proyectar los cambios de las variables climáticas, así como de los impactos de estos cambios, en el T.H. de Gipuzkoa.

Este tercer informe de Naturklima, 'Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa – In-

fraestructuras críticas' se estructura en dos bloques principales. En el primer bloque (Bloque I). El clima desde la escala global a la local en 2021 se realiza un seguimiento de los impactos que el cambio climático está generando a nivel global y también, de manera específica, en Gipuzkoa. En esta labor de observación se analizan múltiples indicadores climáticos, pero también ambientales, económicos y sociales. Es una herramienta esencial para mejorar el conocimiento de la evolución del clima en nuestro territorio año a año. En el segundo bloque, (Bloque II. Análisis de los efectos del cambio climático en las infraestructuras críticas de Gipuzkoa), se analizan en detalle los efectos del cambio climático sobre las infraestructuras críticas (IC) del territorio. Estas IC, incluyendo el agua, saneamiento, comunicaciones, sistemas de salud, transporte o la energía, entre otros, serán cada vez más vulnerables si los estándares de diseño, mantenimiento u operación no consideran el cambio climático. Disponer de IC resilientes frente a los impactos del cambio climático es clave, ya que, incluso cualquier interrupción de corta duración no deseada podría tener graves consecuencias en los flujos de suministros vitales y provocar perturbaciones y disfunciones graves en el territorio. El conocimiento de los riesgos climáticos ayuda a fortalecer las acciones de adaptación y mitigación que reducen los riesgos.

Este *Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa – Infraestructuras críticas*, constituye el tercero de una serie de informes anuales elaborados por la Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa, Naturklima, que pretenden ser una herramienta que proporcione la información necesaria para la toma de decisiones en la planificación de medidas de adaptación y mitigación, y con todo ello contribuir a la mejora de la resiliencia del territorio, en línea con los objetivos marcados en la Estrategia Guipuzcoana de Lucha Contra el Cambio Climático 2050.





El clima desde la escala global a la local en 2021



Naturklima

Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro





“ Es inequívoco que la influencia humana ha calentado la atmósfera, el océano y la tierra. Se han producido cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, el océano, la cíosfera y la biosfera (IPCC-6AR, 2021) ”

TEMPERATURA

- El clima de Gipuzkoa está cambiando. Las últimas décadas han sido más cálidas que el siglo XX. La temperatura media anual presenta una tendencia positiva desde el año 1971.
- En 2021, la temperatura media anual registrada en las estaciones meteorológicas del territorio fue de 13,2°C, aproximadamente 0,3°C por debajo de la

- temperatura media (1981–2010), estando lejos de los máximos registrados en 2014 y 2011.
- En la última década se han registrado 7 de los años más cálidos del siglo XXI.
- La última década (2011–2020) ha sido de media 0,5°C más cálida que el periodo 1981–2010.

PRECIPITACIÓN

- La precipitación acumulada anual no presenta una tendencia significativa en el periodo 1971–2021.
- Sí se observa una tendencia creciente significativa en la precipitación acumulada anual en Hondarribia–Malkarroa (1956–2021), pero no así en Igeldo (1929–2021).

- 2021 fue un año normal en muchos puntos del territorio y húmedo especialmente en el litoral. Las precipitaciones acumuladas fueron alrededor de un 2,3% superiores al periodo de referencia 1981–2010.
- La última década (2011–2020) ha sido de media en torno a un 10% más húmeda que el periodo 1981–2010.

NIVEL DEL MAR

- El nivel del mar en las costas del golfo de Vizcaya está ascendiendo en promedio a 2,5 cm década⁻¹ desde los años 90.
- Este ascenso en la costa y mar del golfo de Vizcaya es consistente con el ascenso a nivel global.

- El ascenso del nivel del mar se está acelerando en nuestra zona en las últimas tres décadas respecto al ascenso medio en el siglo XX.



1. Introducción



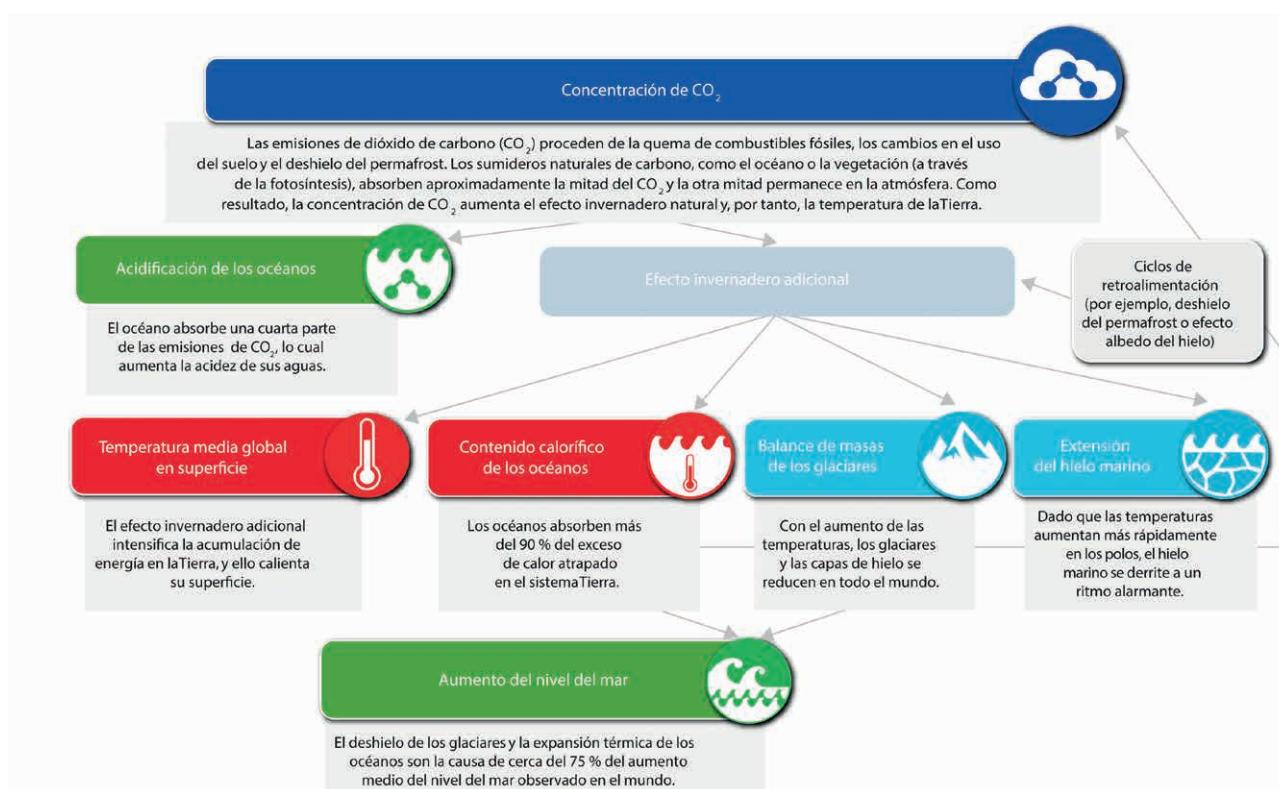
ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro

Este bloque ofrece un breve resumen del clima a lo largo del año 2021 junto con el contexto histórico de una serie de variables climáticas esenciales. Se presentan variaciones y tendencias basadas en los conjuntos de observaciones más actualizados. Se han analizado los indicadores climáticos a escala global que proporcionan el contexto a largo plazo y también a escala del T.H. de Gipuzkoa.

Las observaciones del sistema climático están evidenciando cambios sin precedentes en miles de años en el clima de la Tierra. El principal indicador del cambio climático es el calentamiento a nivel global como consecuencia directa del exceso de calor que atrapan los gases de efecto invernadero acumulados en la atmósfera que, año

tras año, continúan incrementándose. Sin embargo, las evidencias del cambio climático no se basan únicamente en la observación del incremento de la temperatura media global, sino también en una amplia gama de indicadores de todos los componentes del sistema climático que también están cambiando rápidamente, en muchos casos a niveles no vistos en milenios. El último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) 'Cambio Climático 2021: Bases Físicas' recoge los últimos avances de las ciencias del clima y un análisis de las evidencias científicas más rigurosas sobre sus impactos, proporcionando así una comprensión física actualizada del sistema climático y del cambio climático antropogénico. En el mismo, se indica que

“El cambio climático ya está afectando a todas las regiones del planeta y en el sistema climático en su conjunto, de múltiples formas: los cambios que experimentaremos aumentarán con un mayor calentamiento (IPPC-6AR, 2021).”



1. Fig. Interacciones entre los diferentes indicadores climáticos globales. Fuente: Organización Meteorológica Mundial (2021).

Las observaciones del sistema climático son, por tanto, fundamentales para comprender la variabilidad y los cambios que se están produciendo. Para entender estos cambios, a partir de las observaciones del sistema climático, se han definido diferentes indicadores globales con el objetivo de proporcionar una visión del estado del clima a nivel global. Es decir, proporcionan información que permite monitorizar los principales cambios observados en el sistema climático, como los cambios en la composición de la atmósfera, cambios en la temperatura y energía como consecuencia directa del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, así como la respuesta a estos cambios en los océanos, en el sistema hídrico o en la cíosfera.

Este bloque presenta estadísticas resumidas para el año 2021 y se comparan estas con la década más reciente (2011-2020) y el periodo de referencia de 30 años anterior (1981-2010). No se ha utilizado el periodo de referencia de 30 años más reciente (1991-2020), ya que la climatología disponible para Gipuzkoa alcanza hasta el año 2016. En próximos informes se tratará de actualizar y analizar los datos respecto a este nuevo periodo de referencia. La década 2011-2020 no es un periodo de referencia estándar, pero proporciona información instantánea de 10 años del clima más reciente y como se compara con los registros históricos. Esto significa que las diferencias entre 2011 y 2021 y los periodos de referencia de 30 años pueden reflejar variaciones decaduales de corto plazo, así como las tendencias a largo plazo.

El análisis de tendencias y variaciones en Gipuzkoa se basa en los escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología

de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Iñobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050"). Estos se acompañan con datos de los observatorios meteorológicos de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, ya que, ambos proporcionan largas series temporales, de más de 30 años, comenzando en 1929 y 1956, respectivamente. Para el seguimiento de los indicadores anuales de los últimos 15 años se considera también la red de estaciones meteorológicas de la CAPV que utiliza la Agencia Vasca de Meteorología – Euskalmet- dado que presentan relación con la temperatura y precipitación mostrados en el Anexo I.

Se incluye también un breve resumen de los principales cambios observados en la temperatura del agua y nivel medio del mar en el golfo de Vizcaya. Un análisis más detallado de estas variables, junto con los cambios observados en el resto de indicadores de cambio climático e impacto en la costa se publicarán en el 'Informe de Seguimiento y Análisis de Indicadores fisicoquímicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa' durante el último trimestre de 2022.

Por último, en el Anexo I se incluye una actualización de los indicadores del cuadro de mando utilizado para la monitorización, seguimiento y evaluación de la situación y evolución de los efectos del cambio climático en Gipuzkoa, así como el efecto de las medidas de adaptación implementadas. Se incluye la serie histórica disponible para el periodo 2010-2011.







2.1. GASES DE EFECTO INVERNADERO

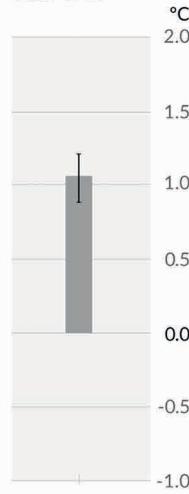
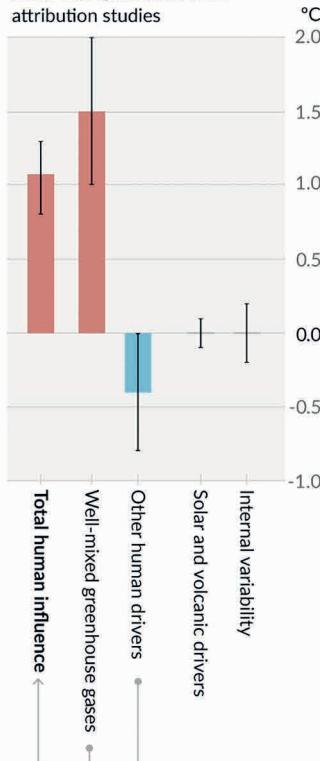
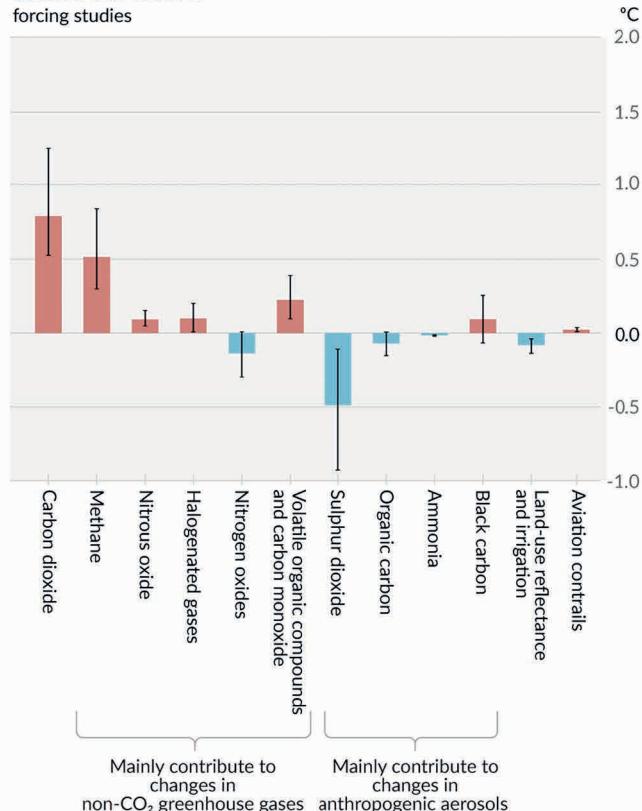
El exceso de calor acumulado en la Tierra se debe al incremento de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Reconstrucciones del clima pasado muestran que las concentraciones atmosféricas de CO₂ y la temperatura global de la superficie están fuertemente acopladas.

Los GEI presentes en la atmósfera atrapan la radiación infrarroja impidiendo que esta se disipe al espacio. Posteriormente, parte de esta radiación es emitida nuevamen-

te desde la atmósfera en todas las direcciones hacia la superficie, provocando un calentamiento. Este efecto se conoce como 'efecto invernadero' y es vital para la vida en la Tierra. Sin embargo, a partir de la revolución industrial, la concentración de estos gases ha crecido ininterrumpidamente atrapando una mayor cantidad de calor y provocando un calentamiento acelerado en la Tierra. Los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃).

“Es inequívoco que el aumento de CO₂, CH₄ y N₂O en la atmósfera desde la era industrial es el resultado de las actividades humanas y esa influencia humana es el principal motor de muchos cambios observados a través de la atmósfera, el océano, la círosfera y la biosfera
(IPPC-6AR, 2021) **”**

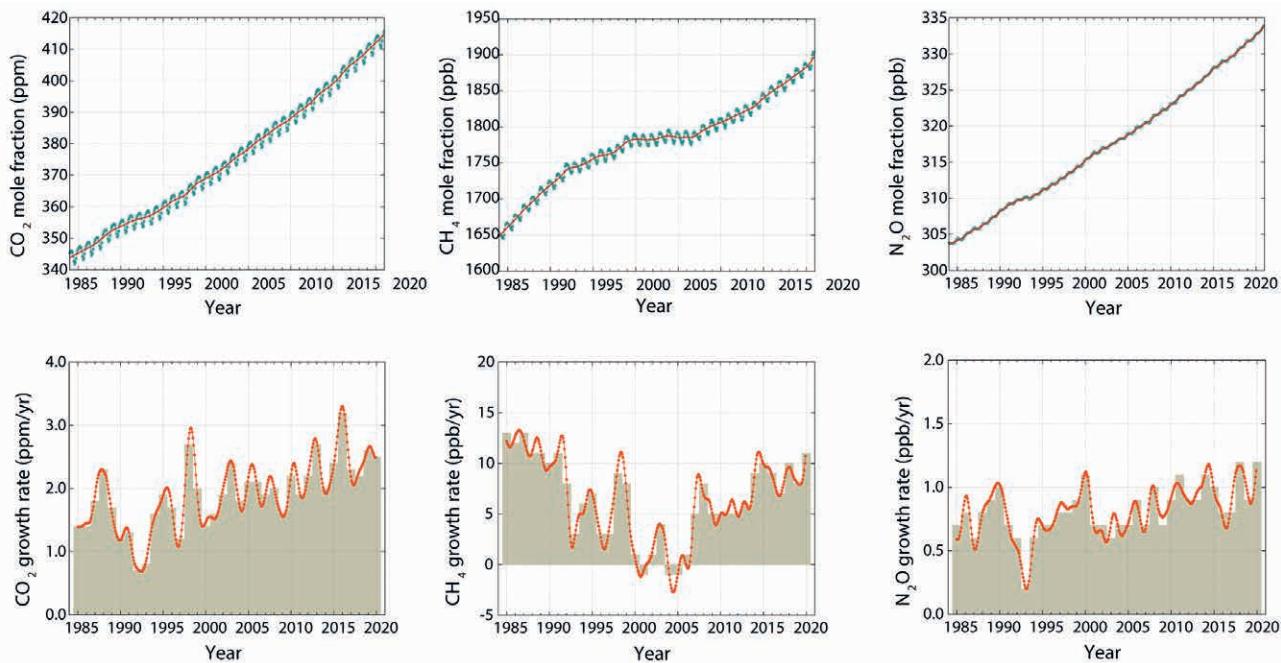


Observed warminga) Observed warming
2010-2019 relative to
1850-1900**Contributions to warming based on two complementary approaches**b) Aggregated contributions to
2010-2019 warming relative to
1850-1900, assessed from
attribution studiesc) Contributions to 2010-2019
warming relative to 1850-1900,
assessed from radiative
forcing studies

2. Fig. Contribuciones al calentamiento observado en el periodo 2010–2019 en relación con 1850–1900. (a) Calentamiento global observado (aumento de la temperatura superficial mundial). (b) Evidencias de los estudios de atribución que sintetizan la información de los modelos climáticos y observaciones. Se muestra el cambio de temperatura atribuido a: la influencia humana total, cambios en las concentraciones de GEI, otros impactos humanos como aerosoles, ozono y usos del suelo; radiación solar y volcanes y la variabilidad interna del clima. (c) Evidencias del análisis del forzamiento radiativo y la sensibilidad climática. Se muestra los cambios de temperatura atribuidos a distintos componentes de origen antrópico. Fuente: IPCC-AR6 (2021).

La concentración atmosférica de CO₂ refleja un equilibrio entre las emisiones ligadas a las actividades humanas, fuentes naturales y los sumideros en la biosfera y océano. La concentración atmosférica media anual de CO₂ se ha incrementado aproximadamente de 277 ppm en 1750 a 414 ppm en 2021 (hasta un 49% más), alcanzándose un nuevo máximo. La concentración se incrementa año a año, incluso en 2020 (2,51% más que en 2019), a pesar de la reducción de las emisiones ligadas a las restricciones

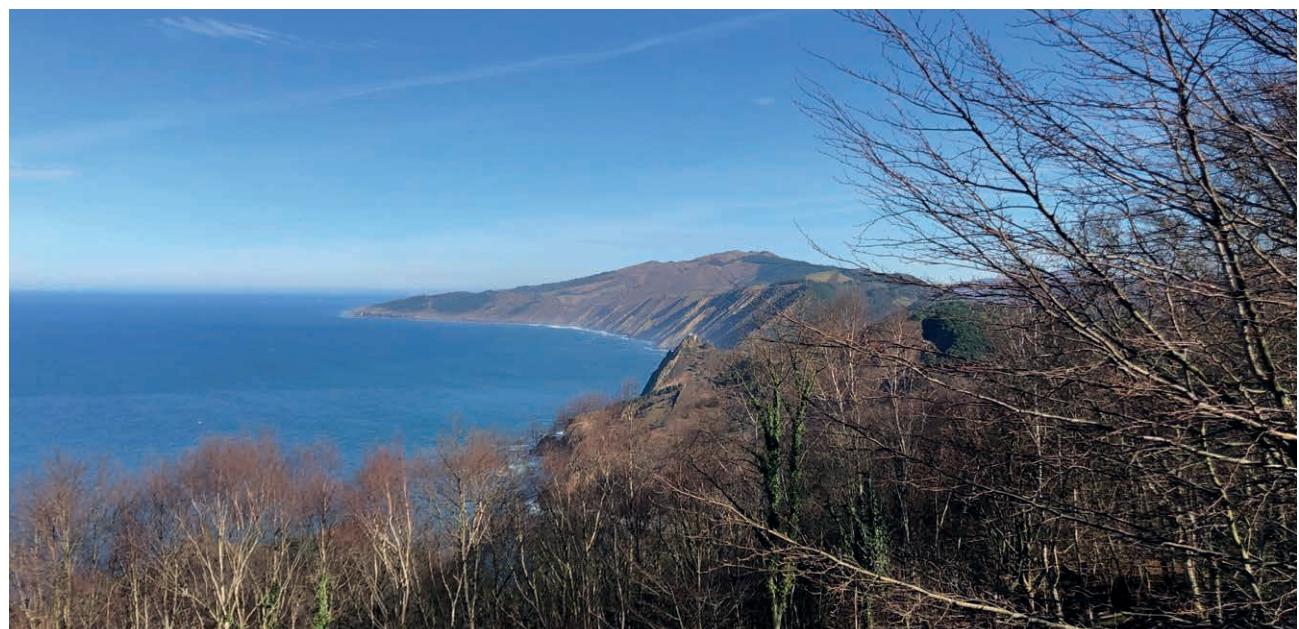
impuestas por la crisis sanitaria del COVID-19. Los datos en tiempo casi-real indican que las emisiones globales de CO₂ en 2021 crecieron un 4,8% (Liu et al., 2022) y que la concentración atmosférica de CO₂ continuó incrementándose, alcanzando los 414 ppm, un 0,6% más que la concentración en 2020. Además, se han alcanzado recientemente nuevos máximos en la concentración diaria de CO₂ en el observatorio de referencia de Mauna Loa (Hawái), como el alcanzado en febrero de 2022 (421,59 ppm).



3. Fig. (arriba) Concentración media mundial de CO₂, CH₄ y N₂O. La línea roja indica los valores medios mensuales, con la variación estacional eliminada, los puntos y la línea azul indican los valores medios mensuales. (abajo) La tasa de crecimiento correspondiente a cada uno de los gases para el periodo 1984–2020. El área sombreada muestra los valores medios anuales. Fuente: modificada de The State of Greenhouse gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2020. Fuente: WMO greenhouse gas bulletin.

La concentración atmosférica de otros GEI principales también continúan incrementándose, alcanzándose valores históricos en 2020 como en el caso del CH₄ (1889 ± 2,0 ppb, +14,8 ± 0,5 ppb con respecto 2019) y el N₂O (333,2 ± 0,1 ppb, +1,4 ± 0,1 ppb con respecto 2019). Las emisiones

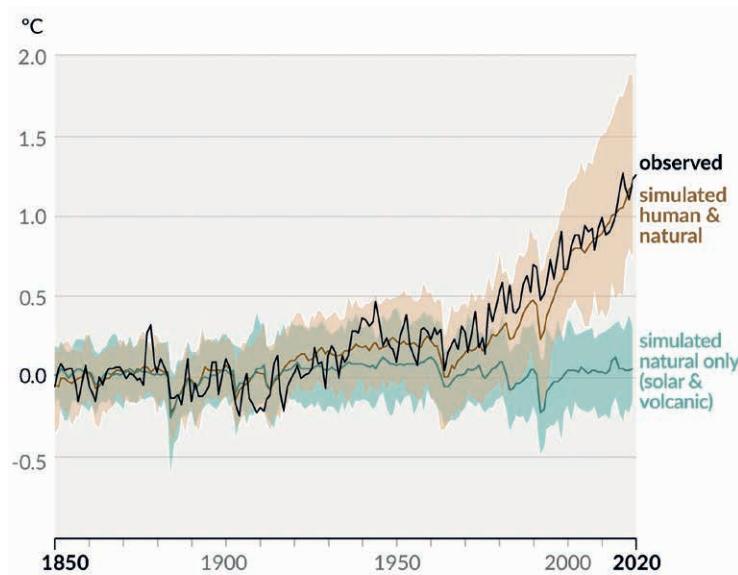
del N₂O han aumentado un 30% desde 1980, alcanzando un incremento del 123% con respecto a la era preindustrial. Con respecto al CH₄, su incremento ha sido del 158% en comparación con la concentración estimada en la era preindustrial (IPCC-AR6, 2021).



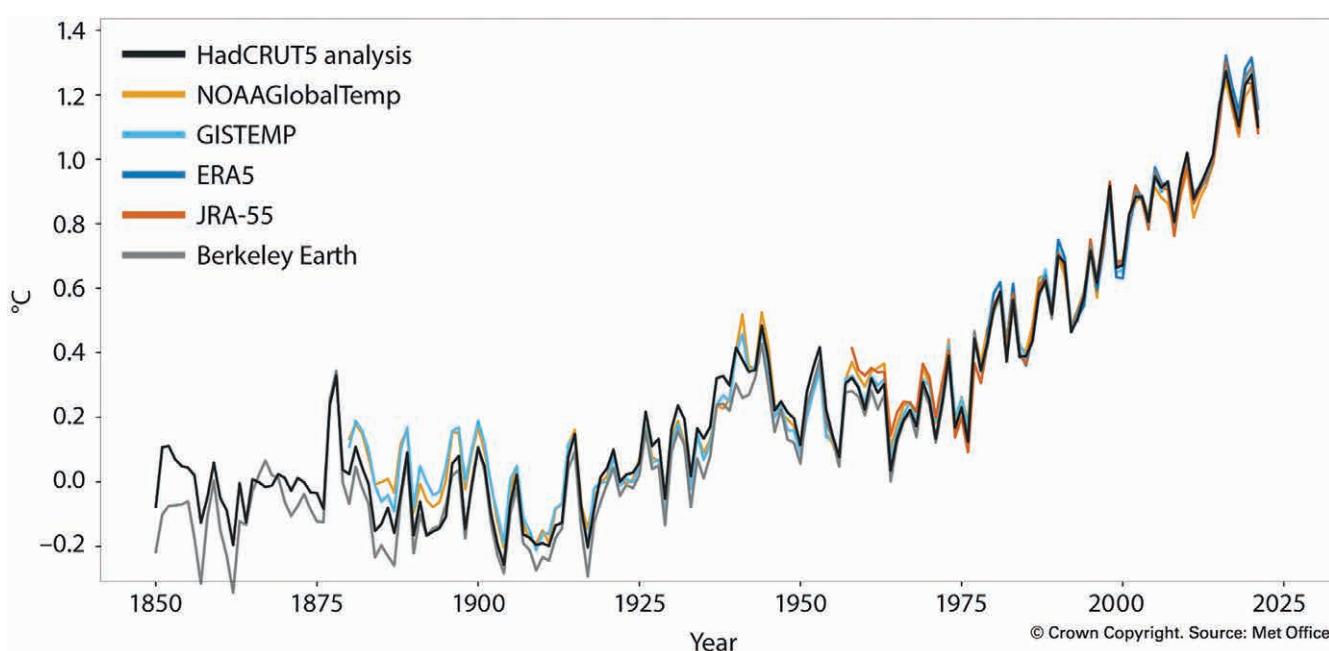
2.2. TEMPERATURA

Desde 2012, se ha observado un fuerte calentamiento, siendo probablemente el periodo 2015–2021 el periodo de siete años más caluroso en el registro instrumental desde al menos 1850 (C3S, 2022). El calentamiento inducido por el hombre en el periodo 2010–2019 en relación

con 1850–1900 es del orden de 1,07 [0,8 a 1,3] °C, mientras que el cambio atribuible al forzamiento natural es solo de -0,1°C a +0,1°C (IPCC-AR6, 2021). En los últimos 45 años, el incremento de la temperatura sobre superficie terrestre es aproximadamente el doble que sobre los océanos.



4. Fig. Cambios en la temperatura superficial mundial (promedio anual) en relación con 1850–1900 en comparación con simulaciones de modelos climáticos de la respuesta de la temperatura tanto a conductores como naturales.



5. Fig. Anomalía respecto al periodo de referencia 1850–1900 de la temperatura media global. Fuente: Met Office (2022).

A nivel global, la temperatura media observada en 2021 fue 0,3°C superior a la del periodo de referencia 1991–2020 (0,74 °C superior al periodo 1981–2010) y 1,11 ± 0,13°C superior a la temperatura media observada para el periodo preindustrial (1850–1900). Ha sido 2021 a su vez catalogado como entre el quinto y séptimo año más cálido desde que existen registros, en función de la base de datos analizada, siendo las temperaturas en 2021 ligeramente superiores a de los años 2015 y 2018 pero inferiores a las del 2020 como consecuencia de la influencia del fenómeno conocido como ‘La Niña’ a principios y finales

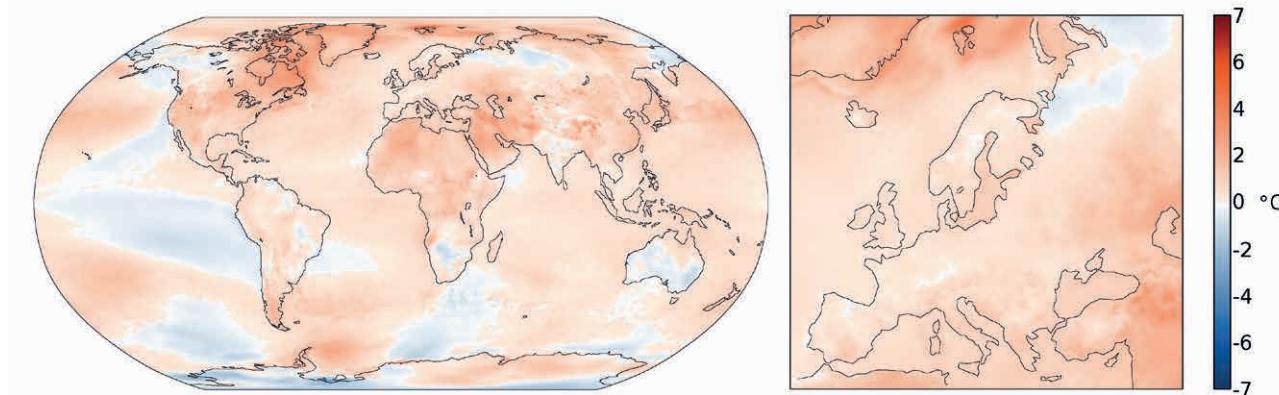
de año, fenómeno que induce variabilidad de corto plazo (C3D, 2021). ‘La Niña’ tiene un efecto de enfriamiento temporal sobre la temperatura global, que es más fuerte al año siguiente a un evento. En comparación con el último evento significativo de ‘La Niña’ en 2011, las temperaturas medias globales fueron entre 0,18 °C y 0,26 °C más cálidas que en 2011, lo que indica, una vez más, que el calentamiento global es inequívoco (WMO, 2021). A medida que se este fenómeno se fue atenuando en el periodo 2020–2021, las temperaturas medias globales continuaron incrementándose.

GLOBAL	NASA-GISS	HadCRUT4	NOAA-Global Temp	ERA5	JRA-55
SUPERFICIE TERRESTRE	+0,97	+0,85 ± 0,13	+0,95 ± 0,14	+0,99	+0,88
SUPERFICIE OCEÁNICA	+0,37	+0,42 ± 0,07	+0,39 ± 0,16	+0,47	+0,41
SUPERFICIE	+0,60 ± 0,05	+0,57 ± 0,08	+0,54 ± 0,15	+0,62	+0,54

1. Tabla. Anomalía en el promedio de la temperatura (°C) e incertidumbre (I.C. 95%) en 2020 en la superficie terrestre, oceánica y combinada relativa al periodo 1981–2010. Fuente: Blunden & Arnd (2021).

El incremento de temperatura en Europa en las últimas décadas es mucho más intenso que en cualquier otro continente (Simmons et al., 2021), siendo el aumento de temperatura cerca de 1°C mayor que el correspondiente aumento global. A pesar de que 2021 en el continente europeo fue mucho más frío que los años precedentes, fue más cálido que la media del periodo de referencia. La temperatura media anual del aire en superficie estuvo solamente 0,15–0,25 °C por encima de la media del periodo 1991–2020 (0,59 °C respecto al periodo 1981–2010), lo que le sitúa justo fuera de los diez años más cálidos registrados. Sin embargo, la clasificación de los años en función de su temperatura individual tiene menor relevancia comparado con el estudio de las tendencias a largo plazo, ya que, las fluctuaciones anuales pueden ser consecuencia

de la intensidad con la que se dan ciertos fenómenos climáticos como los anteriormente mencionados. Sí es destacable, dentro de estas tendencias a más largo plazo, que los 10 años más cálidos en Europa han tenido lugar todos ellos desde el año 2000, con los siete años más cálidos en el periodo 2014–2020 (C3S, 2022). El año 2021, pese a no encontrarse entre los años más cálidos, registró el verano más cálido en Europa, con contrastes importantes entre las regiones mediterránea y del norte de Europa. Así, se registraron temperaturas récord sobre todo en la región mediterránea, como las registradas durante la ola de calor que tuvo lugar entre finales de julio y principios de agosto en esta región, superándose en la isla de Sicilia el máximo histórico europeo anterior (48,8 °C, 0,8 °C por encima del registro máximo anterior).



6. Fig. Anomalía de la temperatura superficial del aire en 2021 relativa al periodo 1981–2010. Fuente: CCS/ECMWF.

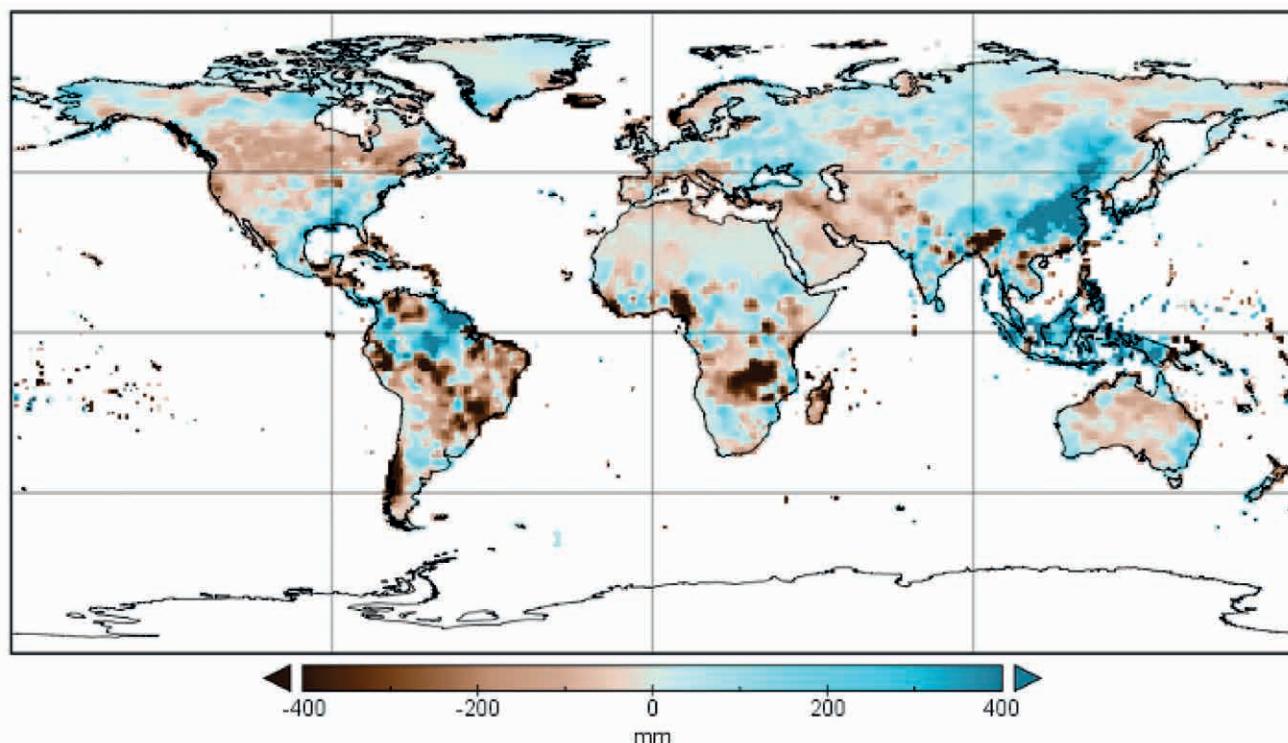
2.3. PRECIPITACIÓN

El cambio climático inducido por la acción humana ha provocado cambios detectables en el ciclo mundial del agua desde mediados del siglo XX, provocando su aceleración (IPCC-AR6). La precipitación es una variable climática esencial y un componente clave del ciclo hídrico global.

Los efectos del aumento de la concentración atmosférica de GEI sobre el ciclo hidrológico son más complejos de analizar que en el caso de la temperatura ya que su mayor variabilidad, tanto espacial como temporal, dificultan el estudio de su tendencia. Existen diferencias entre las distintas bases de datos debido a que su precisión y sensibilidad dependen de la cobertura espacial de los da-

tos, su calidad o los métodos de interpolación y promedio utilizados. Sin embargo, las últimas evidencias sí señalan un aumento probable de la precipitación global sobre tierra desde 1950, con un aumento más rápido desde 1980 y una probable contribución humana a los patrones de cambio, particularmente para los aumentos de la precipitación en latitudes altas del hemisferio norte (IPCC-AR6).

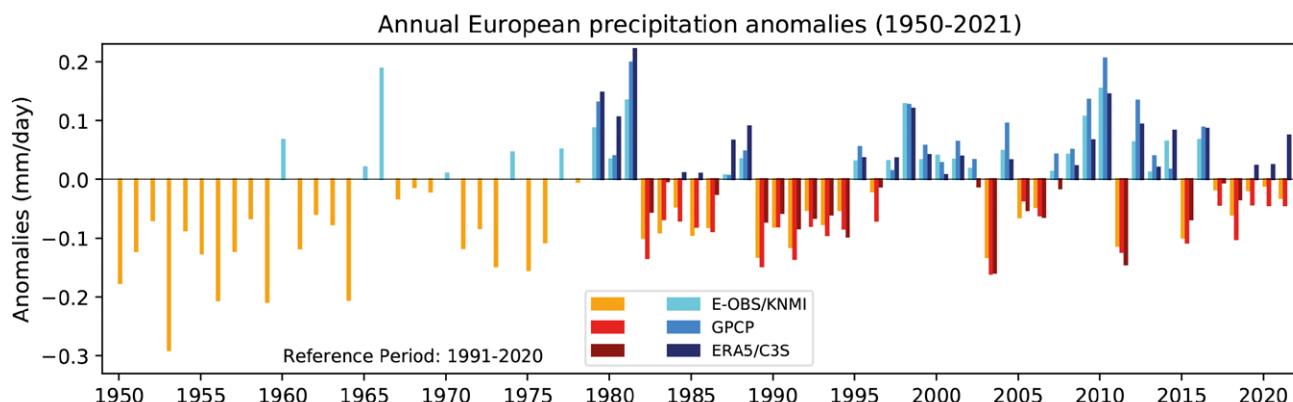
El fenómeno de 'La Niña' se asocia en ocasiones con cambios en el patrón de las precipitaciones a nivel mundial, pudiéndose asociar las anomalías observadas con este fenómeno climático, sobre todo aquellos ocurridos durante el primer semestre del año 2021.



7. Fig. Anomalía de precipitación media anual (mm) en 2021 (enero-septiembre) con respecto al periodo de referencia 1951-2000. Fuente: Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones, Deutscher Wetterdienst, Alemania.

A nivel global, durante el 2021 en zonas como Europa central y este, el norte de Sudamérica, el sureste asiático y las costas este y oeste de Australia las precipitaciones se situaron por encima de la media respecto al periodo

1961-1990. En el otro extremo, el oeste de EEUU, el sur de Sudamérica, el norte de África y Oriente Medio padecieron importantes déficits de precipitación con respecto a los valores medios de periodos anteriores.



8. Fig. Anomalía de la precipitación anual europea respecto al periodo de referencia 1991-2020. Fuente: C3S/KNMI/DWD/ECMWF (2022).

En Europa no se observan tendencias significativas en la precipitación anual para el periodo 1950–2021. En el último año, 2021, la precipitación anual fue normal, siendo la anomalía entre -0.04 y 0.07 mm día $^{-1}$ respecto al periodo de referencia 1991–2020. Sin embargo, se registraron variaciones mensuales importantes. Así, por ejemplo, durante el verano 2021 tuvieron lugar eventos de precipitación intensa que dieron lugar a inundaciones severas con gran impacto a nivel económico y humano en países como Alemania, Bélgica, Luxemburgo o Países

bajos. A pesar de que no se puede atribuir este evento local al cambio climático inducido por la actividad humana, los estudios de atribución sí que han identificado que el cambio climático incrementa la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones extremas como las ocurridas en este evento entre 1,2 y 9 veces más (Kreinkamp et al., 2021). Según el profesor Taalas, “existen cada vez más pruebas científicas que indican que algunos de estos fenómenos llevan el sello del cambio climático causado por las actividades humanas”.

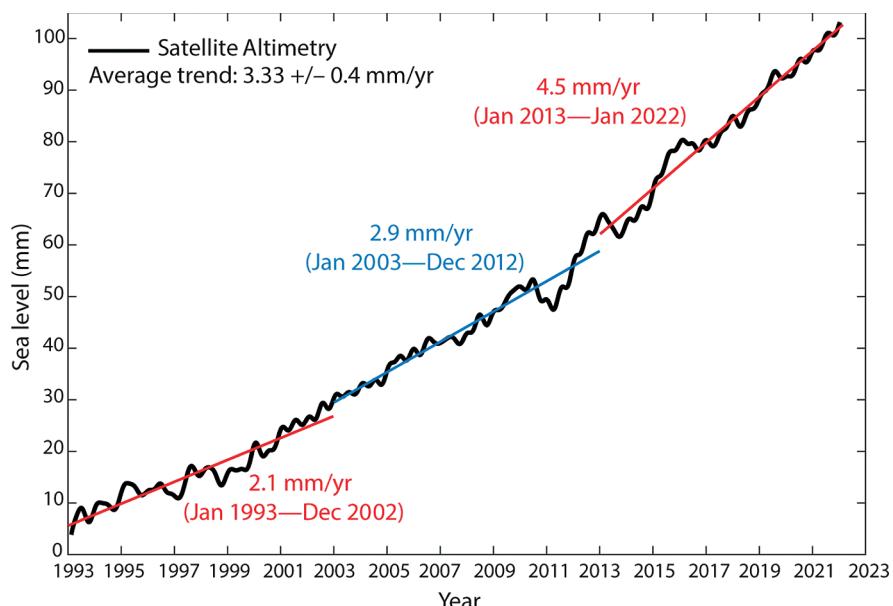


2.4. NIVEL DEL MAR

El nivel del mar es un indicador directo del calentamiento global (IPCC, 2021), ya que refleja las pérdidas de los casquetes polares y las masas glaciares, así como la expansión térmica del agua, que se dilata con el calor. Alrededor del 45% de este aumento en el periodo 1993–2018 se puede atribuir a la expansión térmica del océano, mientras que el 43% se atribuyen al deshielo terrestre, incluyendo los glaciares y las masas de hielo polares, y el 10% restante a cambios en las reservas de agua, respectivamente. Se ha estimado que, como mínimo, el 49% del incremento observado durante el siglo XX

puede ser ya atribuido a causas antropogénicas (Strauss et al., 2021).

El nivel medio del mar global aumentó en 20 [15 a 25] cm durante el periodo 1901 a 2018, con una tasa de aumento media de 1,7 [1,3 a 2,2] mm año⁻¹. Esta tasa de ascenso se ha acelerado desde los años sesenta, siendo durante el periodo 2006–2018 de 3,7 [3,2 a 4,2] mm año⁻¹. La actividad humana ha sido muy probablemente la principal causa del aumento del nivel medio global desde 1970 (IPCC-AR6, 2021).



9. Fig. Evolución del nivel medio del mar entre enero de 1993 y enero de 2022.
Fuente: WMO (2022).

Durante el año 2021 el nivel del mar alcanzó un nuevo récord, siendo el noveno año consecutivo en el que el nivel medio global del mar superó el del año anterior y, además, alcanzó por primera vez un valor medio superior a los 100 mm (101 ± 4 mm en septiembre de 2021).

De acuerdo a los datos satelitales, la tasa de ascenso del nivel del mar a escala global para el periodo 1993–2021 es de 3.2 ± 0.4 mm año⁻¹. Esta tasa se ha incrementado en el periodo 2013–2021 en 1.5 mm año⁻¹ con respecto al periodo comprendido entre 2003–2012, debido principalmente a la pérdida acelerada de masa de hielo (WCRP Global Sea Level Budget Group, 2018).

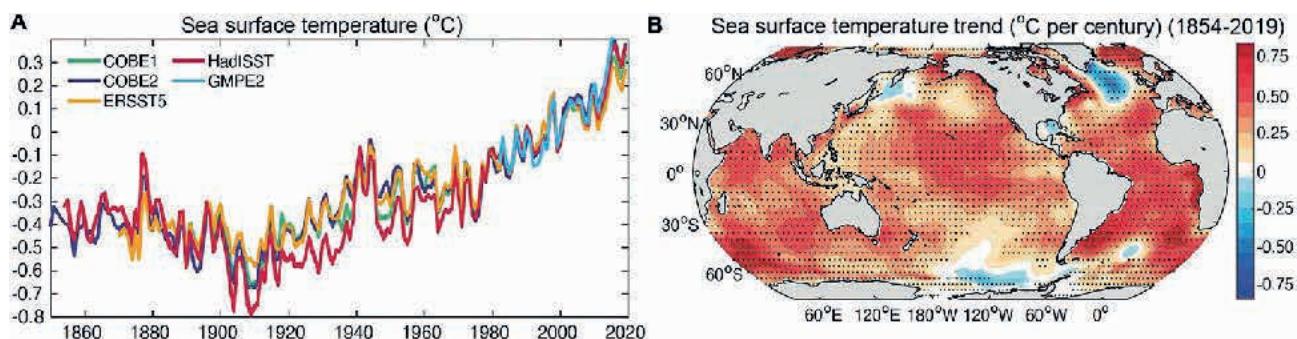
Los cambios observados a nivel regional pueden diferir de los cambios globales. A pesar de que el incremento medio global entre 1993 y 2021 es de unos 9 cm, en algunas regiones este incremento ha alcanzado valores entre 15 y 20 cm. En Europa, en la mayoría de las zonas costeras la subida del nivel del mar se encuentra entre 2 y 4 mm año⁻¹ (Nichols et al., 2021). Sin embargo, esta tasa puede no ser representativa de los cambios observados en el litoral como consecuencia de las distorsiones de los procesos locales (ej. el remonte del oleaje) y las resoluciones de estas medidas satelitales (25 km aproximadamente).

2.5. TEMPERATURA Y CALOR DEL OCÉANO

Durante las últimas cuatro o seis décadas, es prácticamente seguro que el océano global se ha calentado, siendo la influencia humana el principal motor de cambio desde 1970 (IPCC-AR6, 2021). Los datos de temperatura de la superficie terrestre oceánica indican un incremento de 0,88 [0,68 a 1,01] °C desde principios del siglo XX (IPCC-AR6, 2021), y unos 0,6 °C en los últimos 40 años (C3S, 2022), a una tasa promedio de calentamiento de 0,08°C década⁻¹ desde 1880, duplicándose desde 1981 a 0,19°– 0,20°C década⁻¹.

La temperatura media superficial global del océano en 2021 fue $0,83 \pm 0,05$ °C superior a la del periodo 1850–

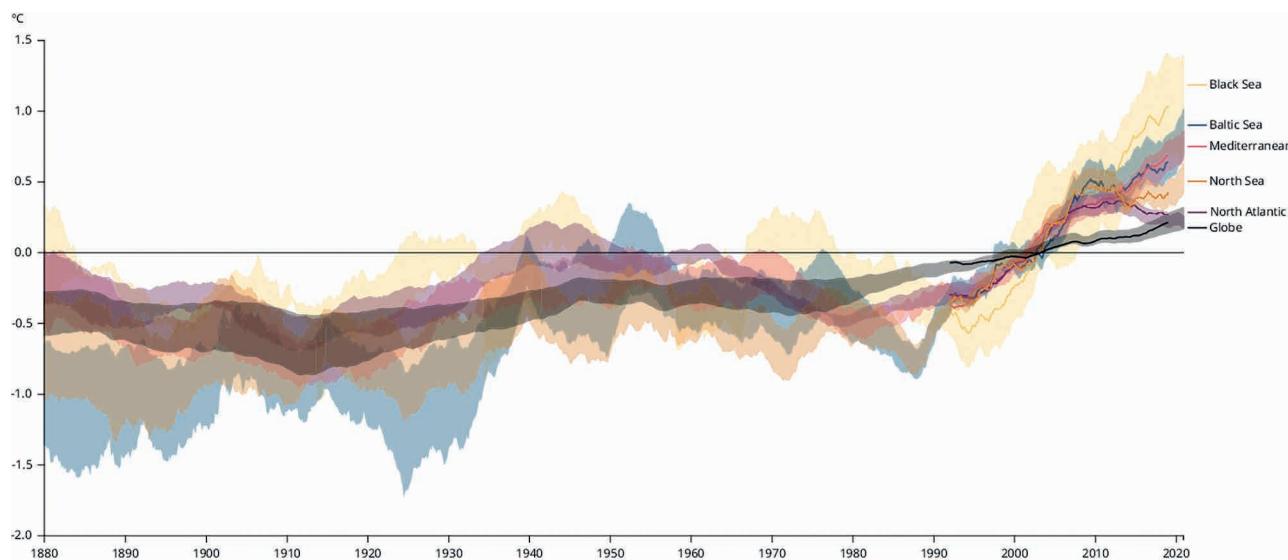
1900, siendo el séptimo año más cálido desde 1850 (Berkeley Earth, 2022). La anomalía respecto al periodo de referencia más próximo (1991–2020) fue de +0,13 °C. Los últimos ocho años (2014–2021) son los ocho años más cálidos desde 1891. En 2021 la temperatura superficial global del océano fue ligeramente inferior a la del año 2020, condicionado por ‘La Niña’, lo que contribuyó a mantener la temperatura superficial media (tierra y océano) inferior a la de años previos. La tendencia media global de calentamiento es de $0,062 \pm 0,013$ °C década⁻¹ en el periodo 1900–2019. La tasa de calentamiento se ha acelerado durante la última década a $0,28 \pm 0,07$ °C década⁻¹, 4,5 veces mayor que la tendencia de largo plazo (Garcia-Soto et al., 2021).



10. Fig. (A) Evolución de la temperatura superficial media global para los distintos modelos en el periodo 1850–2020 y (B) tendencias de las temperaturas superficiales en el periodo 1854–2019. Fuente: Garcia-Soto et al. (2021).

En Europa, desde 1870 todos los mares europeos vienen sufriendo un calentamiento. Entre 1982 y 2018, la temperatura del mar aumentó alrededor de $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ década $^{-1}$ en el Atlántico norte y alrededor de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ dé-

cada $^{-1}$ en el Mar Negro. Estos incrementos en la temperatura han venido acompañados, además, del incremento de la frecuencia e intensidad de las olas de calor marinas.



11. Fig. Anomalía de la temperatura media superficial (1870-2020) en los distintos mares europeos. Fuente: European Environment Agency.

Sin embargo, este incremento de la temperatura y calentamiento no se limita únicamente a la superficie, sino que se extiende a todas las capas de la columna de agua, incluso entre los 4000 y 6000 metros de profundidad. Alrededor del 90% del calor acumulado dentro de los sistemas terrestres se encuentra en los océanos (Rhein et al., 2013), variable esta que se cuantifica mediante el contenido calórico del océano. Este es un indicador que, al no fluctuar tanto como la temperatura terrestre, permite evaluar de manera más precisa el calentamiento gradual

de origen antropogénico, siendo un indicador fundamental del calentamiento global (von Schuckmann et al., 2016; Wijffels et al., 2016; Cheng et al., 2018a; Trenberth et al., 2018).

El contenido de calor a nivel global en los primeros 2000 m continuó incrementándose en 2021 alcanzando un nuevo récord histórico, $14 \pm 9\text{ ZJ}^1$ mayor que en 2020. La tasa media de incremento es de en torno a $5,2 \pm 1,0\text{ ZJ año}^{-1}$ en el periodo 1958-2021 (Cheng et al., 2022).

TENDENCIA DEL CONTENIDO EN CALOR DEL OCÉANO			
FUENTE	0-700 m	700-2000 m	2000-6000 m
MRI/JMA	$0,37 \pm 0,07$	$0,24 \pm 0,05$	
CSIRO/ACE/CRC/IMAS/UTAS	$0,39 \pm 0,12$		
PMEL/JPL/JIMAR	$0,39 \pm 0,05$	$0,31 \pm 0,05$	
NCEI	$0,39 \pm 0,06$	$0,19 \pm 0,05$	
MET OFFICE HADLEY CENTRE	$0,38 \pm 0,12$	$0,15 \pm 0,04$	
IAP/CAS	$0,41 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,01$	
PURKEY & JOHNSON			$0,06 \pm 0,03$

2. Tabla. Tendencia del contenido de calor en el océano (W m^{-2}) de acuerdo a los datos proporcionados por diferentes grupos de investigación. Fuente: Blunden & Boyer (2021).

$1\text{ ZJ} = 10^{21}\text{ J}$

La tendencia del calentamiento del océano para el periodo 1993–2020 varía entre $0,37 \pm 0,07 \text{ W m}^{-2}$ y $0,41 \pm 0,04 \text{ W m}^{-2}$ en la capa de 0–700 m. Para el mismo periodo, la tendencia de calentamiento para la capa 700–2000 m varía entre $0,15 \pm 0,04$ a $0,31 \pm 0,05 \text{ W m}^{-2}$. En cualquier caso,

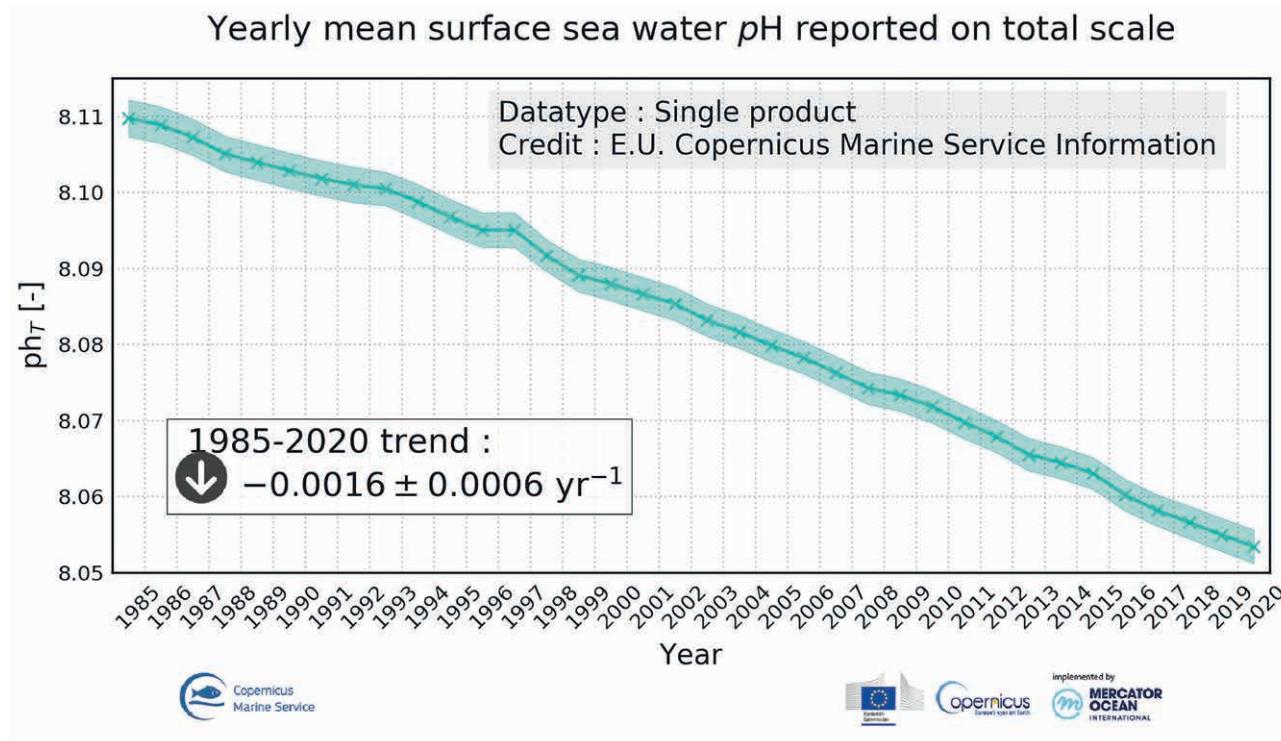
sumando estas dos capas más las estimaciones para la capa de 2000–6000 m pese a que los periodos de tiempo son ligeramente diferentes a los indicados anteriormente, la tasa global de ganancia de calor del océano se encuentra actualmente entre $0,58 - 0,78 \text{ W m}^{-2}$ (Blunden & Boyer, 2021).

2.6. CARBONO Y PH DEL OCÉANO

La acidificación del océano puede definirse como la reducción en el tiempo del pH del océano. El océano se acidifica hoy día un ritmo sin precedentes en los últimos 66 millones de años (Zeeve et al., 2016) y es prácticamente seguro que la principal causa es la captación de CO_2 de origen antropogénico (IPCC-AR6, 2021), dado que el océano ha capturado aproximadamente una cuarta parte

de las emisiones de CO_2 desde el comienzo de la era industrial (Gruber et al., 2019).

La acidificación ha provocado que el pH haya disminuido en $-0,016 \pm 0,006$ unidades década $^{-1}$ o 0,056 unidades durante los últimos 35 años, situándose a día de hoy 0,1 unidades por debajo de los valores previos a la era industrial.



12. Fig. pH medio global de la superficie del océano para el periodo 1985–2020. Fuente: Copernicus Marine Service Information (2022).

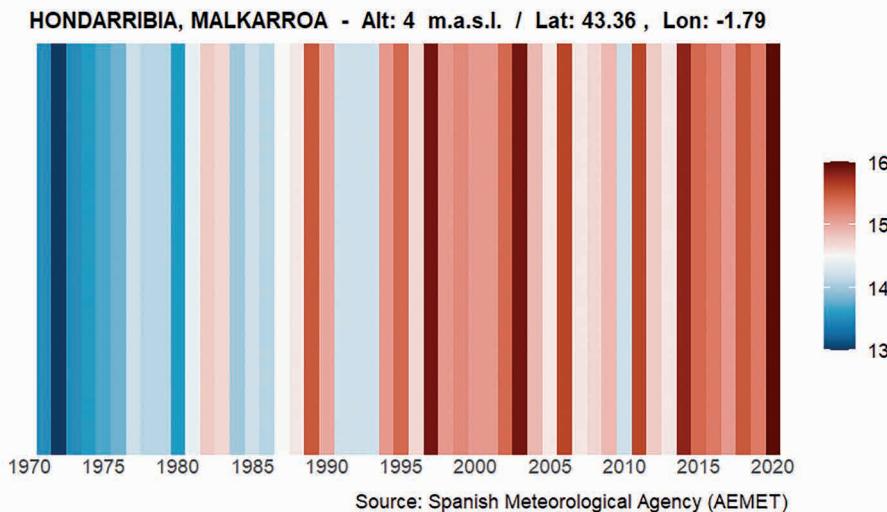




3.1. TEMPERATURA

La temperatura media anual en Gipuzkoa presenta una ligera tendencia positiva desde el año 1971 (0,24°C década⁻¹). El calentamiento no es uniforme a lo largo de la serie, así la anomalía de temperatura respecto a la media del periodo 1981–2010 muestra tres períodos diferenciados. El primer periodo, hasta la década de los 80, está marcada por temperaturas en torno a 1°C inferiores a este periodo medio, seguida de un periodo

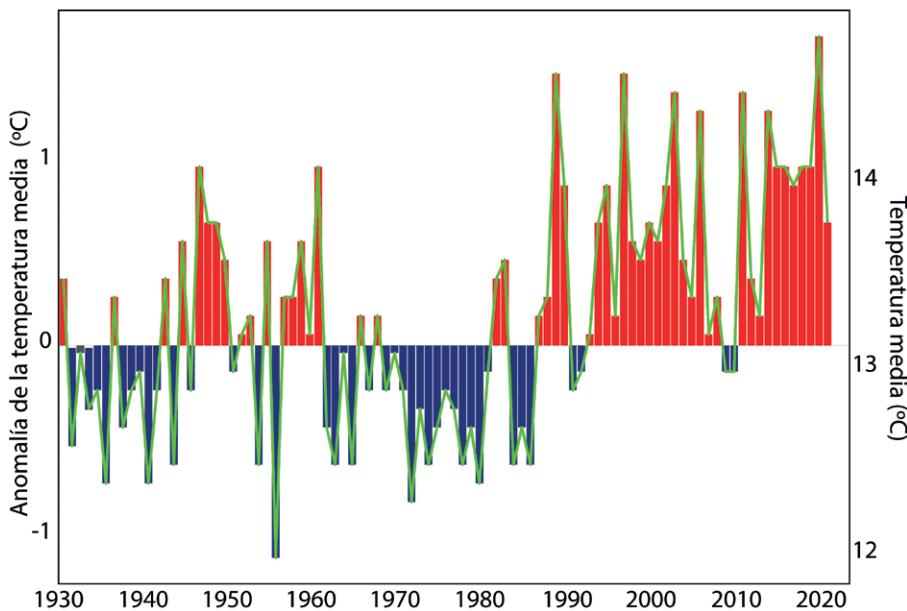
cálido en la década de los 90, con alternancia de algún año frío y con el máximo calentamiento para el año 1997. Entre 2001 y 2015 se produce un periodo ligeramente más frío, mientras que a partir de 2016 las temperaturas vuelven a ser claramente superiores a la temperatura media. Así, la temperatura media de los últimos diez años ha sido en torno a 0,5°C superior a la temperatura (1981–2010).



13. Fig. Evolución de la temperatura media anual (°C) en el observatorio de Hondarribia-Malkarroa para el periodo 1970–2021.

ESCENARIOS II			IGUELDO		HONDARRIBIA-MALKARROA	
DÉCADA	PROMEDIO	ANOMALÍA	PROMEDIO	ANOMALÍA	PROMEDIO	ANOMALÍA
1971-1980	12,53	-0,92	12,65	-0,98	13,71	-1,12
1981-1990	13,41	-0,03	13,31	-0,32	14,58	-0,25
1991-2000	13,66	+0,21	13,59	-0,04	14,91	+0,08
2001-2010	13,27	-0,18	13,71	+0,17	14,99	+0,16
2011-2021 (2011-2016)	(13,70)	(+0,31)	14,06	+0,52	15,33	+0,50

3. Tabla. Promedio de la temperatura media y anomalía (°C) respecto al periodo de referencia 1981–2010 para los datos climatológicos (ESCENARIOS II, KLIMATEK 2017, URBAN KLIMA 2050) y la temperatura registrada en los observatorios meteorológicos de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa.



14. Fig. Evolución de la anomalía de temperatura media anual y de la temperatura media anual del periodo 1930–2021 en la estación de Igueldo. Fuente de datos: AEMET.

Al analizar las series históricas más largas del territorio, las correspondientes a los observatorios de Igueldo y Hondarribia-Malkarroa, se observa que la tasa de variación de la temperatura media anual es de $0,11^{\circ}\text{C}$ y $0,31^{\circ}\text{C}$ década $^{-1}$ respectivamente, considerando series temporales completas en cada uno de ellos (1929–2020 y 1956–2020). La serie histórica de las temperaturas registradas en el observatorio de Igueldo muestra un aumento intenso de la temperatura media, mínima y máxima anual durante las décadas de los 80 y 90 del pasado siglo y una

temperatura más estable durante la primera década del S. XXI, incrementándose de nuevo la temperatura media durante los últimos 5 años. La media móvil de 5 años de la temperatura media indica que todos los valores desde finales del S. XX y durante las dos primeras décadas se encuentran por encima del valor medio (1971–2020). En Hondarribia-Malkarroa también se observa esta tendencia ascendente, con 6 de los años más cálidos en la última década. La tendencia de la temperatura anual media considerando los últimos 17 años es de unos $0,6^{\circ}\text{C}$ década $^{-1}$.

ESTACIÓN	TEMPERATURAS MEDIAS (2012-2021)	TEMPERATURAS MEDIAS (2005-2011)	DIFERENCIA DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS	TENDENCIA
AITZU	$11,91 \pm 0,35$	$11,99 \pm 0,57$	$-0,081 \pm 0,68$	0,22
ALTZOLA	$14,06 \pm 0,73$	$13,31 \pm 0,71$	$0,751 \pm 0,85$	$0,69^+$
AMUNDARAIN	$13,17 \pm 0,46$	$12,79 \pm 0,54$	$0,378 \pm 0,71$	$0,62^+$
BELAUNTZA	$13,66 \pm 0,40$	$13,04 \pm 0,65$	$0,624 \pm 0,72$	$0,71^+$
EREÑOZU	$13,71 \pm 0,38$	$13,18 \pm 0,55$	$0,528 \pm 0,68$	$0,66^+$
ONATI	$13,21 \pm 0,40$	$14,00 \pm 0,91$	$-0,794 \pm 0,81$	$-0,33$
ORDIZIA	$13,75 \pm 0,49$	$12,88 \pm 0,80$	$0,863 \pm 0,80$	0,80
ZIZURKIL	$14,44 \pm 0,38$	$13,82 \pm 0,64$	$0,613 \pm 0,71$	$0,80^+$

4. Tabla. Promedio de la temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) en las estaciones meteorológicas indicadas para los períodos 2005–2011 y 2012–2021 y la tendencia ($^{\circ}\text{C}$ década $^{-1}$) para el periodo 2005–2021. Indica que las tendencias son estadísticamente significativas.

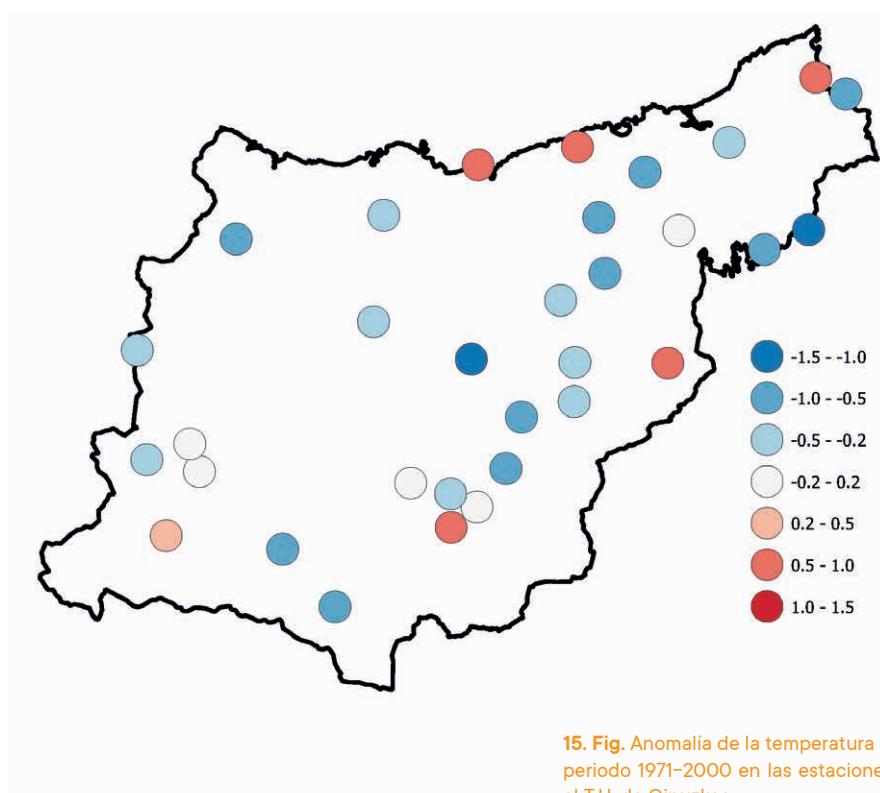
También se ha analizado los valores promedios de la temperatura media anual para dos períodos distintos (2005–2011 y 2012–2021) para algunas de las estaciones meteorológicas correspondientes a la red de estaciones de Euskalmet, con series históricas más cortas. De las ocho estaciones analizadas, en solo dos de ellas, el promedio durante la última década (2012–2021) es inferior al periodo 2005–2011, lo que indica que pese a que se está produciendo un calentamiento, éste no está siendo uniforme en todo el T.H. Además, si se analiza la tendencia para todo el periodo, se observa que únicamente en una sola de las estaciones la tendencia es negativa, si bien esta tendencia negativa resulta estadísticamente no significativa. El resto de las estaciones analizadas,

muestran tendencias positivas con una tasa de aumento de la temperatura media comprendida entre 0,22 y 0,80 °C década⁻¹, siendo estos valores estadísticamente significativos en 5 de las 7 estaciones que muestran tendencia positiva.

Por otra parte, los datos climatológicos para las distintas comarcas (ESCENARIOS II, KLIMATEK 2017, URBAN KLIMA 2050) indican que, mientras las comarcas de Debabarrena y Debagoiena no muestran un aumento de la temperatura media anual significativo para el periodo analizado, en Donostialdea se observa la tasa de calentamiento más elevada, siendo esta mucho más intensa durante la primavera que en el resto de estaciones.

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
BIDASOA BEHEREA / BAJO BIDASOA	0,30 ⁺	0,06	0,44 ⁺	0,34 ⁺	0,34 ⁺
DEBABARRENA/ BAJO DEBA	0,08	-0,12	0,21 ⁺	0,13	0,07
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	0,07	-0,13	0,23 ⁺	0,11	0,08
DONOSTIALDEA / DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN	0,34 ⁺	0,12	0,52 ⁺	0,36 ⁺	0,33 ⁺
GOIERRI	0,29 ⁺	0,06	0,42 ⁺	0,36 ⁺	0,31 ⁺
TOLOSALDEA / TOLOSA	0,29 ⁺	0,01	0,48 ⁺	0,34 ⁺	0,28 ⁺
UROLA-KOSTALDEA / UROLA COSTA	0,30 ⁺	0,03	0,43 ⁺	0,42 ⁺	0,30 ⁺
GIPUZKOA	0,24⁺	0,00	0,39⁺	0,30⁺	0,24⁺

5. Tabla. Tendencia de la temperatura media (°C década⁻¹) anual y estacional para las distintas comarcas. ⁺ Indica que las tendencias son estadísticamente significativas. Fuente de datos: escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").



15. Fig. Anomalía de la temperatura media anual en 2021 (°C) relativa al periodo 1971-2000 en las estaciones meteorológicas de referencia en el T.H. de Gipuzkoa.

En 2021, la temperatura media anual registrada en las estaciones meteorológicas del territorio, fue de 13,2 °C, aproximadamente 0,3°C por debajo de la temperatura media (1981-2010), estando lejos de los máximos registrados en 2014 y 2011. Las anomalías respecto al periodo de referencia (1981-2010) fueron negativas en la mayoría de

estaciones, entre -1,5°C y -0,04°C, registrándose anomalías positivas en puntos del litoral y algunas estaciones del interior, entre +0,2°C y +1,2°C. Sin embargo, es importante destacar que en la última década se han registrado 7 de los años más cálidos y existe una tendencia positiva generalizada.

ESCENARIOS II			IGUELDO		HONDARRIBIA-MALKARROA	
DÉCADA	T MÁXIMA	T MÍNIMA	T MÁXIMA	T MÍNIMA	T MÁXIMA	T MÍNIMA
1971-1980	-0,79	-1,21	-0,75	-1,01	-1,36	-0,86
1981-1990	-0,03	-0,23	-0,14	-0,27	-0,01	-0,46
1991-2000	+0,01	+0,24	-0,01	+0,09	+0,1	+0,08
2001-2010	+0,03	-0,02	+0,16	+0,2	-0,09	+0,4
2011-2021 (2011-2016)	+0,7	+0,4	+0,62	+0,42	+0,18	+0,8

6. Tabla. Anomalía de la temperatura máxima y mínima (°C) respecto al periodo de referencia 1981-2010 para los datos climatológicos (ES-SCENARIOS II, KLIMATEK 2017, URBAN KLIMA 2050) y los registros en los observatorios meteorológicos de Igueldo y Hondarribia-Malkarroa.

Las temperaturas medias máximas y mínimas diarias han aumentando en el periodo 1971-2016, siendo más acusado el ascenso en el caso de las temperaturas mínimas. Para el conjunto del territorio, la climatología para el periodo 1971-2016 (Escenarios II Klimatek, 2017, URBAN KLIMA 2050) revela un ascenso de 0,30°C y 0,36°C década⁻¹ para la temperatura media máxima y mínima, respectivamente, para el periodo 1971-2016. Además, la temperatura media mínima se incrementa más aceleradamente. Este incremento más acusado de la temperatura media mínima anual también se observa en Igeldo y Hondarribia-Malkarroa. De acuerdo a los registros del observatorio de Igeldo, desde el año 1971 hasta la actualidad la temperatura media máxima mensual se ha incrementado en 0,29 °C década⁻¹ y la temperatura media mínima mensual en 0,32 °C década⁻¹. Esta diferencia es más acusada en Hondarribia-Malkarroa para este mismo periodo 1971-2021 en la que la temperatura media máxima y mínima presentan una tendencia de 0,29 y 0,41 °C década⁻¹, respectivamente.

En 2021 las temperaturas medias máxima y mínima diaria fueron de 17,8 °C y 9,4 °C, respectivamente. Estos valores están -0,01 °C y +0,2 °C por debajo y por encima, respectivamente de la media (1981-2010). La temperatura media máxima diaria estuvo -0,6 °C por debajo de la media de la última década, mientras que la media mínima diaria fue +0,1 °C superior a la media de la última década.

El 2021 se inició con un invierno (diciembre 2020-febrero 2021) con temperaturas medias cálidas, alrededor de 0,7°C por encima de lo normal (1981-2010), si bien las temperaturas medias a lo largo del trimestre fueron muy heterogéneas. Mientras diciembre de 2020 presentó una temperatura media normal, enero de 2021 se caracterizó por temperaturas frías (-1,0 °C por debajo del valor normal del periodo 1981-2010) con una secuencia de heladas sobre todo en las zonas del interior. Por el contrario, febrero se caracterizó por unas temperaturas medias anormalmente cálidas (+3,4 °C por encima del valor medio 1981-2010), alcanzándose valores similares a los registros históricos de 1990. Por ejemplo, en Arrasate el día 19 de febrero se registró una temperatura máxima de 21,6°C. Por otro lado, en el litoral o en las zonas cercanas, las temperaturas mínimas alcanzadas fueron anormalmente elevadas, destacando los 18,2°C registrados en Behobia o los 17,3°C de Lasarte-Oria.

Los meses primaverales, en general, aunque con temperaturas medias próximas a valores normales, mostraron también diferencias en cada uno de los meses, de manera que marzo se comportó de manera cálida (+0,5°C del valor normal), abril normal y mayo fría (-0,6 °C del valor normal). El día 30 de marzo en algunas estaciones del li-

toral guipuzcoano se alcanzaron temperaturas récord en temperatura máxima nunca registradas anteriormente en un mes de marzo en el siglo XXI (Altzola 28,6 °C, Oiartzun 28,0 °C, Ereñozu 17,9 °C, Zarautz 27,6 °C). Las temperaturas mínimas fueron también anormalmente altas para la época. Así, el día 24 de abril se superaron las efemérides de temperaturas mínimas más altas para dicho mes en el siglo XXI, alcanzándose valores de 15 °C, 14,4 °C y 13,9 °C en las estaciones de Estanda, San Prudentzio y Aitzu, respectivamente.

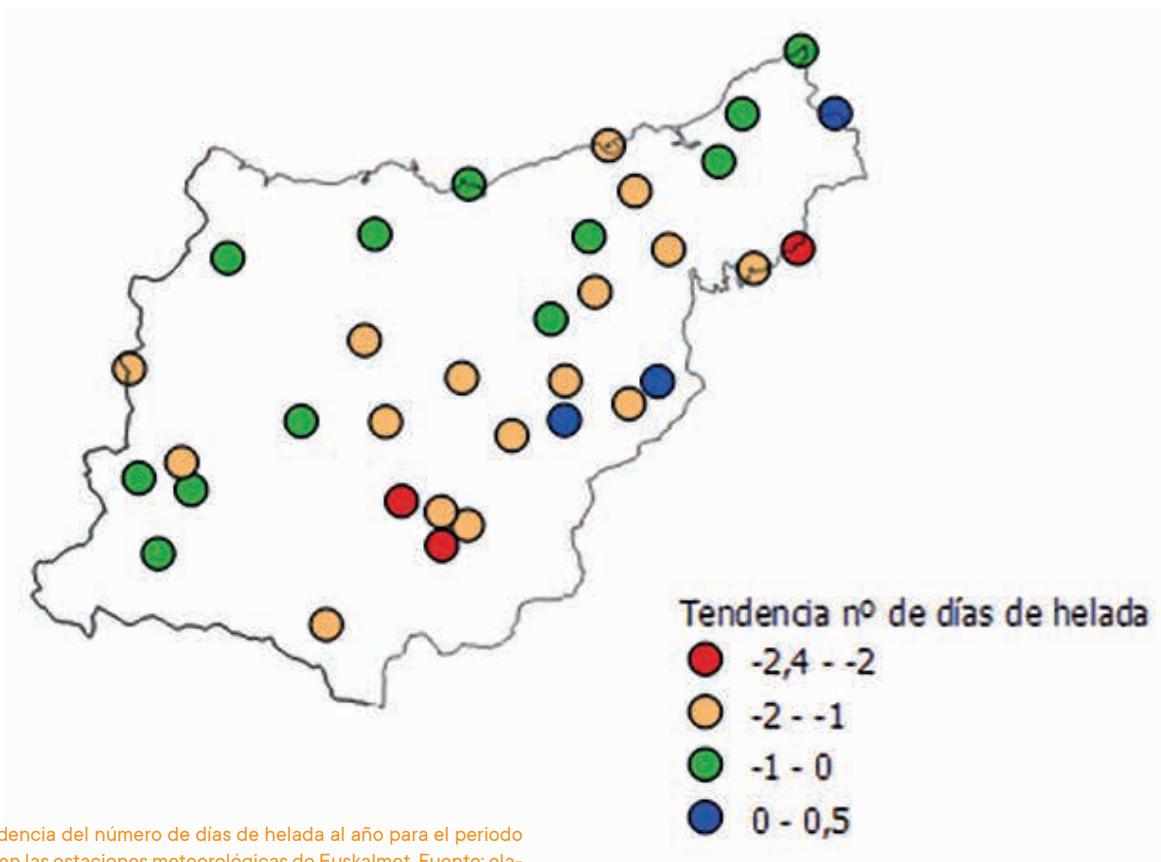
Los datos históricos recogidos en las estaciones de Euskalmet constatan que, entre 2012 y 2020, los veranos meteorológicos (periodo que comprende los meses de junio, julio y agosto) han sido más cálidos en la CAPV en comparación con el periodo comprendido entre 1981 y 2010. En cambio, el verano de 2021 se caracterizó por ser más frío de lo habitual, con una temperatura media de 18,1 °C, -0,5 °C por debajo de lo normal. Junio fue más cálido de lo normal (+0,4°C) pero el resto del verano las temperaturas fueron frías o muy frías, especialmente en el litoral (anomalías negativas cercanas a -1,0 °C). La temperatura máxima absoluta observada fue de 34,4 °C en la estación de Elgoibar, valor este considerablemente inferior a los 42,2°C registrados en el observatorio de Hondarribia-Malkarroa el año anterior. Asimismo, la insolación también fue entre un 7%-10% menor de lo habitual.

La temperatura media del otoño fue de 13,8 °C, prácticamente el promedio climatológico 1981-2010 (anomalía de +0,1 °C). Septiembre fue un mes muy cálido (+1,2 °C por encima del valor normal 1981-2010), mientras que octubre, con una temperatura media de 14,0 °C presentó valores normales, y noviembre fue muy frío, con una temperatura media -1,4°C por debajo del valor climatológico normal.

Además del incremento de las temperaturas medias, máximas y mínimas diarias, el número de días calidos y noches tropicales también presentan una tendencia creciente. A nivel de Gipuzkoa, el incremento del número de noches tropicales desde 1971 ha sido de 0,4 noches década⁻¹ (p-valor = 0,001) desde el año 1971. Este incremento se observa en todas las comarcas del territorio siendo además, estadísticamente significativas (p-valor<0,05) en 5 de las 7 comarcas del territorio (salvo en Debabarrena y Debagoiena). El incremento del número de días calidos es significativo en todas las comarcas, y presenta una tendencia de +0,3 días década⁻¹. La frecuencia de las olas de calor también viene incrementándose desde la década de los años 70, a un ritmo de 0,37 días década⁻¹. En 2021 el número de noches tropicales fue inferior a las del año previo 2020 y también inferiores al número de noches tropicales del periodo de referencia 1981-2010. El número de días calidos en 2021 fue el más bajo de la última década.

En paralelo con el incremento de las noches tropicales en verano, también ha descendido el número de días de helada en invierno a un ritmo medio de $-1,3$ días década^{-1} en el conjunto del territorio. Este descenso es estadísticamente significativo en 18 de las 34 estaciones que Euskalmet gestiona en Gipuzkoa. Por comarcas, el descenso

más acusado y significativo de este indicador se está produciendo en las comarcas del Goierri ($-2,5$ días década^{-1} , p -valor = 0,02) y Bajo Bidasoa/Bidasoa Beherea ($-1,7$ días década^{-1} , p -valor = 0,02). En promedio, en 2021 se registraron 9 días de helada, 5 días menos que la media del periodo 1981–2010.



16. Fig. Tendencia del número de días de helada al año para el periodo 2005–2021 en las estaciones meteorológicas de Euskalmet. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Euskalmet.

3.2. PRECIPITACIÓN

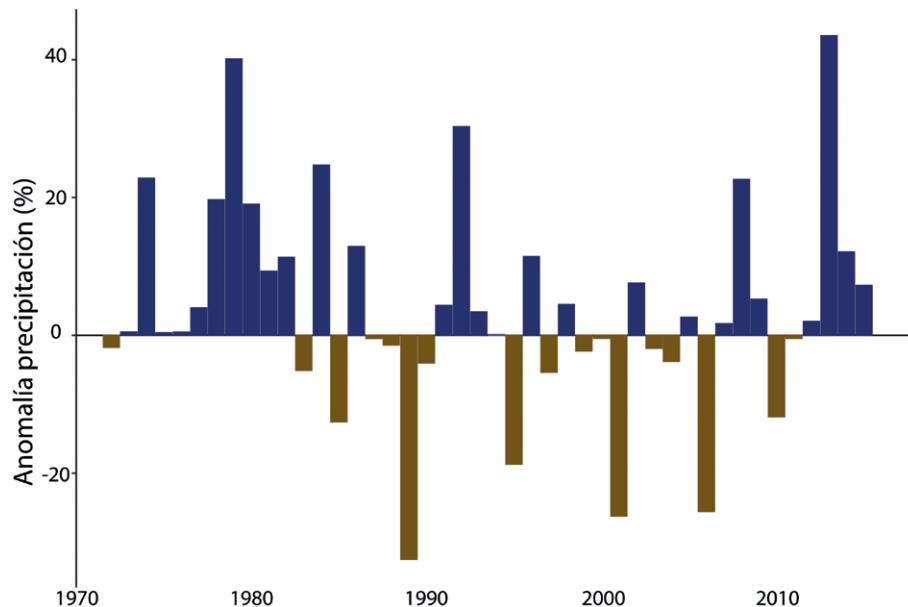
La precipitación, y los indicadores calculados a partir de esta variable, como número de días húmedos, número de días con precipitación intensa o muy intensa o el máximo de precipitación acumulado en un día, no presentan una tendencia significativa en el periodo analizado, 1971–2021. Excepcionalmente, algunas de las comarcas del territorio y en determinadas estaciones del año, presentan tendencias significativas para determinadas variables. Por ejemplo, al analizar las series completas de los observatorios de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, se observa una tendencia creciente significativa en la precipitación acumulada anual en Hondarribia-Malkarroa (85,3 mm década⁻¹, p-valor=0,04), pero no así en Igeldo (39,7 mm década⁻¹, p-valor=0,2). Al analizar series más cortas, que van desde los 25 a los 19 años (disponibles en la DGOH-DFG), se observan tendencias en general crecientes en la precipitación acumulada anual y significativas en

algunos pluviómetros del territorio como Urkulu, Endara o Aizarnazabal, con alguna estación mostrando tendencias negativas no significativas. Estos análisis de series más cortas pueden estar influenciados por el ligero incremento que se observa en la precipitación acumulada anual durante la última década.

No se observa ninguna tendencia clara en la evolución de la anomalía de precipitación media diaria respecto al periodo medio de 1981–2010 en el periodo 1971–2016. Se pueden diferenciar tres periodos, el primero más húmedo hasta 1985 cuando las precipitaciones son en general superiores a la media, un periodo donde se alternan valores medios con algunos años más secos y los últimos 10 años donde la precipitación es ligeramente superior al valor medio y similares a los registrados entre los años 1975–1985.

ESCIENARIOS II			IGUELDO		HONDARRIBIA-MALKARROA	
DÉCADA	PROMEDIO	ANOMALÍA	PROMEDIO	ANOMALÍA	PROMEDIO	ANOMALÍA
1971-1980	1.678,6	10,8%	1.649,7	8,0%	1.808,1	9,6%
1981-1990	1.518,9	0,2%	1.511,3	-1,0%	1.665,1	1,0%
1991-2000	1.557,0	2,7%	1.533,5	0,4%	1.741,3	5,6%
2001-2010	1.470,9	-2,9%	1.537,1	0,6%	1.541,7	-6,5%
2011-2020 (2011-2016)	1.683,3	11,1%	1.690,4	10,7%	1.782,4	8,1%
2021			1.676,6	9,8%	1.851,4	12,3%

7. Tabla. Promedio y anomalía de la precipitación anual acumulada (mm) respecto al periodo de referencia 1981–2010 para los datos climáticos (ESCIENARIOS II, KLIMATEK 2017, URBAN KLIMA 2050) y en los observatorios de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa.



17. Fig. Evolución de la precipitación media diaria relativa a la media anual del periodo 1981-2010. Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").

A nivel ya comarcal, los datos climatológicos nos indican que la precipitación media diaria anual en el periodo 1971-2016 presenta una ligera disminución en la región costera, siendo este descenso únicamente significativo ($p\text{-valor}<0,05$) en la comarca de Urola-Kosta. El descenso de la precipitación media diaria es más intenso durante la primavera, con descensos significativos en Donostialdea, Urola-Kosta y Debabarrena. Durante el otoño, sin

embargo, se observa un incremento generalizado de la precipitación sobre todo en las comarcas de Tolosaldea y Urola-Kosta, aunque este no es estadísticamente significativo. El número de días húmedos ($Pr\geq 1\text{ mm}$) tampoco muestra ninguna tendencia para el conjunto del territorio. Sin embargo, es muy significativo el descenso anual de dicha variable en Debabarrena, sobre todo durante la primavera.

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
BIDASOA BEHEREA / BAJO BIDASOA	-0,06	-0,05	-0,21	0,02	0,14
DEBABARRENA/ BAJO DEBA	-0,13	-0,09	-0,38*	-0,01	0,13
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	-0,05	0,07	-0,20	-0,02	0,06
DONOSTIALDEA / DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN	-0,07	-0,10	-0,30*	-0,01	0,14
GOIERRI	0,09	0,12	-0,10	0,00	0,09
TOLOSALDEA / TOLOSA	0,03	0,05	-0,18	-0,01	0,32
UROLA-KOSTALDEA / UROLA COSTA	-0,12*	-0,15	-0,35*	-0,01	0,28
GIPUZKOA	-0,02	0,02	-0,23	-0,10	+0,14

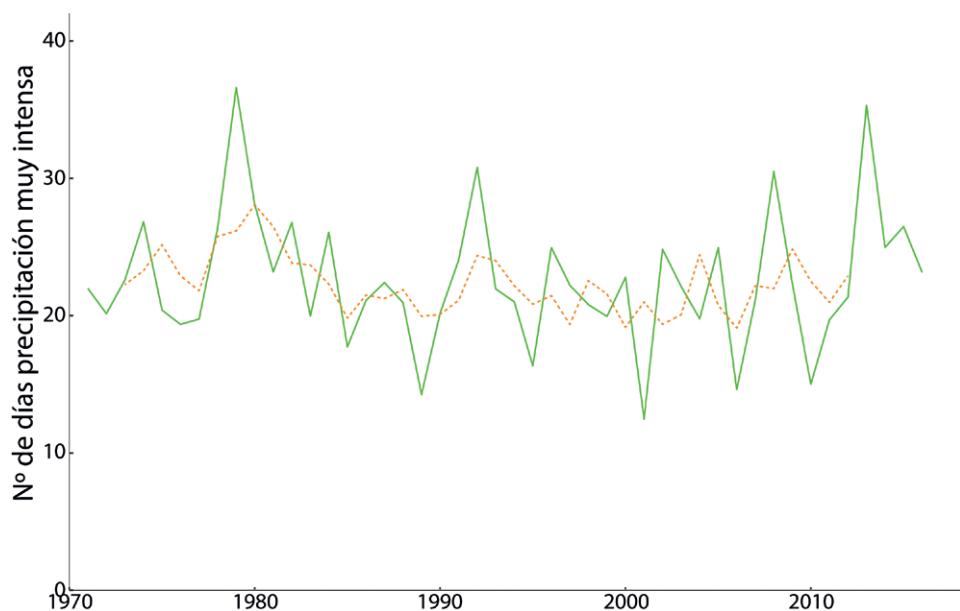
8. Tabla. Tendencia de la precipitación diaria ($\text{mm día}^{-1} \text{ década}^{-1}$) anual y estacional para las distintas comarcas en el periodo 1971-2016. * Indica las tendencias que son estadísticamente significativas ($p\text{-valor}<0,05$). Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
BIDASOA BEHEREA / BAJO BIDASOA	-5,04 ⁺	-1,05	-1,96 ⁺	-0,90	-1,27
DEBABARRENA/ BAJO DEBA	-39,04 ⁺	-3,20	-29,08 ⁺	-7,89	-3,44
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	-2,23	0,15	-1,94	-0,67	0,45
DONOSTIALDEA / DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN	0,92	0,62	-0,51	0,66	-0,06
GOIERRI	0,04	0,63	-2,04 ⁺	0,18	0,87
TOLOSALDEA / TOLOSA	3,80 ⁺	1,45	-0,16	1,32	1,17
UROLA-KOSTALDEA / UROLA COSTA	-3,06	-0,14	-1,77 ⁺	-0,49	-0,47
GIPUZKOA	-0,49	0,49	-1,63	0,01	0,31

9. Tabla. Tendencia de los días de lluvia $Pr \geq 1 \text{ mm}$ (días década^{-1}) anual y estacional, para las distintas comarcas para el periodo 1971-2016. ⁺ Indica que las tendencias son estadísticamente significativas ($p\text{-valor} < 0,05$). Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").

Con respecto al número de días secos consecutivos y los días de precipitación muy intensa ($Pr \geq 20 \text{ mm}$), no se observa una tendencia clara en el periodo 1971-2016. Tampoco se observan cambios en el máximo anual de precipitación acumulada en 5 días. En cuanto a las precipitaciones extremas, analizadas como el número de días

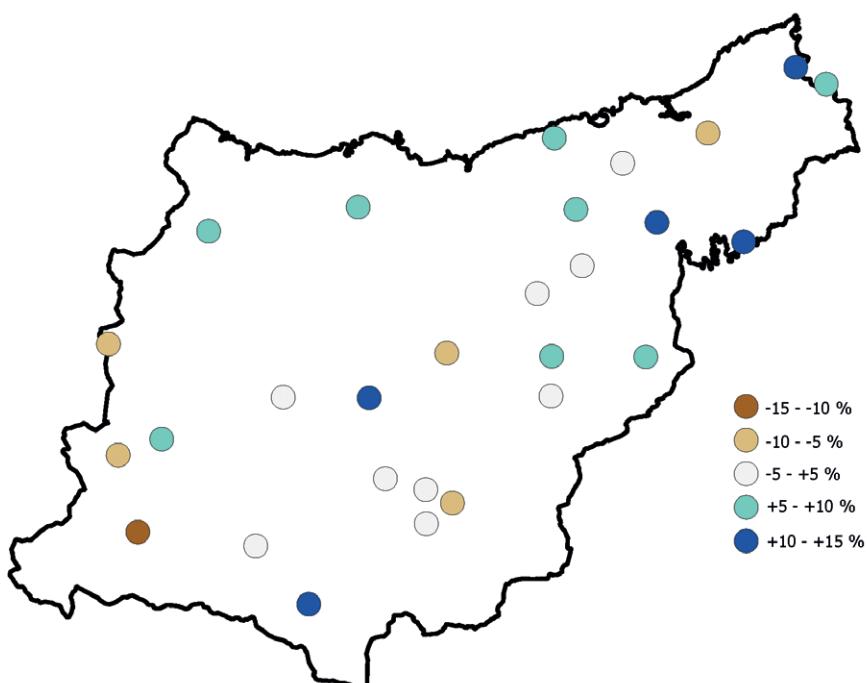
al año que se supera el percentil 75 de la serie correspondiente a cada una de las estaciones meteorológicas analizadas, tampoco se observan en general tendencias significativas salvo en algunas estaciones al este del territorio, como Hondarribia-Malkarroa donde se observa un incremento significativo.



18. Fig. Evolución del número de días con precipitación muy intensa ($Pr \geq 20 \text{ mm}$). La curva naranja corresponde a una media móvil de 5 años. Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").

El año 2021 fue, en cuanto a precipitaciones, un año normal en muchos puntos del territorio y húmedo especialmente en el litoral, siendo la precipitación acumulada anual alrededor de un 2,3% superior al valor medio del periodo de referencia 1981–2010. Los valores más altos se registraron en la zona montañosa del este, limítrofe con

Navarra, donde tres estaciones superaron los 2.000 mm (Eskas 2.712,7 mm, Añarbe 2.247,3 mm y Ameraun 2.092,6 mm), seguido del litoral oriental del territorio. En lo que respecta a lo que va de siglo, estos valores se encuentran en una posición media, lejos de los años más húmedos 2013, 2017 y 2008.



19. Fig. Anomalía (%) de cambio respecto a 1981–2010) de precipitación acumulada en 2021 en las estaciones meteorológicas de referencia en el T.H. de Gipuzkoa.

A nivel del conjunto del territorio, el invierno de 2021 fue extremadamente húmedo (excepto en las comarcas de Tolosaldea y Goierri con valores normales), en relación al periodo 1981–2010, con los mayores acumulados en el noreste del territorio y en estaciones del Alto Deba. En promedio, la precipitación acumulada en las estaciones de referencia fue en torno a un 19,5% superior al periodo medio de referencia. En Donostia-San Sebastián se registró un 25% más de días de lluvia ($Pr \geq 1 \text{ mm}$), aproximadamente 50 días en total.

La primavera, en cambio, se destacó por su carácter extremadamente seco (a excepción del Goierri), siendo la primavera más seca, en al menos los últimos 50 años, en buena parte del territorio. La tasa de precipitación fue aproximadamente la mitad de lo esperable para esta época del año, cerca de un 54% menor (por ejemplo, en la estación de Arrasate se registró un total de 170,3 mm fren-

te a los 378,9 en promedio para el periodo de referencia 1981–2010). El número de días continuos sin precipitación de media en el territorio fue de aproximadamente 20 días, muy superior a los 6 días secos consecutivos de media para el periodo de referencia.

Tras una primavera excepcionalmente seca, el verano se caracterizó por ser húmedo en el litoral oriental y seco en el este del territorio. Junio fue húmedo, registrándose en las comarcas de Donostialdea y Goierri el junio más lluvioso en lo que llevamos de siglo, mientras que los meses de julio y agosto se caracterizaron por ser muy secos en las comarcas de interior y secos en la zona litoral. Así, para el promedio de los meses de verano los valores fueron próximos al valor medio del periodo de referencia 1981–2010 en las estaciones del litoral, mientras que en las estaciones del interior la precipitación acumulada fue en torno a un 25–30% menor.

	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
1971-1980	439,5	491,0	254,7	439,9
1981-1990	519,0	420,8	232,8	337,2
1991-2000	407,7	391,1	247,8	498,7
2001-2010	452,8	379,3	202,9	414,9
2011-2020	489,2	419,7	227,6	477,0
2021	584,0	233,5	234,1	695,2
TENDENCIA (1971-2021) (MM/DÉCADA)	+0,51	-2,1	-1,8	+24,0

10. Tabla. Promedio de la precipitación estacional (mm). Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Irtibatea-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCALA" y "ESCALA II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").

El otoño también fue húmedo, llegando incluso a muy húmedo en la comarca de Urola-Kosta. En relación a lo que llevamos de siglo, el otoño de 2021 fue el tercero más húmedo, solamente por detrás de los otoños del 2019 y 2008. La precipitación acumulada fue aproximadamente un 30% superior a la del periodo de referencia. Cabe destacar los registros históricos de precipitación en el territorio acontecidos entre los días 9 y 10 de diciembre de 2021. Así, los acumulados del mes de diciembre alcanzaron niveles por encima de los 300 mm en algunas estaciones (Eskas 520,8 mm, Añarbe 386,7 mm, Ameraun 371,1 mm, Aixola 333,4 mm, Zegama 332,4 mm). Son valores próxi-

mos a los de diciembre de 2020 cuando se registraron los mayores acumulados del mes de diciembre en lo que llevamos de siglo.

La evapotranspiración no muestra una tendencia clara para el conjunto del territorio. Sin embargo, sí se observan diferencias entre las distintas comarcas. Debagoina, Goierri y Tolosaldea muestran un crecimiento en esta variable en la serie climatológica analizada, siendo especialmente intenso durante la primavera, coincidiendo con los mayores aumentos de la temperatura media.

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
BIDASOA BEHEREA / BAJO BIDASOA	-0,02	-0,02	0,01	-0,04	-0,02
DEBABARRENA/ BAJO DEBA	0,00	-0,01	0,03	-0,01	-0,00
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	0,02 ⁺	-0,00	0,06 ⁺	0,02	0,01
DONOSTIALDEA / DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN	-0,01	-0,02 ⁺	0,02	-0,03	-0,02
GOIERRI	0,02 ⁺	-0,00	0,05 ⁺	0,02	0,01
TOLOSALDEA / TOLOSA	0,04 ⁺	-0,00	0,08 ⁺	0,06 ⁺	0,03
UROLA-KOSTALDEA / UROLA COSTA	0,02	-0,01	0,05 ⁺	0,03	0,01
GIPUZKOA	0,02	-0,00	0,05⁺	0,02	0,00

11. Tabla. Tendencia de la evapotranspiración de referencia (mm año⁻¹) anual y estacional, para las distintas comarcas en el periodo 1971-2016. ⁺Indica las tendencias que son estadísticamente significativas (p -valor < 0,05). Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Iho-be-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").

3.3. CAUDAL DE LOS RÍOS

El caudal medio anual registrado en las estaciones de aforo del territorio presenta, en general, una tendencia creciente en el periodo de análisis, con alguna estación mostrando una tendencia decreciente no significativa. Las estaciones de aforo que presentan tendencias crecientes significativas son San Prudentzio, Aizarnazabal, Agauntza, Elduain, Lasarte, Leitzaran y Oiartzun. Las aportaciones no muestran tendencias significativas en ninguna de las estaciones para el periodo de análisis 2000-

2020. En general las aportaciones y caudales medios de la última década (2011-2020) son un 17% y 19% mayor, respectivamente, que en la década anterior 2001-2010.

Los caudales medios en 2021 fueron, salvo alguna excepción, superiores a los caudales medios de la última década 2011-2020 y los de la década anterior 2001-2010. Se produjeron dos eventos de inundación a final de año.

	APORTACIÓN 2020	PERÍODO	TENDENCIA	CAUDAL MEDIO 2021	PERÍODO	TENDENCIA
SAN PRUDENTZIO	61,77	2000-2020	2,00	3,23	1996-2021	0,30 ⁺
ONATI	88,21	2000-2020	0,76	3,51	1996-2021	0,26
ALTZOLA	329,61	2000-2020	2,24	12,76	1996-2021	0,70
AITZU	48,66	2000-2020	1,24	2,24	2000-2021	0,27
IBAI-EDER	38,88	2000-2020	1,73	1,61	1996-2021	0,17
MATXINBENTA	7,95	2002-2020	-1,11	0,27	2002-2021	-0,01
AIZARNAZABAL	216,84	2000-2020	9,28	8,39	1997-2021	0,70 ⁺
EZTANDA	29,55	2000-2020	-1,00	1,23	1996-2021	0,06
AGAUNTZA	50,68	2000-2020	0,11	1,95	1996-2021	0,15 ⁺
AMUNDARAIN	26,46	2001-2020	-1,06	1,01	2002-2021	0,01
ALEGIA	223,87	2000-2020	7,90	7,21	1996-2021	0,50
ELDUAIN	34,78	2000-2020	2,37	1,30	1996-2021	0,11 ⁺
LEITZARAN	133,11	2000-2020	5,59	0,45	1996-2021	5,0 ⁺
LASARTE	630,22	2000-2020	1,81	25,11	2000-2021	2,92 ⁺
EREÑOTZU	272,98	2000-2020	21,79	10,82	1996-2021	1,15
OIARTZUN	80,20	2000-2020	6,03	7,79	1998-2021	0,38 ⁺

12. Tabla. Aportaciones (Hm^3) en el año 2020 y caudal medio ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) en 2021 y las correspondientes tendencias ($\text{Hm}^3 \text{ año}^{-1}$ y $\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en los períodos indicados en las estaciones permanentes de aforo de DGOH-DFG. ⁺ Indica que las tendencias observadas son significativas.

3.4. TEMPERATURA DEL MAR

Alrededor del 90% del calor acumulado en el planeta se ha almacenado en el océano en las últimas décadas (von Schuckmann et al., 2020), por lo que el contenido en calor del océano es un buen indicador del calentamiento global. La temperatura integrada en la columna de agua es un buen indicador del contenido en calor del océano.

La temperatura del agua de mar se ha incrementado desde comienzos del siglo XX. Así, a escala global en el periodo 1980-2020 el incremento de la temperatura superficial del agua fue de 0,44-0,74 °C, respecto a 1850-1900 (Fox-Kemper et al., 2021).

La serie histórica de temperatura superficial del mar

del Aquarium de Donostia-San Sebastián permite analizar la evolución de esta variable durante el periodo 1946-2020. Se observan dos períodos diferenciados con tendencias diferentes, un primer periodo de 1946 a 1980 con una tendencia decreciente, y el periodo más reciente de 1980 a 2020 con una tendencia creciente de $0,2 \pm 0,03$ °C década $^{-1}$. A escala del golfo de Vizcaya, los datos de satélite para el periodo 1981-2020 también indican una tendencia creciente, a una tasa de $0,2 \pm 0,04$ °C década $^{-1}$.

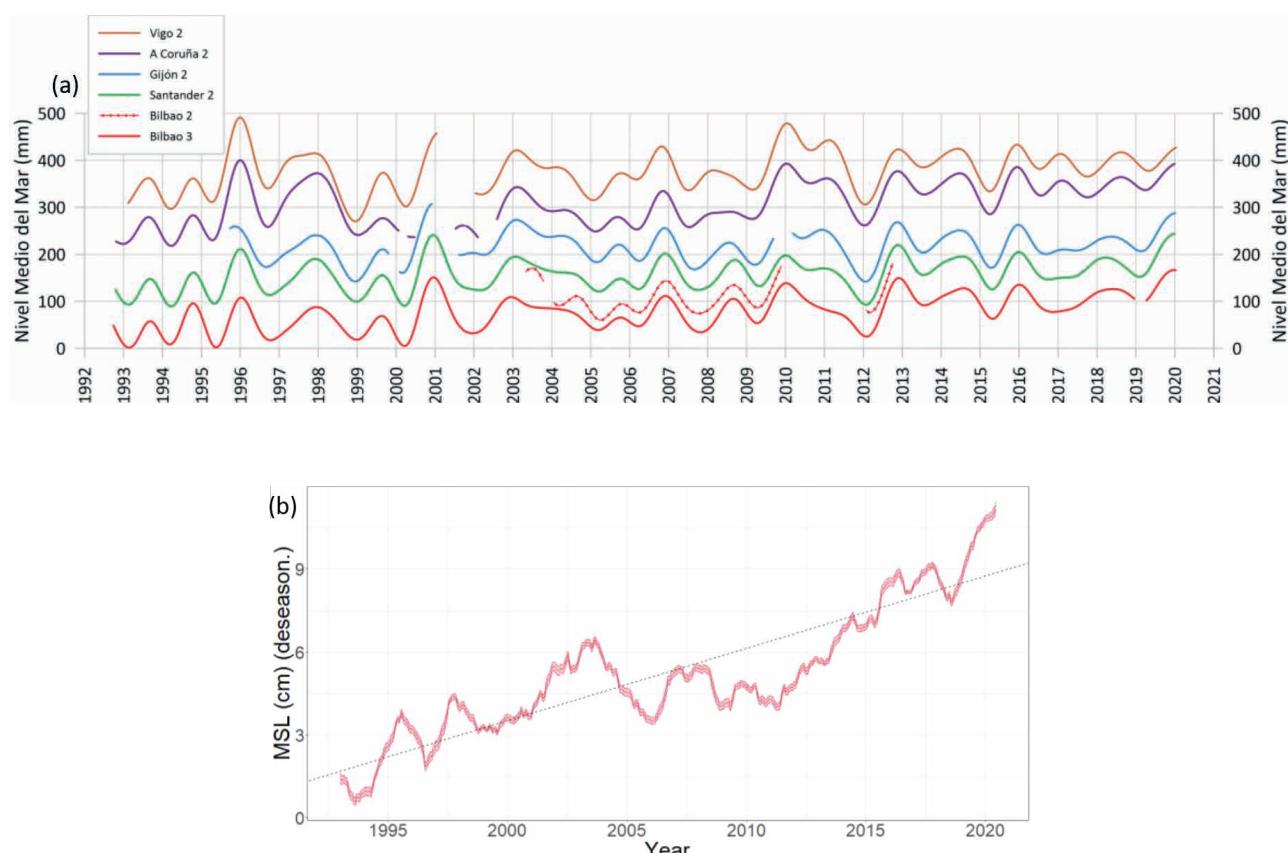
El análisis de la temperatura en los primeros 100 metros de la columna de agua también indica una tendencia creciente significativa a una tasa de $0,2 \pm 0,04$ °C por década $^{-1}$.

3.5. NIVEL DEL MAR

El incremento del nivel del mar tiene impactos directos en las zonas costeras. Es un indicador climático esencial, ya que refleja el aumento del contenido calorífico del océano y la pérdida de las masas de hielo glaciares y polares.

Los cambios regionales en el nivel del mar son una combinación de la respuesta a las emisiones antropogé-

nicas de gases de efecto invernadero y la variabilidad interna. Para analizar la evolución del nivel medio del mar en nuestra costa, se han utilizado los registros in situ que provienen de los 9 mareógrafos instalados en la línea de costa del golfo de Vizcaya. Asimismo, también se ha analizado el nivel medio del mar del golfo de Vizcaya mediante datos satelitales.



20. Fig. (a) Series temporales de los mareógrafos de la costa cantábrica y (b) serie temporal del nivel del mar en el golfo de Vizcaya obtenida a partir de datos satelitales.

Los datos recogidos indican que el nivel medio del mar está ascendiendo significativamente en todos los mareógrafos, con excepción del mareógrafo de Gijón cuya tendencia positiva no es estadísticamente significativa. Las tasas de ascenso para las 8 series significativas oscilan entre $1,25 \pm 0,05$ cm década^{-1} (en Brest, 1846–2019) y $3,07 \pm 0,32$ cm década^{-1} (en Bilbao, 1992–2020). Al igual que ocurre a escala global, la tasa de ascenso también se está acelerando en el golfo de

Vizcaya desde los años 90. Así, al analizar la serie histórica más larga disponible, correspondiente al mareógrafo de Brest, se observa que la tasa de ascenso de 1992 a 2020 ($2,42 \pm 0,43$ cm década^{-1}) es el doble que en el periodo completo de la serie 1846–2019 ($1,25 \pm 0,05$ cm década^{-1}). Los datos satelitales (1993–2020) indican que el nivel medio del mar del golfo de Vizcaya está ascendiendo a una tasa de $2,62 \pm 0,42$ cm década^{-1} (p -valor < 0,0001).

DESCRIPCIÓN	ESTACIÓN/ZONA	PERÍODO	TENDENCIA
NMM VIGO2	Vigo2	1992-2020	$1,76 \pm 0,67^*$
NMM GIJÓN2	Gijón2	1995-2020	$0,71 \pm 0,55$
NMM SANTANDER2	Santander2	1992-2020	$2,04 \pm 0,34^*$
NMM CORUÑA2	Coruña2	1992-2020	$3,40 \pm 0,80^*$
NMM CORUÑA2	Coruña	1943-2020	$2,0 \pm 0,19^*$
NMM BILBAO2	Bilbao3	1992-2020	$3,07 \pm 0,32^*$
NMM PASAIA	Pasaia	2007-2020	4,20
NMM BREST	Brest	1992-2020	$2,42 \pm 0,44^*$
NMM BREST	Brest	1846-2020	$1,25 \pm 0,05^*$
NMM SATÉLITE	Golfo de Vizcaya	1993-2020	$2,62 \pm 0,42^*$

13. Tabla. Tendencia del nivel del mar (cm década⁻¹) en los mareógrafos del golfo de Vizcaya y la medida por satélite.

* Indica que las tendencias son estadísticamente significativas (p-valor < 0,05).

En Gipuzkoa, la estación geodésica de Pasaia (<http://geolabpasaia.org/>) dispone de un mareógrafo que registra el nivel instantáneo del mar cada minuto. Los datos analizados indican una tendencia de +4,2 cm década⁻¹. Sin embargo, esta serie es demasiado corta para poder extraer conclusiones comparables con otros mareógrafos instalados en la costa cantábrica y con datos, algunos de ellos, desde 1992. No obstante, existe concordancia con los datos obtenidos en el mareógrafo de Puertos del Estado en Bilbao, sobre todo en torno a los valores más altos del nivel de los años 2013, 2016 y 2018 y los mínimos de 2008, 2012 y 2017.

El análisis de los datos de satélite indica que el nivel medio del mar del golfo de Vizcaya está ascendiendo a una tasa de $2,62 \pm 0,42$ cm década⁻¹.

En base a todo lo anterior se puede concluir que el ascenso detectado en la costa guipuzcoana y en todo el mar del golfo de Vizcaya es consistente con el ascenso nivel global. El análisis de las series confirma que la subida del nivel de mar se está acelerando en Gipuzkoa también, en coherencia con resultados de los estudios en el que se analizan períodos más largos (Dangendorf et al., 2019).





INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

Con el objetivo de diseñar un cuadro de mando para la monitorización, seguimiento y evaluación de la situación y evolución de los efectos del cambio climático en Gipuzkoa, así como el efecto de las medidas de adaptación implementadas, se ha definido un sistema de indicadores. Esta batería de indicadores, estructurados en torno a sistemas (recursos hídricos, agroforestal, energía, infraestructuras y ordenación del territorio y salud²), facilitarán la toma de decisiones, todo ello encaminado a mejorar e incrementar la resiliencia del territorio frente al cambio climático.

El objetivo de estos indicadores es:

- Identificar, cuantificar y monitorizar los principales riesgos derivados del cambio climático en los distintos sistemas naturales y socioeconómicos del territorio.
- Favorecer la identificación y adopción de acciones y políticas de adaptación para reducir los impactos del cambio climático.
- Sensibilizar a los principales agentes para lograr su implicación activa en la adaptación al cambio climático, principalmente a través de la difusión de información.

Los indicadores se clasifican, según la información que aportan, en indicadores de (A) adaptación, (E) exposición, (I) impacto, (P) peligro y (V) vulnerabilidad.

2 'Los indicadores de seguimiento y evolución del sistema marino-costero se presentarán en el Informe de Seguimiento y Análisis de Indicadores fisicoquímicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa' durante el último trimestre de 2022.



		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
VARIABLES CLIMÁTICAS													
TEMPERATURA MEDIA ANUAL	P	12,7	14,0	13,1	13,1	14,1	13,7	13,6	13,5	13,5	13,3	13,9	13,2
MEDIA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS DIARIAS	P	8,7	9,9	8,9	9,1	10,0	9,6	9,5	9,3	9,6	9,1	9,9	9,4
MEDIA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS DIARIAS	P	17,6	18,8	18,2	17,5	19,0	18,7	18,5	18,6	18,0	18,7	19,0	17,7
MÍNIMO DE LAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DIARIAS	P	-4,8	-3,0	-5,2	-2,6	-3,1	-3,8	-1,7	-4,7	-5,7	-2,8	-1,1	-3,1
MÁXIMO DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DIARIAS	P	36,1	38,4	39,6	37,6	35,6	37,4	38,2	37,0	34,9	38,9	38,9	34,2
NÚMERO DE DÍAS FRÍOS	P		173	202	203	180	181	194	196	190	216	183	200
NÚMERO DE DÍAS CÁLIDOS	P		8	15	8	4	12	14	12	6	10	10	3
NÚMERO DE OLAS DE CALOR	P	0	0	1 (3 días)	0	0	0	1 (4 días)	0	0	1 (5 días)	0	0
NÚMERO DE DÍAS DE HELADA	P	25	11	21	12	5	12	6	20	14	9	6	9
PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	P	1.411,3	1.277,0	1.327,5	2.049,7	1.577,9	1.503,2	1.447,8	1.477,5	1.597,1	1.651,6	1.424,1	1488,9
NÚMERO DE NOCHES TROPICALES	P		1,2	3,6	4,4	1,4	2,9	1,8	2,7	1,9	1,9	2,9	1,4
NÚMERO DE DÍAS DE LLUVIA	P	186,5	165,0	188,0	210,0	213,0	185,8	198,0	185,0	211,0	143,0	187,0	177,0
NÚMERO DE DÍAS SOLEADOS/DESPEJADOS	P	31,7	45	38	33	28	38	33	47	29	44	42	36
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS	P	68,6	114,3	54,1	73,5	53,6	88,5	78,0	71,3	81,6	64,9	60,2	85,8
NÚMERO MÁXIMO DE DÍAS SECOS CONSECUTIVOS	P		17	20	17	16	22	22	19	15	22	18	19
NÚMERO MÁXIMO DE DÍAS HÚMEDOS CONSECUTIVOS	P		9	10	13	12	11	10	10	13	19	11	18
NÚMERO DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN > 20 MM	P		14	16	30	22	19	16	21	19	21	19	20
MÁXIMO DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA EN 5 DÍAS	P		220,6	114,9	188,5	136,3	175,6	131,8	155,6	147,8	153,3	124,5	211,4
HUMEDAD RELATIVA	P	82,4	80,8	82,2	83,3	81,1	81,2	81,7	81,8	84,4	80,2	79,4	81,2
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	P	10,4	10,0	9,6	10,7	9,8	10,5	10,6	10,2	10,1	9,1	10,4	9,8
NÚMERO DE ALERTAS METEOROLÓGICAS	P	9	9	9	9	9	10	7	12	9	7	9	9
DÍAS GRADOS DE REFRIGERACIÓN	I		131,4	164,2	128,3	121,6	150,3	145,0	148,7	118,9	134,0	146,5	84,2
DÍAS GRADOS DE CALEFACCIÓN	I		872,40	1.059,3	1.045,4	833,9	929,6	905,1	1.009,4	1.017,2	936,2	871,8	932,1

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
RECURSOS HÍDRICOS													
CAUDAL MEDIO ANUAL	I												
ENDARA		0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,6	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
OIARTZUN		0,5	4,0		2,8	2,0	2,2	3,6	2,0	2,7	2,5	2,8	
AÑARBE		2,4	2,2	3,3	3,1	3,2	2,3	2,1	3,8	2,2	2,5	2,3	2,6
EREÑOZU		8,6	8,8	14,1	12,4	12,0	8,5	7,2	14,4	7,9	8,7	7,9	10,8
ESTANDA		1,0	0,7	2,1	1,1	1,4	0,9	0,6	1,5	0,7	0,8	0,8	1,2
AGAUNTZA		1,7	1,7	3,3	1,9	2,5	1,7	1,4	2,8	1,5	1,5	1,5	1,9
AMUNDARAIN		0,9	0,9	1,5	1,1	1,2	0,8	0,7	1,5	0,8	0,8	0,8	1,0
ALEGIA		6,7	6,3	13,4	7,7	11,3	7,5	5,1	12,7	5,9	6,6	6,0	7,6
ARAXES			3,5	6,6	4,3	4,9	3,7	3,0	6,2	3,3	3,4	3,1	4,0
BELAUNTZA		1,1	1,3	1,9	1,3	1,7	1,2	1,0	2,0	1,1	1,1	1,1	1,3
LEITZARAN		4,5	4,4	7,5	6,0	6,3	4,6	3,8	7,7	4,1	4,6	4,1	5,0
LASARTE		21,3	22,2	40,6	25,8	29,3	21,1	17,5	36,9	18,2	19,7	18,6	25,1
AITZU		1,5	1,3	2,6	1,7	2,1	1,5	0,9	2,4	1,2	1,3	1,2	2,2
IBAIEDER		1,3	1,4	2,9	1,5	2,0	1,3	0,9	2,2	1,0	1,0	1,1	1,6
MATXINBENTA		0,2	0,2	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3
AIZARNAZABAL		6,6	7,4	13,0	7,7	9,4	6,7	5,4	11,1	5,3	6,2	6,2	8,4
SAN PRUDENTZIO		2,3	2,0	4,7	2,9	3,9	2,6	1,6	4,0	2,1	2,4	2,3	3,2
ONATI		2,9	2,6	5,3	3,3	4,0	2,9	2,0	4,6	2,3	2,5	2,3	3,5
ALTZOLA		10,5	9,4	19,0	12,0	15,4	10,4	6,8	16,5	7,6	9,7	9,3	12,8
NIVEL MEDIO ANUAL DEL AGUA	I												
OIARTZUN		0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
EREÑOZU		0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
ESTANDA		0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
AGAUNTZA		0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,6	0,3	0,3	0,2	0,3
AMUNDARAIN		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
ALEGIA		0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
BELAUNTZA		0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
LASARTE		0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6
AITZU		0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2



		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
RECURSOS HÍDRICOS													
IBAIEDER		0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
MATXINBENTA		0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
AIZARNAZABAL		0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5
SAN PRUDENTZIO		0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
ONATI		0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
AIXOLA		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
ALTZOLA		0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	W0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6
NIVEL MÁXIMO ANUAL DEL AGUA	P												
OIARTZUN		1,6	3,0	1,3	1,8	1,4	1,4	1,4	1,3	1,9	2,3	1,1	2,3
EREÑOZU		2,0	3,8	1,3	2,3	2,5	3,0	1,7	2,2	2,1	2,0	1,4	3,4
ESTANDA		1,4	1,1	1,0	1,6	1,2	1,4	1,8	1,2	1,3	1,4	1,0	1,8
AGAUNTZA		1,4	1,5	1,2	1,6	1,2	1,6	1,3	1,5	1,5	1,6	1,2	1,5
AMUNDARAIN		1,2	1,6	1,2	1,3	1,5	1,3	0,9	1,4	1,3	1,3	1,2	1,6
ALEGIA		2,3	2,3	1,8	2,8	2,2	3,0	3,1	2,4	2,7	3,1	1,8	3,8
BELAUNTZA		0,9	1,5	0,8	1,0	0,8	1,1	1,0	1,1	1,2	1,0	0,8	1,1
LASARTE		3,2	5,5	2,7	4,2	3,5	4,0	3,9	3,8	4,3	3,4	2,3	4,7
AITZU		1,3	1,4	0,9	1,3	1,2	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,0	1,8
IBAIEDER		1,0	1,4	0,8	1,3	0,8	1,1	1,3	1,1	1,4	1,0	0,9	1,8
MATXINBENTA		0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8
AIZARNAZABAL		1,9	3,7	1,4	2,6	1,7	2,4	2,8	2,4	2,4	1,8	1,6	2,8
SAN PRUDENTZIO		1,7	1,5	1,2	2,0	1,5	2,3	2,2	1,7	1,8	1,9	1,5	2,6
ONATI		1,9	2,3	1,2	1,9	1,5	2,4	2,0	2,2	2,3	2,1	1,4	2,7
URKULU		1,1	1,4	0,5	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,9
AIXOLA		0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7		
ALTZOLA		3,3	4,8	1,9	3,9	2,6	4,7	4,7	3,8	3,5	4,1	2,0	5,5
NÚMERO DE EVENTOS DE INUNDACIÓN	I		1	0	2	1	2	0	1	3	1	0	2
NÚMERO DE EVENTOS DE EMBATES DE MAR	I		1	2	1	4	1	4	3	1	4	5	2
NIVEL PIEZOMÉTRICO	P												
ELDUAIEN-3			21,8	19,8	10,7	17,9	17,6	23,9	23,4	15,7	20,3	22,8	

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
RECURSOS HÍDRICOS													
KILIMON-3		6,2	6,0	5,6	6,4	6,0	6,2	6,0	5,6	6,0	6,1		
HERNANI-C		3,4	3,6	3,3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4	3,5	3,6		
LEGORRETA-5		-62,9		-64,5	-63,0					-31,2	-54,8		
ARALAR-P4		-39,2	-5,0	-55,5	-46,5	-48,6	-47,9	-48,1	-58,2	-48,7	-45,9		
DTH-1		109,9	110,0	106,6	107,7	24,2	107,8	108,1	105,4	105,7	105,1		
JAIZKIBEL-5			38,2	37,6	36,3	35,7	35,9	38,8	36,1	36,2	36,2		
MAKINETXE		5,3	1,5	1,5	2,4	2,6	15,2	22,9	1,5	2,8	15,0		
INURRITZA-3		2,0	2,0	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8		
CALIDAD DE LAS AGUAS. PORCENTAJE DE MASAS DE AGUA CON ESTADO O POTENCIAL ECOLÓGICO BUENO O MUY BUENO.	V	35%	41%	63%	62%	53%	53%	60%	76%	67%	46%		
ESTADO ECOLÓGICO DE LAS AGUAS DE TRANSICIÓN Y COSTERAS	I	56%	56%	33%	67%	67%	78%	78%	89%	89%	89%		
DEMANDA TOTAL DE AGUA POR HABITANTE (LITROS/HABITANTE/DÍA)	A	179,1	177,4		175,5	170,2	172,5	172,4	168,1	171,0	150,0		
NÚMERO DE HABITANTES QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS DENTRO DE ZONAS INUNDABLES (HAB./AÑO)	E						2.444,0					3.408	
N.º DE EDAR EN ZONAS INUNDABLES	E						1						1
SECTOR AGROFORESTAL													
BOSQUE	V	46.825					47.981		47.721	48.299	47.928	48.046	
BOSQUE DE PLANTACIÓN	V	76.558					74.865		72.231	72.359	72.827	72.897	
BOSQUE DE GALERÍA	V	956					944		921	921	921	922	
SUPERFICIE DEL TERRITORIO BAJO FIGURA DE PROTECCIÓN	A						44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	
PORCENTAJE DE SUPERFICIE FORESTAL ORDENADA	V	124.339,0					123.790,0		120.873,0	121.579,0	121.676,0	121.865,0	
HECTÁREAS ANUALES QUEMADAS POR INCENDIOS FORESTALES	I	77,4	87,3	97,8	87,3	294,0	10,7	37,5	10,8	89,7	49,0		



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
SECTOR AGROFORESTAL												
SUPERFICIE DE AGRICULTURA ECOLÓGICA (HA)	E						627,0	666,0	750,0	848,0	1.224,0	6.789,0
SUELO AGROFORESTAL CON ACTIVIDADES ECONÓMICAS	E	63,20%					62,6%		61,4%	61,4%	61,6%	61,6%
SUPERFICIE AFECTADA POR PLAGAS FORESTALES	I						2.466,0	1.354,0	19.208,0	8.541,0		
EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA	I	2,1	2,0	1,9	2,1	2,2	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,0
DURACIÓN O LONGITUD DE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO	I	330,0	310,0	298,0	350,0	325,0	347,0	323,0	308,0	344,0	357,0	346,0
PORCENTAJE DEL VALOR AÑADIDO BRUTO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA	V	0,5%	0,7%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,7%	0,6%	0,7%	0,6%	
ENERGÍA												
CONSUMO FINAL DE ENERGÍA (KTEP)	I	1.978,3	1.950,2	1.887,7	1.852,8	1.868,1	1.860,4	1.981,1	1.933,8	1.912,2	1.642,1	
INTENSIDAD ENERGÉTICA FINAL (x10⁻⁴)	A	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7		
INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO												
USOS DEL SUELO												
MATORRAL	V	8.023,0					7.497,0		10.252,0	9.722,0	9.592,0	9.472,0
HERBAZAL	V	2.957,0					3.472,0		3.572,0	3.523,0	3.509,0	3.502,0
MONTE SIN VEG. SUPERIOR	V	2.827,0					2.672,0		2.672,0	2.670,0	2.669,0	2.667,0
AGRÍCOLA	V	1.876,0					2.454,0		2.454,0	2.447,0	2.440,0	2.437,0
ARTIFICIAL	V	10.024,0					10.612,0		10.610,0	10.609,0	10.624,0	10.625,0
AGUA	V	1.144,0					1.097,0		1.098,0	1.093,0	1.093,0	1.093,0
AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS	I	2.140,0					2.288,0		2.288,0	2.294,0	2.293,0	2.301,0
MINERÍA-ESCOMBRERAS-VERTEDEROS	I	589,0					575,0		575,0	575,0	580,0	582,0
PRADO CON SETOS / CON SEBES	V	523,0					487,0		487,0	517,0	517,0	517,0
PRADO CON SETOS / CON SEBES	V	37,2					36,9		36,9	36,9	36,8	36,8

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO													
PASTIZAL-MATORRAL	V		5,8						5,7		5,8	5,7	5,7
PORCENTAJE DE POBLACIÓN MAYOR DE 65 AÑOS	V		19,4%	19,8%	20,1%	20,6%	21,0%	21,3%	21,6%	21,9%	22,2%	22,4%	22,9%
PORCENTAJE DE POBLACIÓN MENOR DE 4 AÑOS	V		5,1%	5,1%	5,1%	4,9%	4,8%	4,7%	4,5%	4,3%	3,1%	3,1%	
DAÑOS EN LOS BIENES CAUSADOS POR INUNDACIÓN	I			51.776.636,0		1.324.00		3.697.216,0		577.841,0			
SUPERFICIE DE ESPACIOS LIBRES (PARQUES, JARDINES Y ZONAS VERDES URBANAS) POR HABITANTE (M ² /HAB.)	V		51,3	47,8	47,5	46,3	46,3	47,3	43,2	32,4	37,1	36,8	42,9
DAÑOS EN LOS BIENES CAUSADOS POR EMBATES DEL MAR	I		52.018,2		0,0	22.059,0		12.560.394,6		19.596,6		2.113.354,8	
DENSIDAD POBLACIÓN	V		354,9	356,3	357,4	357,8	358,9	359,2	360,3	361,0	362,5	364,2	363,4
PORCENTAJE DE SUELO ARTIFICIALIZADO	V		6,7%	6,7%	6,7%	6,8%	6,8%	6,8%	6,8%	6,8%	6,9%	6,9%	6,9%
INDEMNIZACIONES POR DESASTRES NATURALES (CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS)	I		9.364.498,0		51.835.238,0		20.645,0		4.584.311,0		13.360.496,0		3.839.829,0
SALUD													
CASOS AUTÓCTONOS E IMPORTADOS DE PALUDISMO, VIRUS DEL NILO OCCIDENTAL, ENFERMEDAD DE LYME, ETC.	I								88,0	64,0	59,0		
PORCENTAJE DE PERSONAS >80 AÑOS QUE VIVE SOLAS	V											29%	31%
NÚMERO DE ALERTAS POR ALTAS TEMPERATURAS	P		1	3	1	0	1	2	1	0	2	1	
MORTALIDAD POR EXPOSICIÓN AL CALOR NATURAL	I		0	0	0	0	0	0	0	0	0		
UNIVERSAL THERMAL CLIMATE INDEX (UTCI)	I	14,9	15,7	17,1	14,0	16,8	18,3	16,8	18,9	17,6	16,9	16,5	



		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
SALUD														
PORCENTAJE DE DÍAS EN LOS QUE SE SUPERA EL VALOR LÍMITE PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA (O₃) (CONSIDERANDO EL PEOR VALOR DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA)	P				11%	17%	13%	6%	5%	6%	7%	11%	3%	3%
PORCENTAJE DE DÍAS EN LOS QUE SE SUPERA EL VALOR LÍMITE DIARIO DE PM₁₀ (CONSIDERANDO EL PEOR VALOR DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA)	P				13%	11%	12%	7%	1%	1%	2%	4%	2%	3%
PORCENTAJE DE DÍAS EN LOS QUE SE SUPERA EL VALOR LÍMITE DIARIO DE PM_{2,5} (CONSIDERANDO EL PEOR VALOR DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA)	P						21%	19%	23%	24%	19%	13%	12%	24%





III

Análisis de los efectos del cambio climático en las infraestructuras críticas de Gipuzkoa



Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro





El cambio climático supone uno de los grandes desafíos a los que se enfrenta el ser humano en el siglo XXI. En agosto del pasado año 2021, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático (IPCC en sus siglas en inglés) hacía público el primer informe de Evaluación del nuevo periodo (VI informe de Evaluación), 'Bases físicas del clima'. En dicho informe se pone de manifiesto que los cambios actuales observados en el clima no tienen precedentes históricos similares en miles de años, que son rápidos, generalizados y que se están intensificando y que algunos de estos cambios que ya se están produciendo continuarán durante siglos o milenios.

El cambio climático se manifiesta como un cambio gradual de determinadas variables, como el aumento de la temperatura o la subida del nivel del mar y cambios en la precipitación, y también como una mayor probabilidad de eventos meteorológicos y climáticos extremos, tales como olas de calor, precipitaciones fuertes, inundaciones o sequías. Muchos de estos eventos extremos se han intensificado en las últimas décadas, se han duplicado en los últimos 20 años respecto a los 20 años previos, y se proyecta que siga incrementándose su frecuencia e intensidad con cada incremento adicional del calentamiento global. Por ejemplo, se proyectan incrementos de aproximadamente un 7% en los eventos extremos de precipitación diarios por cada grado de calentamiento global (IPCC-AR6, 2021).

En relación con los eventos extremos más frecuentes e intensos, durante las últimas tres décadas la mayoría de desastres naturales han sido causados por acontecimientos relacionados con el clima. Una parte considerable de los daños causados por estos fenómenos proviene de daños físicos a infraestructuras como los sistemas de transporte, los sistemas de generación y distribución de energía, las redes de suministro de agua, las infraestructuras sanitarias o la industria. Además de los daños físicos directos, se producen daños indirectos por pérdida de operatividad o interrupción de las cadenas de suministro o servicios auxiliares. Además, estas infraestructuras se caracterizan por un alto grado de dependencia entre unas y otras, lo que puede provocar un efecto en cascada que multiplica los efectos de sus impactos. Todas estas infraestructuras proporcionan servicios esenciales para la salud, la seguridad y el bienestar social y económico de los ciudadanos, son la columna vertebral de la sociedad moderna y proporcionan muchos de los recursos esenciales, considerándose por tanto infraestructuras críticas.

El impacto del cambio climático sobre estas infraestructuras críticas puede incrementarse substancialmente en las próximas décadas bajo el escenario de cambio climático. En este sentido, en el último informe de Evaluación

publicado por el Grupo de Trabajo I del IPCC (IPCC-AR6, 2021) alerta de las consecuencias que el aumento de la frecuencia y severidad de los eventos extremos puede tener a nivel global sobre las infraestructuras críticas. Los eventos extremos incrementarán con un alto grado de confianza los costes operativos, la brecha de su financiación y crearán impactos indirectos sustanciales tanto a nivel económico como social. Asimismo, hay que considerar que las infraestructuras críticas generalmente se diseñan con el objetivo de que perduren por mucho tiempo, por lo general de 50 a más de 100 años. Muchas de ellas fueron diseñadas sin considerar los cambios en el clima a los que pueden exponerse en las próximas décadas, teniendo que adaptarse a estos nuevos escenarios. Así, por ejemplo, un estudio realizado por Forzieri y colaboradores, estima que los daños producidos por eventos climáticos extremos en Europa en ausencia de medidas de adaptación en las infraestructuras críticas e inversiones clave en el sector de la energía, el transporte, la industria y la sociedad podría multiplicarse por seis a mitad de siglo y por diez a final de siglo (Forzieri et al., 2018). El incremento del daño se debe principalmente al mayor daño provocado por olas de calor, sequías e inundación costera, aunque también se incrementaría el daño provocado por inundaciones fluviales, tormentas e incendios.

El Informe sobre la Brecha de emisiones publicado por la ONU en 2021¹ muestra que los nuevos compromisos climáticos nacionales, combinados con otras medidas de mitigación, sitúan el aumento de la temperatura global en 2,7 °C para finales de siglo, incremento este muy por encima de los objetivos marcados en el Acuerdo de París. Teniendo esto en consideración y, a pesar de los ambiciosos objetivos marcados en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el objetivo de alcanzar la neutralidad climática a 2050, por ejemplo, por el Pacto Verde y la Ley Europea del Clima de la Unión Europea, se espera que los impactos debidos al cambio climático sean crecientes e irreversibles y continúen durante décadas, incluso habiendo alcanzado algunos de los objetivos previamente marcados. Por ello, tanto el Acuerdo de París, como la Ley Europea del Clima o el Plan Nacional de Adaptación persiguen el objetivo de conseguir una sociedad más resiliente, adaptada a los efectos del cambio climático mediante el aumento de su capacidad de adaptación y minimización de su vulnerabilidad.

Unas infraestructuras críticas resilientes y adaptadas al cambio climático son esenciales para la consecución de esta resiliencia climática. Las infraestructuras críticas son vulnerables en diferente grado dependiendo de los diferentes peligros climáticos a los que están expuestas. Por tanto, es necesario conocer la severidad del impacto

¹ United Nations Environment Programme. (2021). Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On – A World of Climate Promises not yet delivered. Nairobi.

sobre la infraestructura y la criticidad de la infraestructura. Asimismo, es importante conocer las relaciones de interdependencia entre las infraestructuras críticas, ya que esto permite la identificación de activos que a priori pueden no estar catalogados como en situación de peligro. La evaluación y comprensión de la vulnerabilidad y los riesgos de estas infraestructuras son por tanto cruciales para la planificación y la toma de decisiones en materia de adaptación de forma que se garanticen el funcionamiento de estas infraestructuras y se contribuya a mejorar la resiliencia frente al cambio climático.

La Estrategia Guipuzcoana de Lucha Contra el Cambio Climático (EGLCC) establece el objetivo fundamental de asegurar la resiliencia del territorio en relación a los impactos del cambio climático. La protección y seguridad de las infraestructuras críticas es un requisito indispensable para alcanzar dicha meta. Disponer de infraestructuras críticas resilientes frente a los impactos del cambio climático es clave, ya que incluso cualquier interrupción de corta duración no deseada podría tener consecuencias en los flujos de suministro de servicios esenciales y provocar perturbaciones y disfunciones graves para el territorio.

Entre las metas definidas en la EGLCC se recoge específicamente en la meta 7, Anticipación a los riesgos, la necesidad de prospección del cambio climático y la actualización y mejora de la cartografía de los riesgos de Gipuzkoa. Este tercer informe elaborado por la Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa, Naturklima, 'Informe de Impacto y Vulnerabilidad del Cambio Climático en Gipuzkoa – Infraestructuras Críticas' contribuye a la consecución de esta meta al mejorar el conocimiento de la vulnerabilidad y riesgo de las infraestructuras críticas de Gipuzkoa al cambio climático.

Este bloque II del 'Informe de Impacto y Vulnerabilidad del Cambio Climático en Gipuzkoa – Infraestructuras Críticas' se estructura en cinco capítulos principales. En el segundo capítulo se han identificado las principales infraestructuras críticas del territorio y en el tercer capítulo se han analizado los principales impactos históricos observados, a partir de una revisión de informes técnicos y de la revisión de fuentes indirectas de información, principalmente medios de comunicación escrita. En el cuarto capítulo se analizan los principales peligros climáticos futuros para el territorio bajo el escenario de cambio climático más pesimista. En el quinto capítulo, se identifican y priorizan las principales cadenas de impacto sobre las que en el capítulo 6 se analiza la vulnerabilidad y riesgo al cambio climático: 'Inundaciones pluviales sobre la red viaria', 'Deslizamientos sobre la red viaria', 'Inundaciones fluviales sobre las subestaciones eléctricas' y 'Temperatura máxima sobre los tendidos eléctricos'. El informe concluye recogiendo las principales conclusiones de este análisis.







Las infraestructuras críticas (IC) son elementos cruciales que garantizan el funcionamiento básico de cualquier sociedad (funciones vitales de la sociedad, la salud, la seguridad, la economía o el bienestar de las personas). Estas infraestructuras pueden potencialmente verse afectadas por amenazas relacionadas con el clima, como los fenómenos meteorológicos extremos, que pueden afectar a su eficacia, a su vida útil o pueden conducir a su destrucción.

La recopilación de las principales IC del territorio se ha realizado en base a la Directiva Europea 2008/114/CE¹ y la Ley 8/2011² sobre la protección de las infraestructuras críticas y el Real Decreto 704/2011 que desarrolla dicha ley, en las que se definen las infraestructuras críticas como

“aquellas que proporcionan servicios esenciales para la sociedad y por tanto a proteger frente a todo tipo de riesgos, cuya función es indispensable y no permite soluciones alternativas, por lo que su perturbación o destrucción tendría un grave impacto sobre los servicios esenciales”. Para su definición se ha considerado los sectores estratégicos propuestos en el Anexo de esta ley, que hacen referencia a ‘áreas diferenciadas dentro de la actividad laboral, económica y productiva, que proporciona un servicio esencial o que garantiza el ejercicio de la autoridad del Estado o de la seguridad del país’ (Tabla 2.1). Para cada uno de estos sectores, se han definido los subsectores estratégicos y las potenciales IC de cada subsector a partir de una revisión bibliográfica (Tabla 2.2., ej. Batista e Silva et al., 2019).

SECTOR	SECTOR
Administración	Energía
Espacio	Salud
Industria nuclear	Transporte
Industria química	Alimentación
Instalaciones de investigación	Sistema financiero y tributario
Agua	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)

2.1. Tabla. Áreas estratégicas definidas por la Ley 8/2011.

Con estos criterios, las IC comprenden instalaciones como las redes de generación y transmisión de energía, la industria nuclear, redes de telecomunicaciones, transporte, suministro de agua, salud, industria química, agentes económicos relevantes, sistema financiero, residuos urbanos, cadena alimentaria, y administración pública. Además, se han incluido infraestructuras sociales, como centros escolares, y las infraestructuras de gestión de residuos. Si bien estas infraestructuras no están contenidas en la citada ley o plan, se incluyen de forma regular en estudios de estas características en los que se analizan las IC (Batista e Silva, et al., 2019).

De todas estas infraestructuras se han seleccionado aquellas que puedan ser vulnerables al clima y sean rele-

vantes para mantener la resiliencia de Gipuzkoa frente al cambio climático (a modo de ejemplo, infraestructuras “a fin de línea” y con baja sensibilidad al clima como tiendas, cajeros bancarios, etc. no han sido considerados, pero sí las instalaciones “centrales” como centros de distribución, centrales de datos bancarios, etc.).

Infraestructuras de red de transporte y distribución de energía. Esta red distribuye la energía eléctrica desde las centrales eléctricas hasta los consumidores. Básicamente está constituida por los centros y subestaciones de transformación y la red de cableado (transporte, reparto, distribución) que llevan la electricidad a distintas tensiones según su distancia a los puntos de producción o consumo.

1 Directiva 2008/114/CE del Consejo de 8 de diciembre de 2008 sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección.

2 Jefatura del Estado (2011). Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que se establecen medidas para la protección de las infraestructuras críticas. “BOE” núm. 102, de 29 de abril de 2011. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-7630-consolidado.pdf>

Las redes de transporte de petróleo, gas y derivados transportan fluidos a través de tuberías desde los centros de distribución hasta el usuario final. Los principales elementos de esta red son las estaciones de recepción y distribución, los depósitos, estaciones compresoras y la red de tuberías.

Infraestructuras de transporte (red viaria, ferroviaria, portuaria, aeroportuaria). Se consideran los transportes por carretera, ferrocarril, aéreos y marítimos. Algunos elementos de esta red son las líneas e instalaciones de RENFE, EUSKOTREN, ADIF, estaciones de autobuses, red viaria, plataformas logísticas, puertos, aeropuerto y helipuertos.

Infraestructuras de tecnologías de la información y comunicación. Los principales elementos de esta red

son las centrales telefónicas de conmutación, el cableado y elementos auxiliares como centrales telefónicas, antenas, repetidores, etc.

Infraestructuras de abastecimiento y saneamiento de agua. Red constituida por los elementos de captación y tratamiento de aguas (estaciones potabilizadoras, depuradoras) y sus conducciones, así como elementos auxiliares como estaciones de bombeo, depósitos reguladores incluyendo embalses, tanques de tormenta.

Servicios sanitarios y de atención en emergencias (hospitales, ambulatorios, Bomberos, seguridad ciudadana, policía, etc.). Redes y servicios de especial sensibilidad y vulnerabilidad, por lo que su funcionalidad, acceso y vías de evacuación son de especial interés.

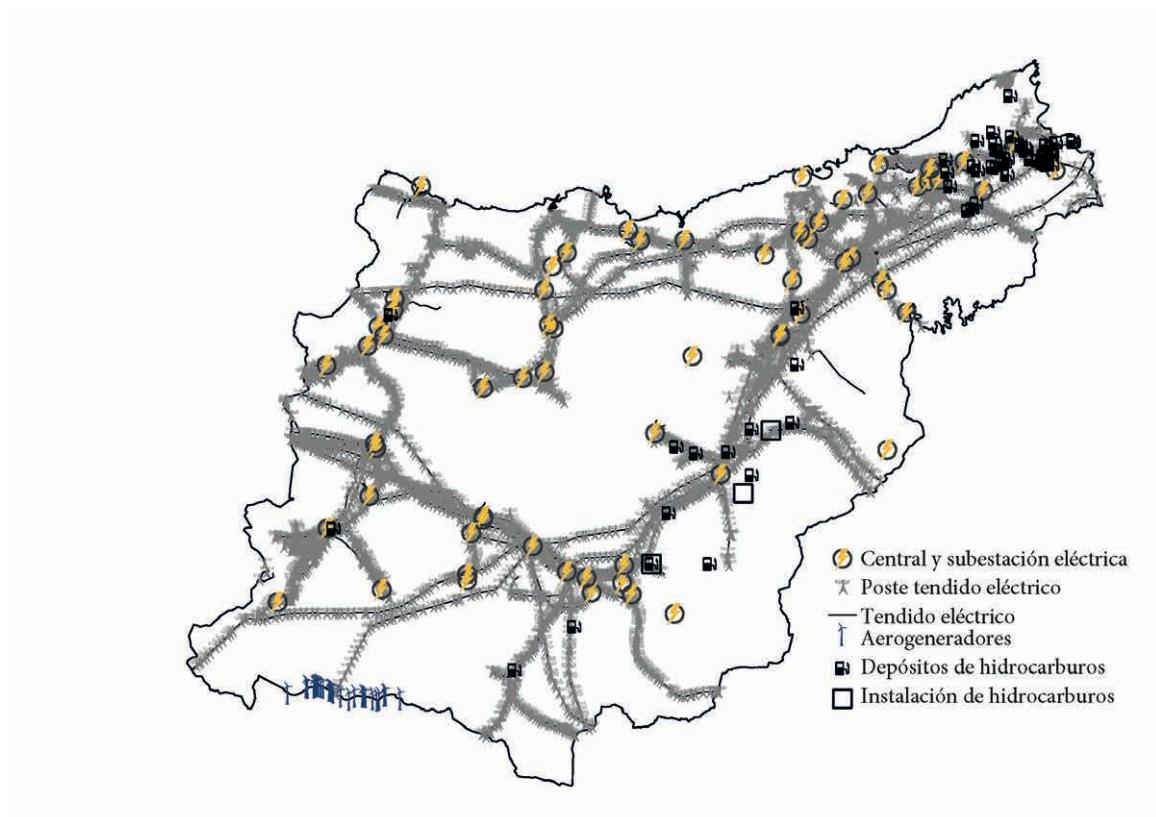
SECTOR	SUBSECTOR	IC
ENERGÍA	Electricidad	Centros de transformación, distribuidoras, subestaciones, líneas de baja, media y alta tensión, central hidroeléctrica.
	Petróleo, gas y derivados	Depósitos, estación compresora, red de distribución.
TRANSPORTE	Transporte por carretera	Vías, centros de control de tráfico, plataformas logísticas, intercambiadores.
	Transporte aéreo	Aeropuertos, helipuertos.
	Transporte marítimo	Puertos, puertos de mercancías
	Transporte ferroviario	Vías ferroviarias, vías de metro, funicular, estaciones.
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES (TIC)	Medio de comunicación	Antenas, repetidores, estaciones de emisión, tendidos.
	Internet	Centrales telefónicas, centros de datos.
SALUD	Asistencia sanitaria	Hospitales, centros de salud.
ALIMENTACIÓN	Industria alimentaria	Centros de transformación.
	Distribución y comercialización	Centros de distribución, centros logísticos, mercados mayoristas.
AGUA	Almacenamiento y distribución	Reservorios o embalses, captaciones, depósitos, bombas.
	Tratamiento	Potabilizadoras.
	Sistemas de drenaje y saneamiento	Colectores y red de saneamiento, tanques de tormenta, colectores, depuradoras, infraestructura de vertido.
SISTEMA FINANCIERO Y TRIBUTARIO	Entidades bancarias	Bancos centrales, centros de datos.
INSTALACIONES DE INVESTIGACIÓN	Centros de investigación	Laboratorios y almacenamientos.
ADMINISTRACIÓN	Seguridad ciudadana	Cuartel de bomberos, comisarías de policía, protección civil.
	Servicios de emergencia	Infraestructuras que se utilizan en situaciones de emergencia (ej. polideportivos)
INDUSTRIA QUÍMICA	Instalaciones químicas	Instalaciones industriales SEVESO ³
ESPACIO	Instalaciones espaciales	Antenas, centros de control y telecomunicaciones
SOCIAL	Educación	Centros escolares
RESIDUOS	Infraestructuras de gestión de residuos	Planta de separación de envases, planta de compostaje, complejo Medioambiental de Gipuzkoa, estación de transferencia.

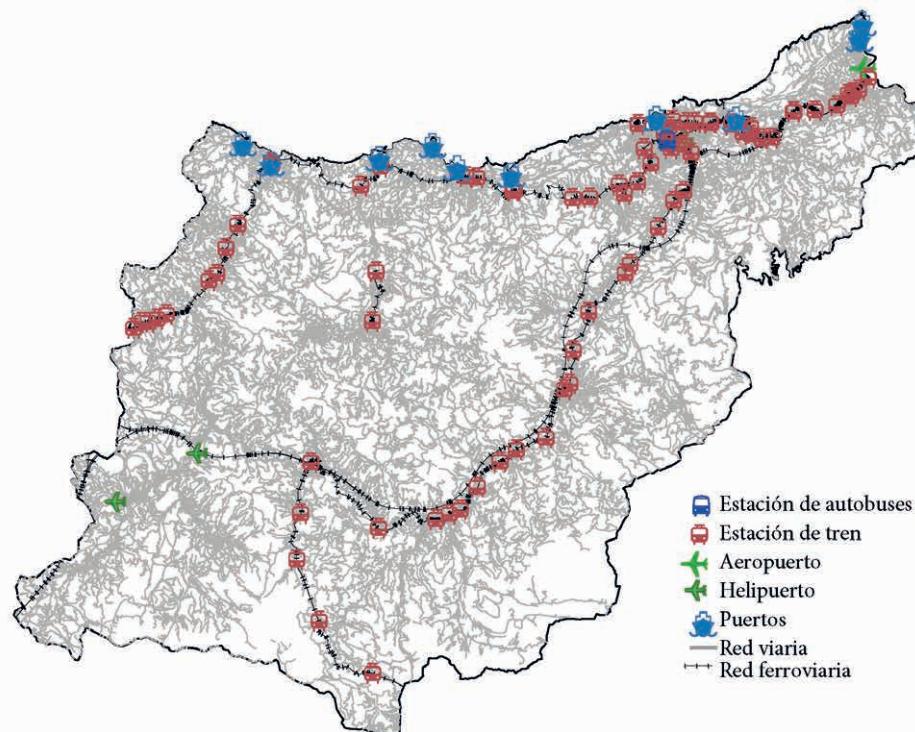
2.2. Tabla. Principales infraestructuras potencialmente críticas localizadas en el T.H. de Gipuzkoa.

3 Industrias que manipulan sustancias químicas peligrosas

Los datos utilizados para la identificación y caracterización de las distintas IC proceden de distintas fuentes de información, entre ellas los distintos Planes Territoriales Parciales de las distintas áreas funcionales del T.H. (Donostialdea-Bajo Bidasoa, Tolosaldea, Goierri, Urola Kosta, Alto Deba y Bajo Deba), el Sistema de Información Geográfica Nacional (SignA) del geoportal de referencia de infraes-

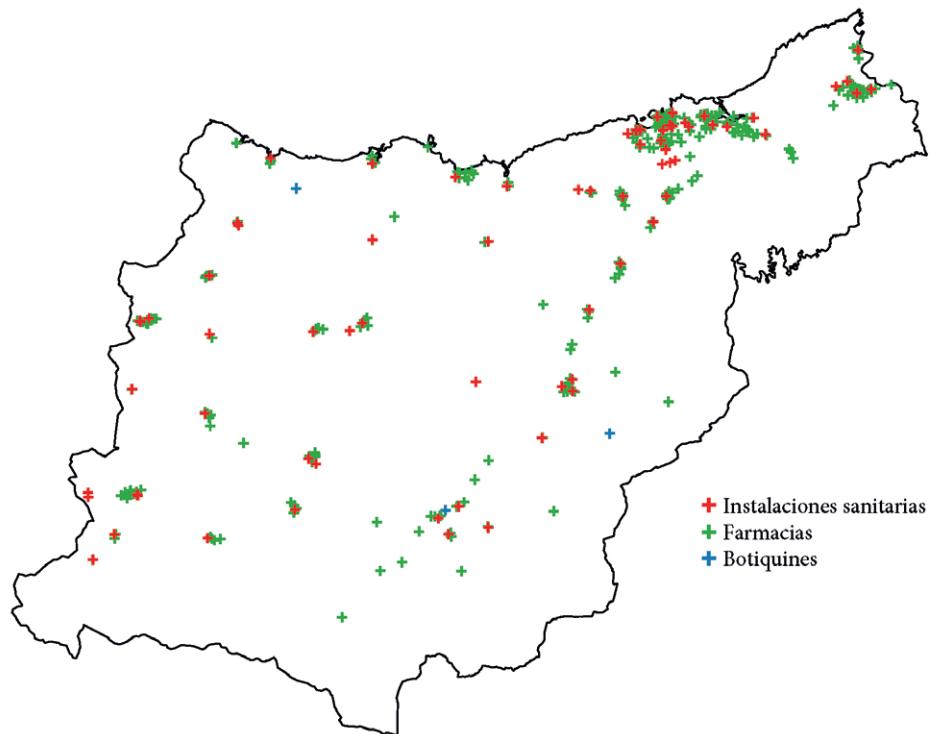
tructura de datos espaciales de Euskadi (geoEuskadi), de la infraestructura de datos espaciales de Gipuzkoa (b5m), así como información disponible en las páginas web de los diversos gestores y operadores de servicios de infraestructuras disponibles en internet. Para algunos de los sectores no se ha podido recopilar la información georreferenciada y no se han representado en las siguientes imágenes.



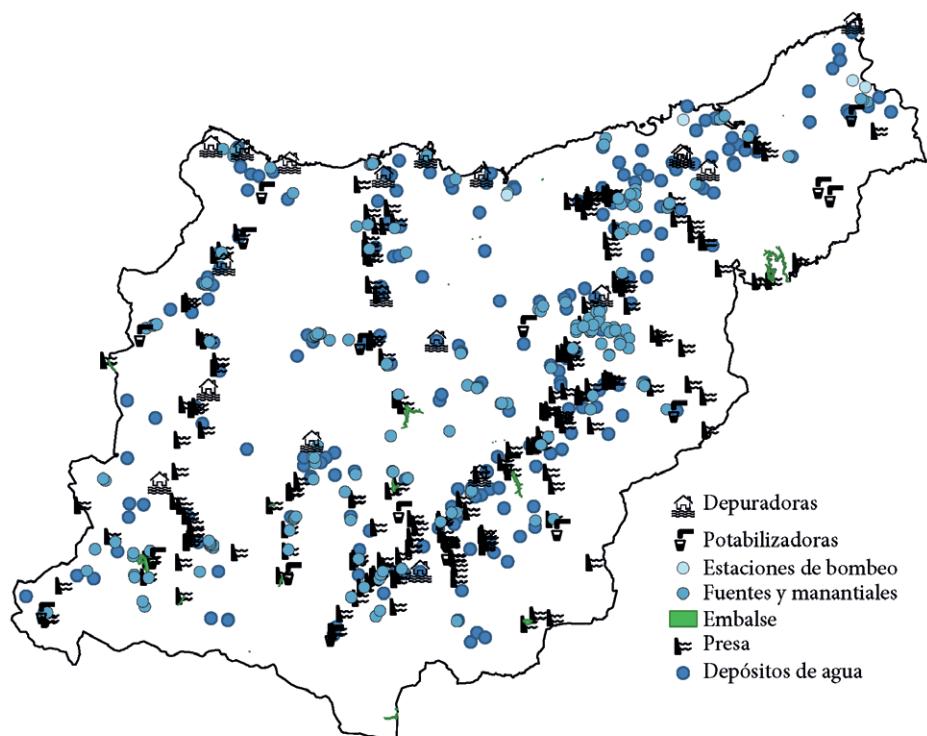


2.2. Fig. Infraestructuras del sector transporte.

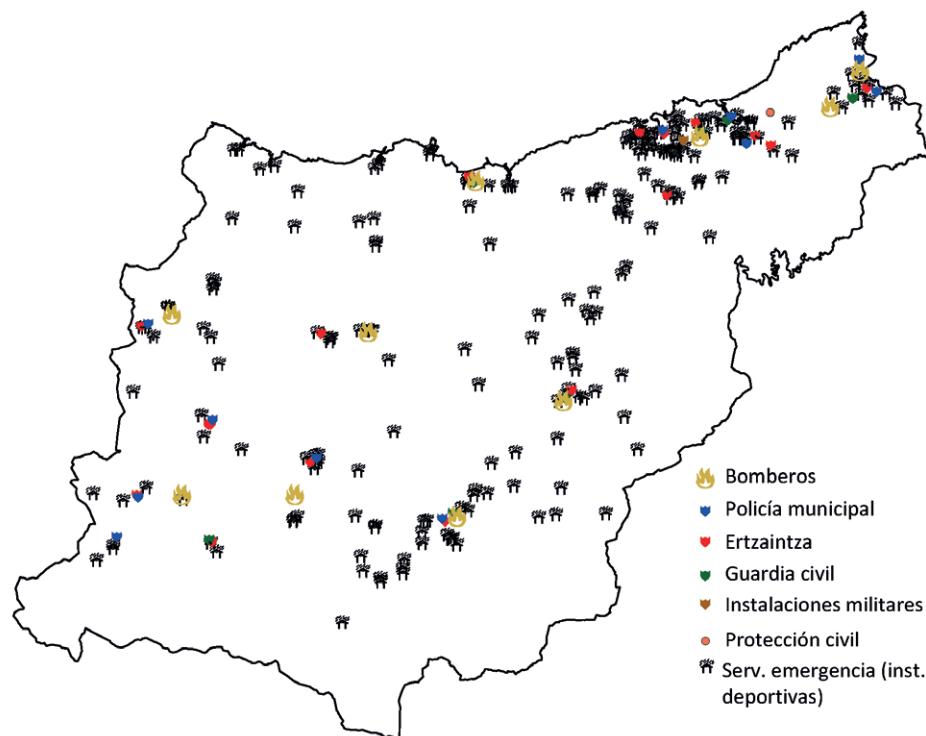
2.3. Fig. Infraestructuras del sector Tecnologías de la Información
y Comunicaciones: antenas.



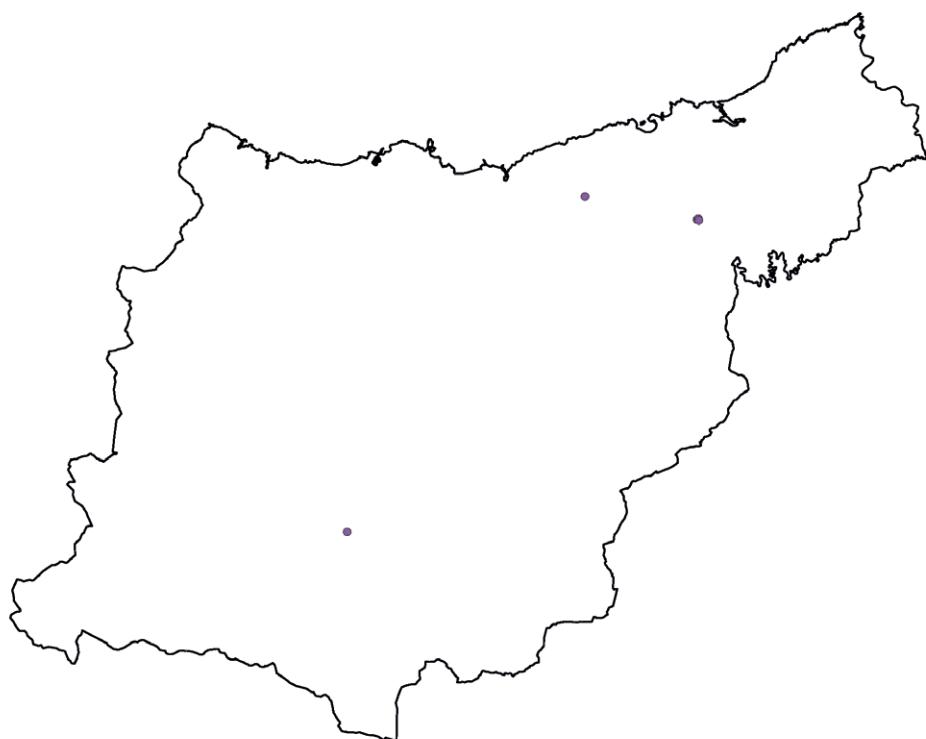
2.4. Fig. Infraestructuras del sector salud.



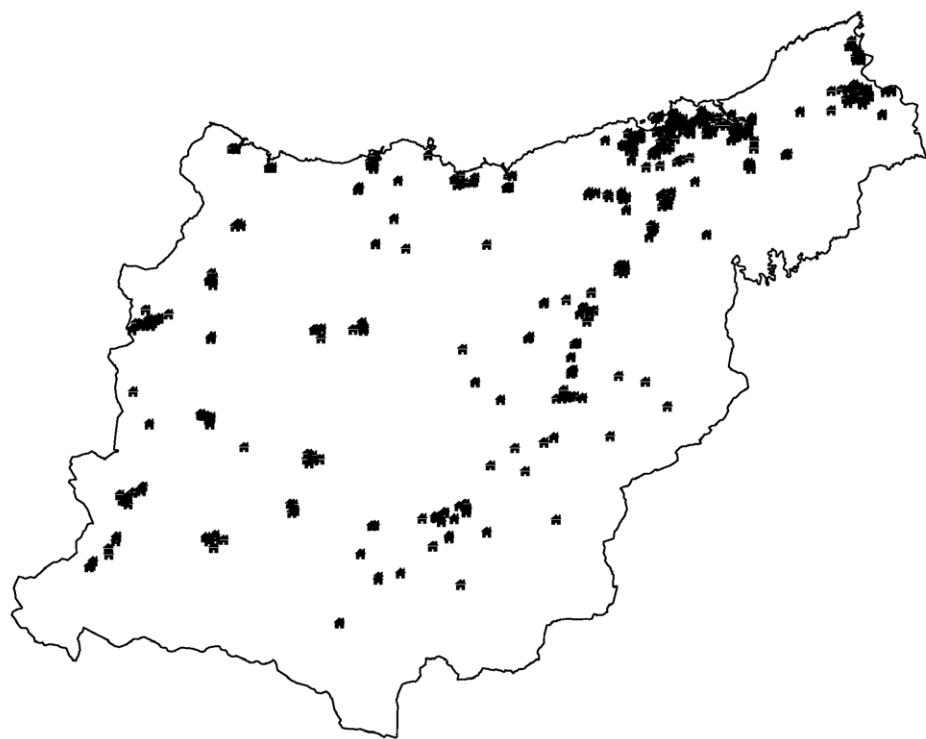
2.5. Fig. Infraestructura del sector agua.



2.6. Fig. Infraestructuras del sector administración.



2.7. Fig. Infraestructuras del sector instalaciones químicas.



2.8. Fig. Infraestructuras sector social. Subsector escuelas.



2.9. Fig. Infraestructuras del sector residuos. Subsector Infraestructuras de gestión de residuos.





La recopilación de impactos generados por amenazas climáticas pasadas permite conocer el nivel de exposición de las IC a distintos peligros y ayuda a entender los factores que determinan los daños sobre estas.

En primer lugar, se ha realizado un análisis histórico de las pérdidas económicas producidas por distintos acontecimientos extraordinarios que permite conocer las principales amenazas generadoras de daños, la severidad de estos fenómenos físicos y sirven también de indicador de los daños causados. Para ello se han utilizado los datos estadísticos de riesgos extraordinarios

(serie 1994–2020) del Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), empresa pública adscrita al Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Este análisis se ha completado con fuentes indirectas de información sobre la caracterización de eventos extremos y la localización de daños producidos, principalmente mediante la revisión de información publicada en medios de comunicación escrita, que ha permitido también el análisis de otras amenazas climáticas en el territorio no consideradas en los seguros de riesgos extraordinarios, como pueden ser los deslizamientos o las nevadas.

3.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL CCS

El CCS cubre los daños en bienes y personas causados por los llamados “riesgos extraordinarios” que pueden producirse por fenómenos naturales o por hechos de violencia política o social. Los fenómenos naturales cubiertos por esta garantía obligatoria son las inundaciones (por desbordamientos de cauces o escorrentía superficial, pero no las inundaciones pluviales), embate de mar (incluye inundación, rebase o impacto del oleaje), tempestad ciclónica atípica (abreviada TCA, vientos superiores a 120 km h⁻¹ o superiores a 96 km h⁻¹ con precipitación de 40 l m⁻²), terremoto y maremoto, tornado, erupciones volcánicas y caída de cuerpos siderales y aerolitos. Las indemnizaciones del CSS no cubren aquellos bienes que carezcan de algún tipo de póliza y, por tanto, son un indicador parcial de los costes producidos por eventos concretos. Por ello, hay que tener en cuenta que el grado de representatividad de esta información depende del grado de penetración del seguro en el territorio, generalmente elevado en el T.H. de Gipuzkoa, así como del valor económico de los bienes asegurados.

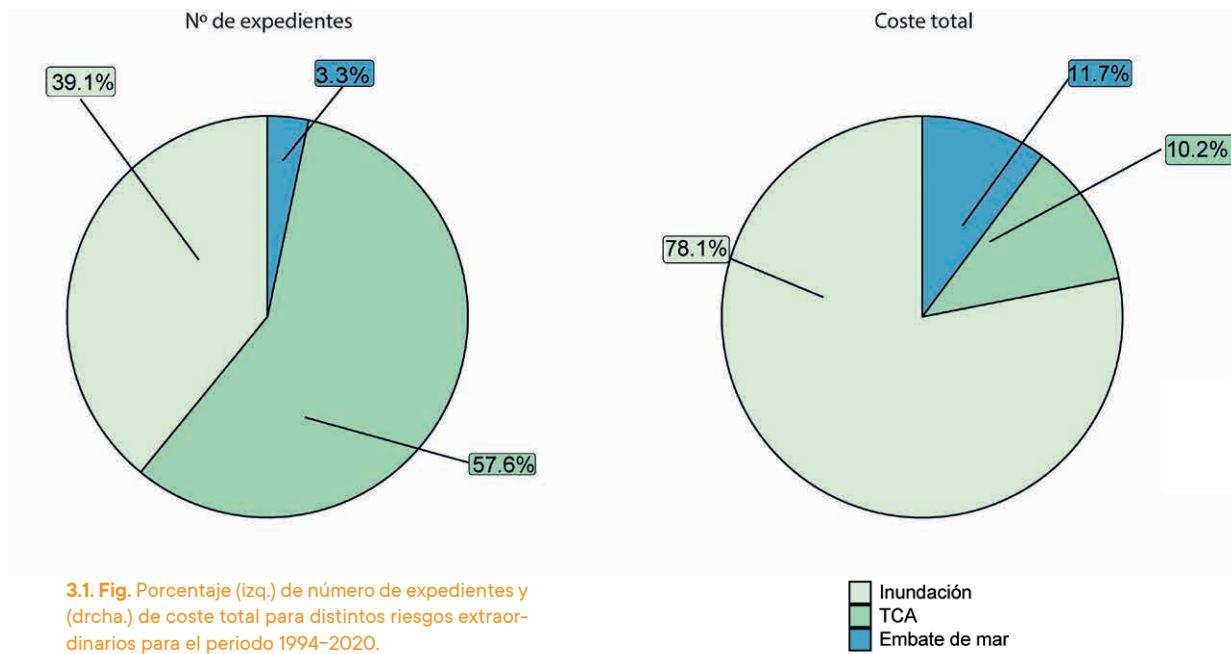
Es importante también considerar que no todos los riesgos naturales potencialmente catastróficos están incluidos en el seguro de riesgos extraordinarios. El granizo

y otros efectos indirectos de la precipitación, los rayos, los vientos fuertes inferiores a 120 km h⁻¹, los corrimientos y deslizamientos del terreno, los efectos de incendios forestales o de nieves no están incluidos en este seguro. A pesar de ello, estos datos permiten reflejar las principales amenazas climáticas en el territorio.

Durante el periodo 1994–2020¹, los eventos que generaron un mayor porcentaje de expedientes fueron las TCA (57,6 %) y las inundaciones (39,1 %), mientras que el 3,3 % de los expedientes correspondió a los embates de mar (se han incluido todos los expedientes y costes, sin distinguir por tipología de bienes dañados). Sin embargo, las inundaciones fueron los eventos que más daños han causado históricamente en el territorio, 78,1 % de las indemnizaciones en el periodo 1994–2020, seguidos de los embates de mar (11,7 %). Los embates de mar son los eventos con mayor coste medio por evento, 21.997 €². El hecho de que las mayores indemnizaciones se deban a eventos de inundación, tanto fluvial como costera, se debe a que las áreas urbanas, zonas industriales y otros elementos vulnerables se han desarrollado próximos a los ríos y a la costa, y en numerosas ocasiones sobre las zonas naturales de inundación.

1 Para los embates de mar se dispone de información para el periodo 1996–2018 y para las TCA el periodo 2006–2020.

2 Importe en euros actualizado a 31-12-2020.

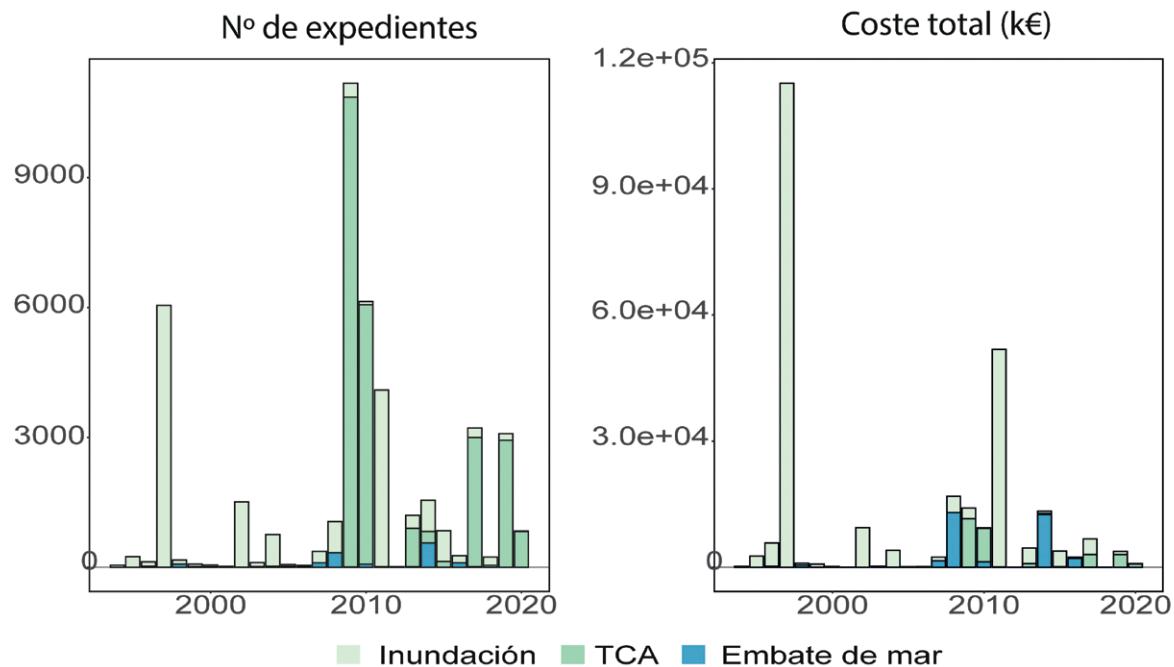


CAUSA	Nº EXPEDIENTES	%	COSTE (€)	%	COSTES MEDIOS
INUNDACIÓN	16.960	39,1	211.726.424	78,1	12.484
TCA	24.953	57,6	27.632.018	11,7	1.107
EMBATE DE MAR	1.438	3,3	31.631.272	10,2	21.97
TOTAL	43.351	-	270.989.714	-	6.251

3.1. Tabla. Resumen de todos los años para la serie 1994-2020. Importes en euros actualizados a 31-12-2020.

En cuanto a la evolución histórica del número de expedientes y daños producidos, en el caso de los embates de mar se ha producido un ligero incremento, no significativo, desde 2007. En cambio, en el caso de las inundaciones se ha producido un descenso. En el primero de los casos, este incremento puede deberse a que los años 2008 y, especialmente, 2014, se produ-

ieron numerosos temporales severos con daños muy significativos. En el caso de la disminución de los daños generados por inundaciones, hay que considerar que las distintas obras llevadas a cabo para disminuir el riesgo de inundación están consiguiendo un descenso significativo del riesgo y un descenso de los daños producidos.



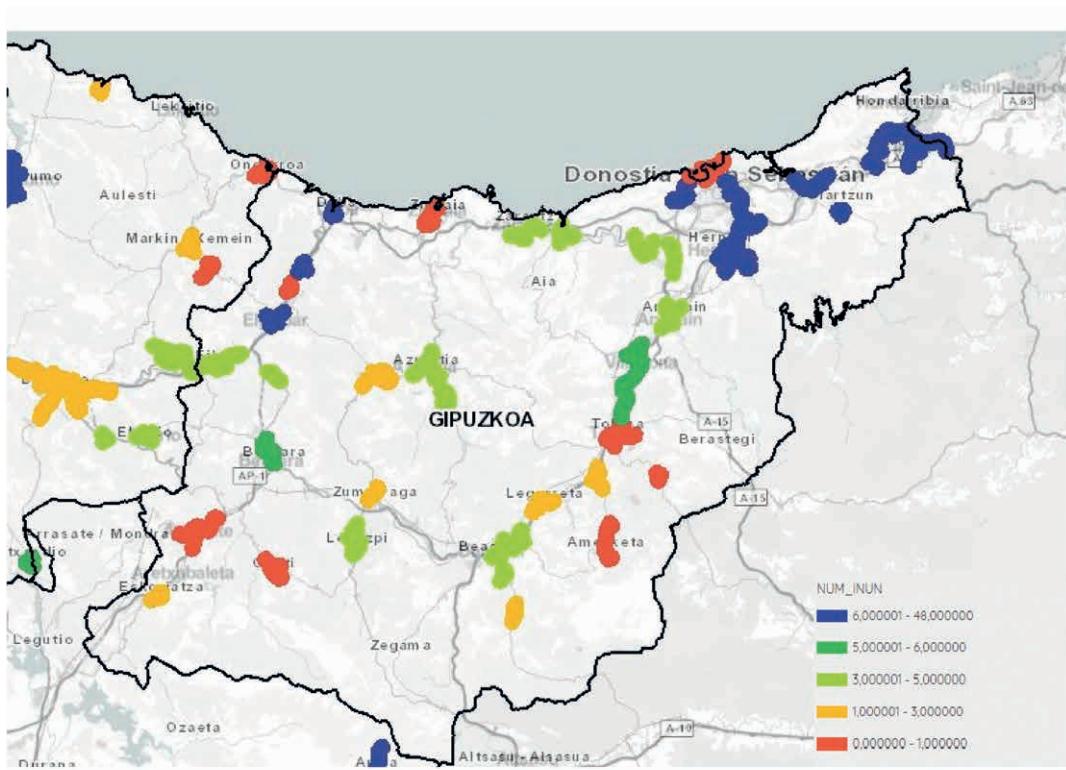
3.2. Fig. Distribución anual de (izq.) número de expedientes y (drcha.) coste total de las indemnizaciones para el periodo 1994-2020, en función del tipo de evento extraordinario. Importes en € actualizados a 31-12-2020.

3.1.1. INUNDACIONES

Las inundaciones han sido históricamente el principal riesgo natural del territorio, el que mayor número de vidas y costes económicos ha ocasionado. En el periodo analizado, 1994-2020, el coste total de los daños producidos por inundaciones asciende a 211 millones de euros³. Este periodo no tiene en cuenta los eventos de inundación más importantes y con altos costes económicos cubiertos por el CCS, como las inundaciones de octubre de 1945 y 1953, noviembre de 1979, diciembre de 1980 o agosto de 1983. En el Anexo I, se recoge el registro histórico de eventos de inundación, comenzando en 1593 y finalizando con las últimas inundaciones de diciembre

de 2021, indicando los municipios más afectados en cada evento y los impactos ocasionados. Este registro refleja que en la mayoría de las áreas de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs) se han producido de dos a tres eventos importantes, con algunas áreas concentrando más de 10 eventos históricos. Como se mencionaba anteriormente, la ejecución de obras para disminuir el riesgo y el papel regulador de los embalses, ha reducido la frecuencia y los daños de eventos en algunas de estas zonas. Por tanto, el análisis de eventos pasados no es necesariamente representativo de las inundaciones actuales (URA, 2021).

3 Importe actualizado a 31-12-2020.



3.3. Fig. Número de inundaciones registradas en cada una de las ARPSIs. Fuente: Geoeuskadi.

	Nº EXPEDIENTES	INDEMNIZACIÓN (€)	%	COSTE MEDIO
DAÑOS PERSONALES	1	2.131	0,0	2.131
VIVIENDAS	2.429	10.169.014	18,9	4.187
OFICINAS	39	762.331	1,4	19.947
COMERCIOS	627	18.674.280	34,7	29.784
INDUSTRIALES	333	21.536.959	40,1	64.676
VEHÍCULOS	698	2.257.847	4,2	3.235
OBRAS CIVILES	3	377.133	0,7	125.711
TOTAL	4.130	53.779.695	100	13.022

3.1. Tabla. Datos relativos al evento de noviembre de 2011. Importes en € actualizados a 31-12-2020. Datos: CCS.

Uno de los últimos grandes eventos de inundación, dada su extensión e impacto, tuvo lugar en noviembre de 2011, cuando en algunos puntos del territorio llegaron a acumularse más de 300 l m⁻² en menos de 48 horas. Este

episodio afectó principalmente a las zonas de Oiartzun, Bajo Urumea y Oria, aunque los problemas fueron generalizados en el territorio, ascendiendo el coste total de las indemnizaciones a 53.779.695 euros⁴. En este episodio, la

4 Importe actualizado a 31-12-2020.

mayoría de indemnizaciones cubrieron daños industriales, viviendas y comercios. El coste medio por expediente más elevado correspondió a los daños sobre las obras civiles.

El análisis de los episodios de lluvias persistentes y muy persistentes que han dado lugar a avisos de alerta naranja⁵ y roja⁶ para niveles de inundación de las estaciones de aforo del T.H. de Gipuzkoa por parte de la Agencia Vasca del Agua y la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología⁷, indica que estos avisos se han producido en eventos extremos en los que los acumulados de

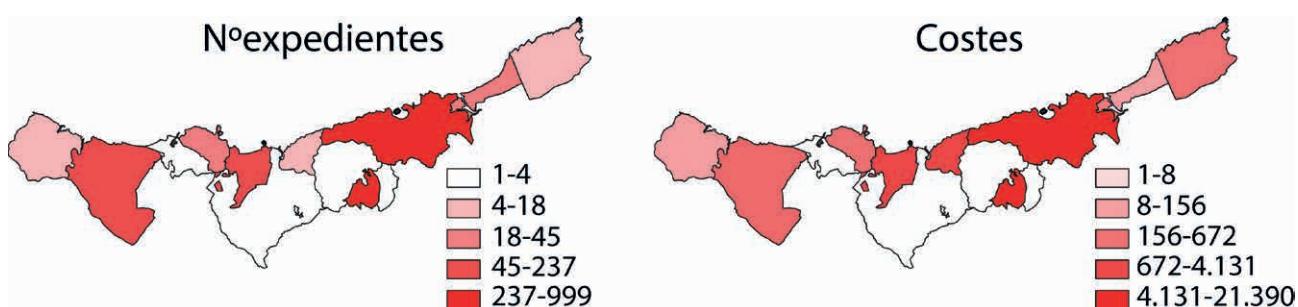
precipitación en dos-tres días superan los 80 l m^{-2} o tras periodos de precipitaciones persistentes y encadenadas en los que durante 5-10 días se acumulan cantidades importantes, por encima de los $150-200 \text{ l m}^{-2}$. En ocasiones también se producen inundaciones con acumulados de precipitación menores que coinciden con el deshielo de la nieve. Por último, los episodios tormentosos, muchas veces muy localizados y caracterizados por lluvia intensa en un corto espacio de tiempo, también pueden dar lugar a crecidas pasajeras locales y con ello pequeños desbordamientos de los ríos.

3.1.2. EMBATE DE MAR

Los embates de mar son los fenómenos meteorológicos que más daños causan por evento en el territorio. Durante el periodo analizado, el coste total de los daños producidos por estos eventos es de más de 31 millones de euros en los 13 municipios afectados. El 94 % de los daños se concentra en tres municipios costeros (Donostia, Orio y Zarautz) y el 80% en dos años concretos, 2008 y 2014, en los que se registran el 41 % y 40 % de los daños, respectivamente. Esto se debe a la excepcionalidad de 2014, año en el que se produjeron

8 temporales severos durante el invierno, coincidiendo en algunos casos las mareas vivas y alto periodo de oleaje, no tanto debido a la elevada altura de ola (Egaña & Gaztelumendi, 2020).

Los daños por embate de mar sobre las infraestructuras (obras civiles) y las industrias suman el 35 % del total, con un coste medio de 150 k€ por expediente, a pesar de suponer únicamente el 6 % de los expedientes por embate de mar (Gaztelumendi, 2020).

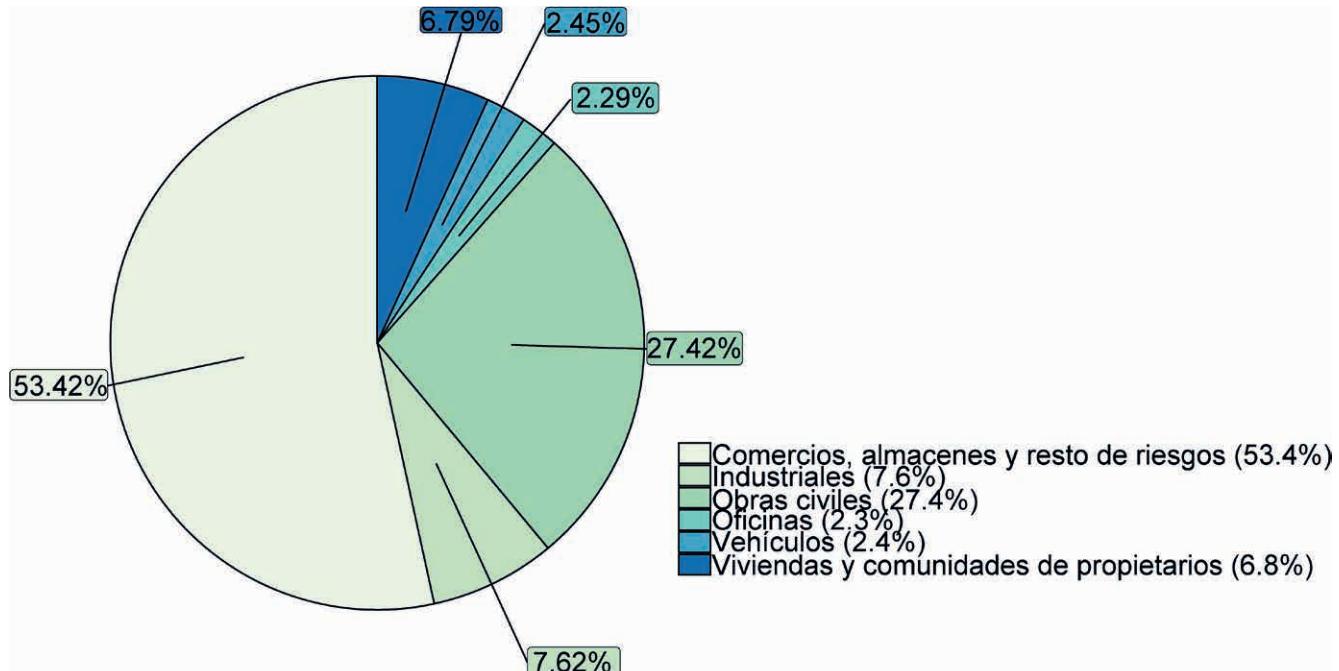


3.4. Fig. Distribución del (izq.) número de expedientes y (drcha.) costes (k€) para los municipios afectados por embate de mar para el periodo 1996-2018. Fuente: Gaztelumendi (2020).

⁵ Alerta naranja: situación fuera de normalidad. El nivel en la sección de control se corresponde con el caudal que eleva la lámina de agua hasta alcanzar la primera afección (corte de la primera carretera o inundación de la primera edificación).

⁶ Alerta roja: situación extrema. El nivel en la sección de control se corresponde con el caudal que provoca una inundación severa.

⁷ También hay inundaciones locales son que el caudal de los ríos rebase la zona de peligro. No se han considerado estos eventos en este análisis.



3.5. Fig. Distribución de daños por embate de mar. Fuente: Gaztelumendi (2020).

3.1.3. TCA

Las tempestades ciclónicas atípicas son los eventos extraordinarios que mayor número de expedientes ha generado (57,6 %) en el periodo 1994-2020 (73,1 % desde 2006 cuando comienzan a registrarse estos episodios extraordinarios). Sin embargo, en cuanto a los costes asociados, solo representan el 10,2 % de las indemnizaciones desde 1994 (17,1 % desde 2006), con un coste medio asociado a cada expediente de 1.107 €. La mayoría de daños se corresponden con el paso de temporales o depresiones extratropicales profundas.

El 44 % de los expedientes y 42 % de las indemnizaciones por TCA se produjeron durante un único año, 2009, correspondiendo la mayor parte de daños a los producidos por el paso de la depresión extratropical profunda Klaus, entre el 23 y 24 de enero. Durante este episodio las rachas de viento fueron muy generalizadas en todo el territorio.

ESTACIÓN	RACHA MÁXIMA (Km h ⁻¹)
JAIZKIBEL	157,7
ZARAUTZ	150,5
PUERTO PASAIA	134,3
ORDIZIA	127,0
ZEGAMA	118,9
BIDANIA	115,2

3.3. Tabla. Rachas máximas de viento registradas al paso de la tormenta Klaus. Fuente de datos: Euskalmet

3.2. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

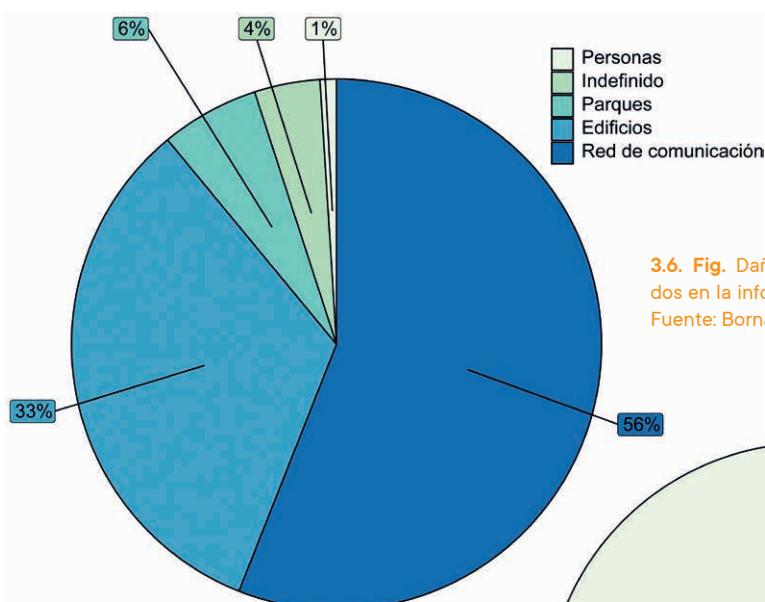
Además de la fuente directa de impacto proporcionada por el CCS, hay otras fuentes de información indirectas que proporcionan información relevante del impacto de las amenazas climáticas en las IC del territorio. Además, permiten considerar otras amenazas no contempladas en el seguro de riesgos extraordinarios. Se han recopilado los impactos de deslizamientos y nevadas, pero

no se han considerado los daños producidos por otras amenazas como calor extremo, sequía meteorológica o incendios meteorológicos debido a la dificultad de encontrar información o la menor incidencia histórica en el territorio. La principal fuente de información utilizada han sido los medios de comunicación escritos, principalmente la prensa escrita en versión digital.

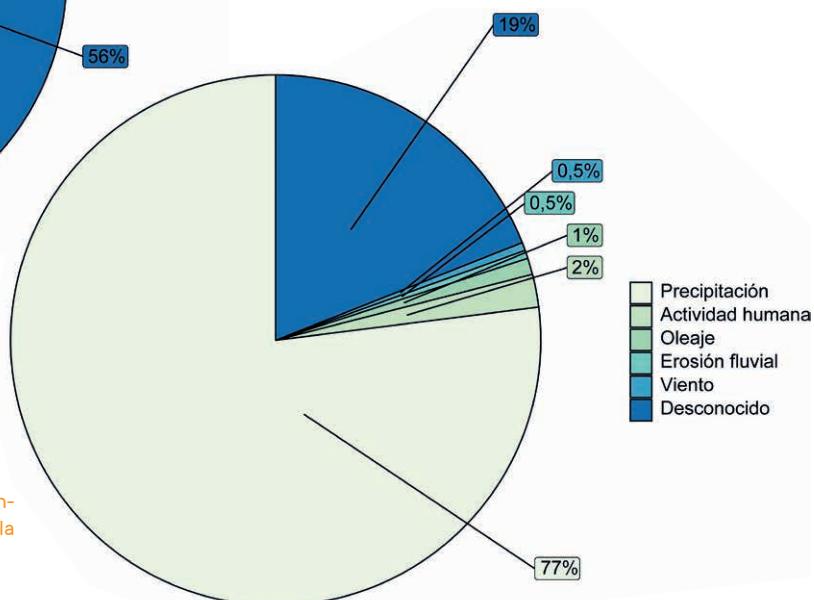
3.2.1. DESLIZAMIENTOS Y DESPRENDIMIENTOS

Los deslizamientos y desprendimientos provocan numerosos daños en el territorio, principalmente sobre las IC lineales, como vías de comunicación (56% de los casos) y, en menor medida, sobre los núcleos de población. A pesar de la relevancia de estos eventos en Gipuzkoa, a diferencia de las crecidas fluviales o los embates de mar,

apenas existen registros que hagan referencia a estas amenazas y sus consecuencias, centrándose la mayoría de ellos en incidencias sobre la explotación de infraestructuras viarias. Además, en ocasiones los daños provocados por deslizamientos y desprendimientos han podido ser atribuidos erróneamente a la lluvia o crecidas fluviales.



3.6. Fig. Daños causados por deslizamientos basados en la información disponible en la prensa escrita.
Fuente: Bornaetxea (2018).



3.7. Fig. Causa de ocurrencia de deslizamientos basado en la información disponible en la prensa escrita. Fuente: Bornaetxea (2018).

Los deslizamientos de tierra ocurren como combinación de factores meteorológicos, geológicos, morfológicos, físicos y humanos. En la mayoría de las ocasiones el factor condicionante de las inestabilidades del terreno deriva de la actividad antrópica (excavaciones, rellenos, muros de contención, etc.).

La recopilación bibliográfica de eventos pasados refleja que el principal factor desencadenante de los

deslizamientos producidos en Gipuzkoa es la precipitación (77 % de los casos). En el 19 % de los eventos se desconoce la causa. Los deslizamientos en masa están asociados a precipitaciones continuas con importantes acumulados, principalmente en períodos de tiempo de 5 a 10 días, mientras que las inestabilidades de flujo de barro se deben a precipitaciones intensas, tormentas o períodos de lluvia cortos con fuertes intensidades (DG-MA-DFG, 2022).

3.2.2. NEVADAS Y HELADAS

El número medio de días de nieve y de hielo es de unos 15 días. La nieve se registra generalmente en cotas medias-altas del territorio, aunque en ocasiones son abundantes a cualquier cota, llegando incluso al litoral.

Las principales afecciones asociadas a las nevadas son los problemas de circulación viaria y ferroviaria, con cortes temporales de vías, los cortes de suministro eléctrico o la clausura de centros escolares.

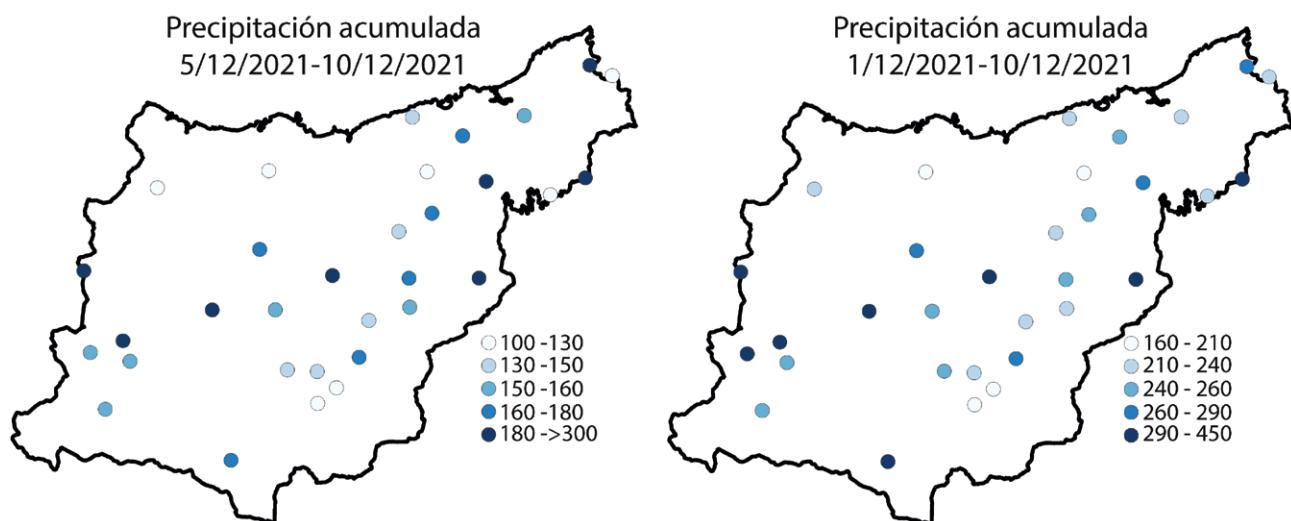


3.3. SELECCIÓN EJEMPLO EXTRAORDINARIO: DICIEMBRE 2021

Durante el evento extraordinario que tuvo lugar entre el 9 y 10 de diciembre de 2021 se produjeron numerosas afecciones en las IC del territorio, como por ejemplo cortes de carreteras por inundaciones y desprendimientos o la imposibilidad de acceder a centros de salud, colegios o zonas industriales debidos a estos cortes.

Durante este episodio, la precipitación total diaria media en las estaciones meteorológicas del territorio fue superior a 70 mm, superándose en alguna de ellas

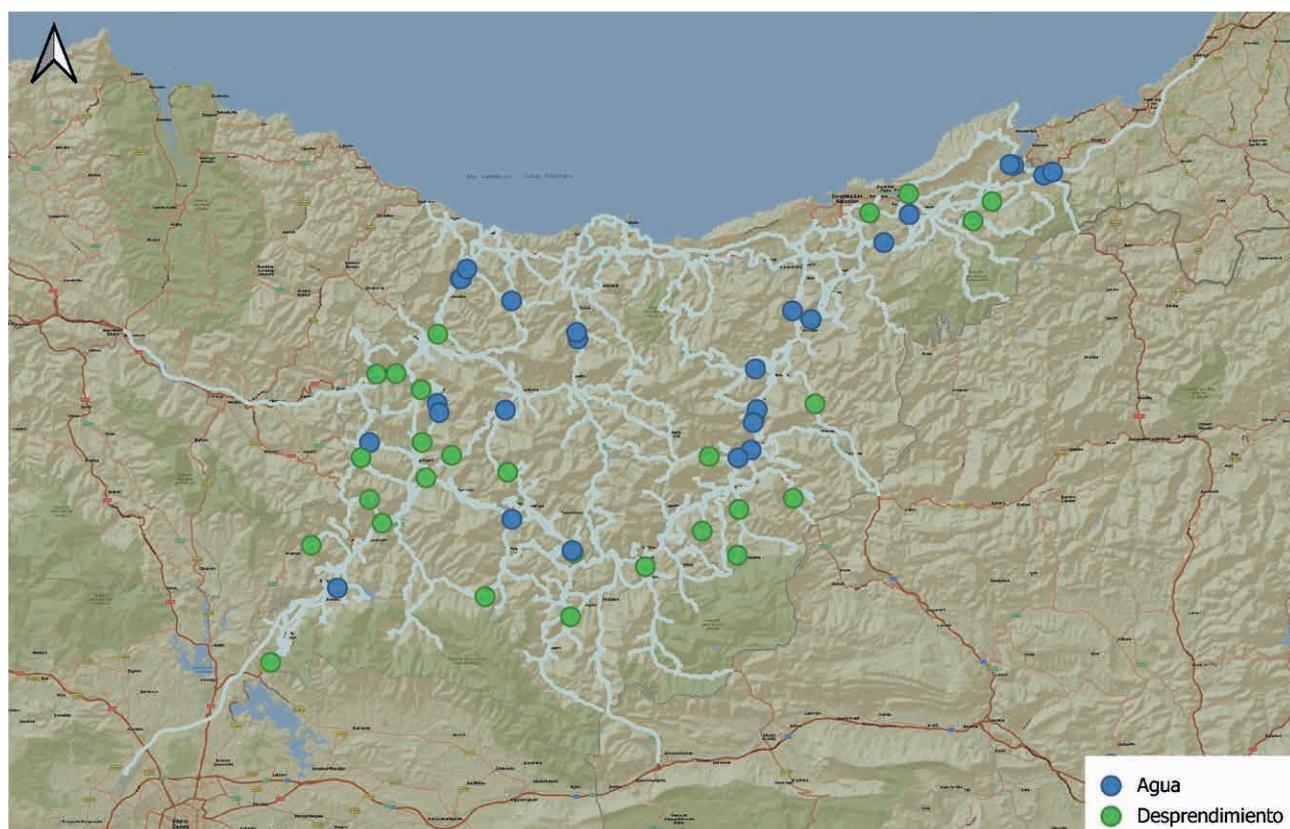
los 100 mm. Además, este evento se produjo tras 10 días de precipitaciones intensas ($Pr > 1 \text{ mm/día}$), en los que en las estaciones se acumularon más de 200 mm. Esta acumulación de precipitación, superando ampliamente los valores de precipitación media acumulada registrados durante este siglo, es lo que hacen este episodio extraordinario, y no tanto los retornos de los caudales punta registrados en las estaciones de aforo. Las solicitudes de indemnización por este episodio en el CCS han sido unas 537.



3.8. Fig. Precipitación acumulada (mm) en los (izq.) 5 días y (dcha.) 10 días previos al evento extraordinario del 10/12/2021. Fechas comprendidas entre el 01/12/2021 y 10/12/2021. Fuente datos: Euskalmet, AEMET.

A modo de ejemplo, para entender las afecciones producidas durante este episodio sobre las IC del territorio, se muestran las incidencias de tráfico ocurridas en la red de carreteras del T.H. entre el 9 y 10 de diciembre de 2021. Para ello, se consultó la página web de Tráfico del Departamento de Seguridad del Gobierno Vasco (<https://www.trafikoa.euskadi.eus/>) y se han seleccionado las incidencias tipo “agua” (balsas de agua e inundación fluvial) y “desprendimiento”. Algunas de estas incidencias ocasionaron el corte total de la circulación, mientras que

en otras simplemente se produjeron retenciones o cortes parciales de algún carril (no se especifica esta información en la figura 3.9). Se observa el elevado número de incidencias concentradas en las cuencas del Deba, Oria y Bidasoa. Las afecciones en las infraestructuras del transporte ocasionaron interrupciones al tráfico y afecciones en otras IC, como el aislamiento del hospital de Mendaro o la imposibilidad de acceder a ciertos polígonos industriales. Esto refleja también la interdependencia entre las IC y los efectos cascada que se pueden producir.



3.9. Fig. Incidencias de tráfico registradas entre el 9 y 10 de diciembre de 2021. Incidencias debidas a desprendimientos (verde) y a la presencia de agua (balsas de agua e inundación fluvial, en azul).

3.4. RESUMEN DE LOS IMPACTOS HISTÓRICOS OBSERVADOS

Se han analizado los impactos históricos que han causado las amenazas climáticas analizadas sobre las IC del territorio. Para ello, se ha realizado una revisión de los impactos de fenómenos meteorológicos extremos recogidos en los medios de comunicación, principalmente la prensa escrita. Esta información sirve de análisis inicial del posible agravamiento de los impactos debidos al cambio climático (en términos de frecuencia y severidad), y orientación sobre el tipo de efectos que pueden producirse. Estos potenciales impactos también permitirán la identificación de las cadenas de impacto a priorizar y sobre las que se enfocará la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de las IC del T.H. de Gipuzkoa en los siguientes capítulos.

En los episodios de inundaciones severas, tanto fluviales como pluviales, los principales impactos sobre las IC han sido los cortes en las redes de transporte por carretera y ferroviario, la inundación y la imposibilidad de acceder a polígonos industriales. Los impactos sobre el sector energético, generando principalmente cortes de suministro eléctrico, se deben a la inundación de subestaciones o transformadores. Otros impactos, aunque menos frecuentes, son el aislamiento de algunos centros de salud o la suspensión de clases en colegios. En todos estos eventos suelen actuar los servicios de bomberos y protección civil.

Los embates de mar generan impactos principalmente en la red viaria y en el transporte marítimo. Es común, por ejemplo, el corte de la carretera N-634 entre Getaria y Zarautz por el impacto del oleaje o el cierre del puerto de Pasaia por las malas condiciones meteorológicas.

En el caso de las TCA, los principales problemas ocasionados son los cortes en la red viaria, debido a la caída de objetos como ramas o troncos o la propia señalización de tráfico, y cortes del suministro eléctrico, también por la caída de árboles sobre el tendido eléctrico. También se producen afecciones en el transporte aéreo, teniendo que desviar vuelos a aeropuertos cercanos.

Los principales impactos de los deslizamientos y desprendimientos, nieve y hielo se producen sobre la red vial y ferroviaria y en menor medida sobre las infraestructuras de energía eléctrica.

En la siguiente tabla se resume los impactos históricos observados durante la última década, especificando la frecuencia de ocurrencia, sobre las distintas IC para cada una de las amenazas o conductores del impacto climático analizados.

SECTOR	SUBSECTOR	IC	CALOR EXTREMO	HELADAS	INUNDACIONES FLUVIALES	PRECIPITACIÓN EXTREMA E INUNDACIÓN PLUVIAL	DESLIZAMIENTOS	SEQUÍA METEOROLÓGICA	INCENDIO METEOROLÓGICO	FUERTES TORMENTAS DE VIENTO	NEVADAS	INUNDACIÓN COSTERA
ENERGÍA	Electricidad	Centros de transformación, distribuidoras, subestaciones, líneas de baja, media y alta tensión, central hidroeléctrica										
	Petróleo y derivados	Refinerías, oleoductos, terminales portuarias, depósitos										
	Gas	Estación compresora, gasoductos, red de distribución										
TRANSPORTE	Transporte por carretera	Vías, centros de control de tráfico, plataformas logísticas, intercambiadores										
	Transporte aéreo	Aeropuertos, helipuertos										
	Transporte marítimo	Puertos, puntos de mercancías, terminales de pasajeros										
	Transporte ferroviario	Vías ferroviarias, funicular, estaciones										
TIC	Medio de comunicación	Antenas, repetidores, estaciones de emisión, tendidos										
	Internet	Centrales telefónicas, centros de datos										
SALUD	Asistencia sanitaria	Hospitales, centros de salud										
ALIMENTACIÓN	Industria alimentaria	Centros de transformación										
	Distribución y comercialización	Centros de distribución, centros logísticos, mercados mayoristas										
AGUA	Almacenamiento y distribución	Embalses, captaciones, depósitos, bombas										
	Tratamiento	Potabilizadoras										
	Sistema de drenaje y saneamiento	Colectores y red de saneamiento, tanques de tormenta, depuradoras										

 Ninguno/Bajo: Ninguno o menos de 1 episodio cada 5 años en la última década  Moderado: Al menos 1 episodio cada 5 años en la última década  Alto: Al menos 1 episodio cada 2 años en la última década

3.4. Tabla. Análisis de los impactos históricos observados.

SECTOR		SUBSECTOR		IC									
SIST. FINANCIERO	Entidades bancarias	Bancos centrales. Centros de datos		CALOR EXTREMO	HELADAS	INUNDACIONES FLUVIALES	PRECIPITACIÓN EXTREMA E INUNDACIÓN PLUVIAL	DESLIZAMIENTOS	SEQUÍA METEOROLÓGICA	INCENDIO METEOROLÓGICO	FUERTES TORMENTAS DE VIENTO	NEVADAS	INUNDACIÓN COSTERA
INST. INVESTIGACIÓN	Centros de investigación	Laboratorios y almacenamientos											
ADMINISTRACIÓN	Seguridad ciudadana	Cuartel de bomberos, comisarías de policía, protección civil											
	Servicios de emergencias	Infraestructuras que se utilizan en situaciones de emergencia											
INDUSTRIA QUÍMICA	Instalaciones químicas	Instalaciones industriales SEVESO											
ESPACIO	Instalaciones espaciales	Antenas, centros de control y telecomunicaciones											
SOCIAL	Educación	Centros escolares											
ESIDUOS	Infraestructuras de gestión de residuos	Planta de separación de envases, planta de compostaje, Complejo Medioambiental											

 Ninguno/Bajo: Ninguno o menos de 1 episodio cada 5 años en la última década
  Moderado: Al menos 1 episodio cada 5 años en la última década
  Alto: Al menos 1 episodio cada 2 años en la última década

3.4. Tabla. Análisis de los impactos históricos observados.



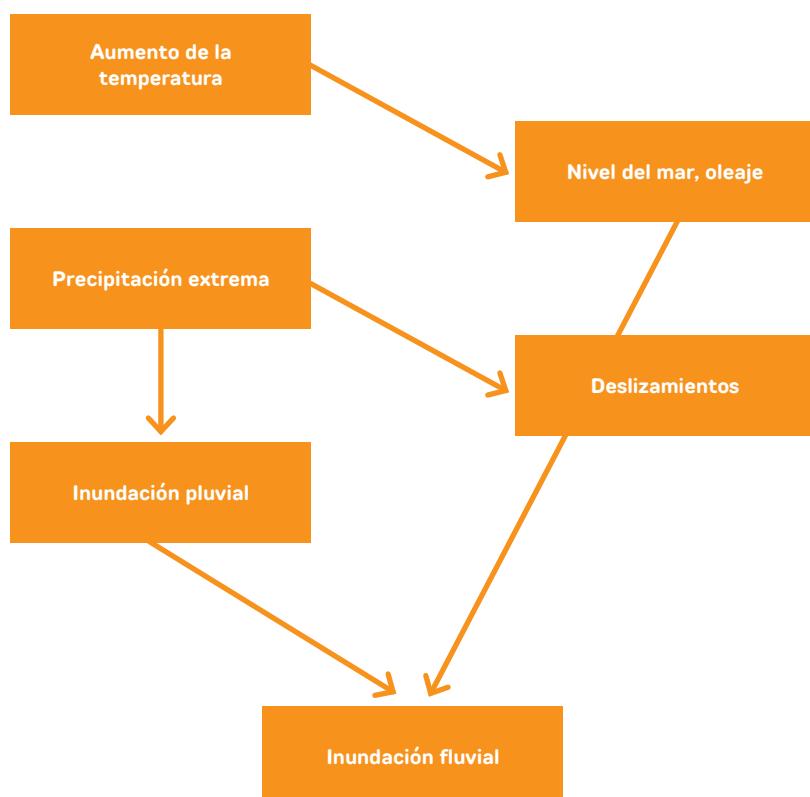


El proceso de análisis del riesgo debe comenzar por un conocimiento detallado de las condiciones climáticas actuales y de las posibles tendencias climáticas futuras que podrán suponer una amenaza para las IC objeto de estudio en los escenarios de cambio climático.

Bajo el término cambio climático se agrupan todos aquellos cambios a los que se van a ver sometidas las propiedades estadísticas del clima a largo plazo originados por la acción antrópica. El último informe sobre las bases físicas del cambio climático (IPCC-AR6,2021), identifica 28 impulsores o “drivers de impacto climático” (cambios tanto en los valores medios como en la variabilidad, frecuencia e intensidad de extremos). Estos son índices climáticos agrupados en seis categorías principales, (1) calor y frío, (2)

húmedo y seco, (3) viento, (4) nieve y hielo, (5) costa, (6) oceánico. Se proyecta que, cada una de las regiones de la Tierra experimentará cambios en al menos entre cinco y diez de estas condiciones en las próximas décadas, aumentando o disminuyendo su frecuencia.

Además, según el informe especial ‘Global Warming of 1.5°C’ (IPCC,2018) y también el último informe del IPCC (AR6, 2021) es previsible que aumente el riesgo de los eventos climáticos extremos (ligados a los riesgos climáticos) a medida que aumente la temperatura, por lo que el nivel de daños que podrían generar aumentaría si las condiciones que determinan el nivel de riesgo no se modifican, fundamentalmente en lo relacionado con la vulnerabilidad (susceptibilidad y capacidad de adaptación).



4.1. Fig. Principales peligros climáticos.

Debido a la incertidumbre existente en el comportamiento futuro del clima y especialmente en los efectos del cambio climático, debido principalmente a que estos dependen de acciones actuales y futuras de la humanidad, el análisis de efectos del cambio climático se hace en base a escenarios. En este caso, se han empleado los escenarios climáticos generados para el quinto informe de evaluación del IPCC (IPCC AR-5, 2013), que establecen incrementos de forzamiento radiativo generados por la actividad humana. Estos escenarios se basan en cuatro 'vías representativas de concentración' (RCP por sus siglas en inglés) identificados por su forzamiento radiativo total (no las emisiones) aproximado en el año 2100, en relación con 1750: 2,6 W m⁻² (RCP2.6), 4,5 W m⁻² (RCP4.5), 6,0 W m⁻² (RCP6.0) y 8,5 W m⁻² (RCP8.5). El escenario RCP8.5 implica un futuro con un crecimiento continuo y elevado de las emisiones de gases de efecto invernadero, con esfuerzos limitados para reducir las emisiones, mientras que los otros RCPs representan vías de mitigación. Es el escenario en el que el calentamiento es mayor, generando un mayor grado de intensidad de los riesgos climáticos. Como en muchos análisis de impacto sectorial, el análisis presentado en este informe utiliza un subconjunto de RCPs, en este caso se ha seleccionado el más pesimista de todos, el RCP8.5.

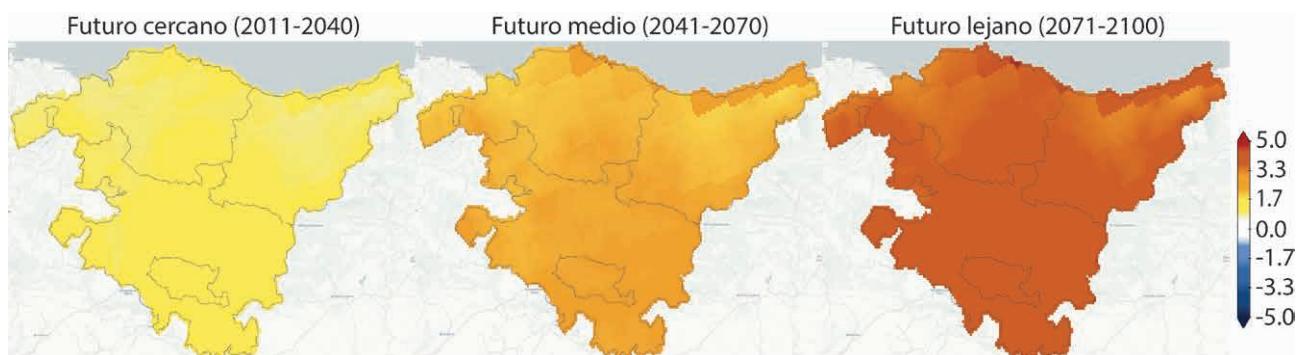
De acuerdo con el Plan General de Seguridad Pública de Euskadi, los fenómenos meteorológicos más relevantes que ejercen un impacto sobre las IC son las inundaciones, deslizamientos de terreno, vientos fuertes, nevadas y temperaturas bajas extremas, temperaturas extremas altas, sequías e incendios forestales. En este capítulo se describe brevemente los principales cambios esperados en estas amenazas climáticas en el escenario futuro de cambio climático seleccionado. Para cada una de ellas, en función de la información disponible, se analiza la existencia de tendencias pasadas y las proyecciones para las próximas décadas para los escenarios de cambio climático.

Con el fin de reducir los efectos de la variabilidad interanual y obtener resultados que sean más representativos, el análisis utiliza períodos de 30 años en el futuro (2011-2040, 2041-2071 y 2071-2100). Se suele asumir que en cada uno de estos períodos las variables que se emplean para caracterizar el clima tienen un valor estacionario. Los plazos seleccionados proporcionan una cobertura suficiente de los períodos de tiempo a lo largo del siglo, incluyendo una estimación razonable de los impactos de finales del siglo.

4.1. CALOR Y FRÍO

Las proyecciones de temperatura media anual muestran, en general, un incremento progresivo a lo largo del S. XXI, más intenso para el otoño e invierno que para la primavera y verano (Neiker, 2021). En concreto, señalan

incrementos para la temperatura media anual en el escenario RCP8.5, de $1,9 \pm 0,5$ °C en el periodo 2041-2070 y de $3,3 \pm 0,5$ °C para el periodo 2070-2100.



4.2. Fig. Anomalías (periodo base 1971-2000) temperatura máxima (°C).
Fuente: Escenarios regionales de cambio climático de alta resolución
sobre el País Vasco.

Para la temperatura máxima las proyecciones indican una evolución similar a la descrita para la temperatura media. Los mayores incrementos a final de siglo se esperan para el otoño y verano ($\sim 4^{\circ}\text{C}$) y menores en primavera e invierno ($\sim 3\text{--}3,5^{\circ}\text{C}$). El incremento de la temperatura superficial global también afectará a la frecuencia e intensidad de eventos de temperaturas extremas y olas de calor (Russo et al., 2014). La severidad de las olas de calor depende de distintos factores como la duración, la intensidad relativa o la intensidad absoluta. Las proyecciones

regionalizadas para el territorio señalan un incremento respecto al periodo base (1971–2000) del número de días de calor, definidos como el número de días al año que se supera el percentil 90 de la temperatura máxima diaria, de unos 21 días para el periodo 2041–2070 y de hasta 90 días para el último periodo de análisis en el escenario RCP8.5. Asimismo, se proyecta un incremento en la frecuencia y duración de olas de calor, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XXI.

	2011-2040	2041-2070	2071-2100
TEMPERATURA MEDIA ($^{\circ}\text{C}$)	$0,8 \pm 0,3$	$1,9 \pm 0,5$	$3,3 \pm 0,5$
TEMPERATURA MÁXIMA ($^{\circ}\text{C}$)	$0,9 \pm 0,3$	$1,9 \pm 0,5$	$3,4 \pm 0,6$
DÍAS CÁLIDOS	$11,3 \pm 4,7$	$25,7 \pm 8,6$	$50,1 \pm 8,2$
Nº DÍAS CON T MAX $> 35^{\circ}\text{C}$	$1,4 \pm 0,8$	$4,2 \pm 1,9$	$10,4 \pm 2,6$
DURACIÓN DE OLAS DE CALOR (DÍAS/OLA)	$1,0 \pm 1,0$	$2,8 \pm 1,0$	$4,45 \pm 1,0$
Nº DÍAS CON T MAX $> 40^{\circ}\text{C}$	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,4$	$1,9 \pm 1,6$
MAGNITUD MEDIA DE LAS T QUE EXCEDEN DE T MAX $= 40^{\circ}\text{C}$	$-0,1 \pm 0,2$	$0,2 \pm 0,2$	$0,4 \pm 0,2$
TEMPERATURA MÍNIMA ($^{\circ}\text{C}$)	$0,9 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,5$	$3,3 \pm 0,5$
NÚMERO DE DÍAS DE HELADA	$-5,9 \pm 1,7$	$-9,0 \pm 2,0$	$-12,1 \pm 0,9$

4.1. Tabla. Anomalías (periodo base 1971–2000) proyectados para distintas variables asociadas con la temperatura para el escenario RCP8.5 y tres períodos de impacto. Datos regionalizados para el T.H. de Gipuzkoa. Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe–Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: “ESCENARIOS” y “ESCENARIOS II”) y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, “LIFE-IP URBAN KLIMA 2050”) y colección de Escenarios PNACC 2017.

También la temperatura mínima muestra la misma evolución, con incrementos a mitad de siglo de $\sim 2^{\circ}\text{C}$ y $\sim 3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ a final de siglo, mayores en otoño e invierno ($\sim 3,5\text{--}4^{\circ}\text{C}$) y menores en primavera y verano ($\sim 3\text{--}3,5^{\circ}\text{C}$). Re-

lacionado con este incremento de la temperatura mínima, los modelos proyectan una disminución en el número de días de helada ($T_{\text{min}} < 0^{\circ}\text{C}$) que se intensifica a medida que avanza el siglo.

4.2. HÚMEDO Y SECO

4.2.1. PRECIPITACIONES INTENSAS

Los eventos de precipitación intensa incluyen tanto los eventos de corta duración y de alta intensidad, así como los eventos de baja intensidad y de larga duración. Ambos pueden dar lugar, entre otros, a inundaciones o deslizamientos.

En los episodios de precipitación intensa son difíciles de detectar tendencias claras en el tiempo, ya que, el número de eventos es pequeño y se producen con intervalos irregulares y con una intensidad irregular, y con gran variabilidad interanual, además de ser eventos muy localizados en algunos casos. A pesar de ello, se ha observado que el forzamiento antropogénico ha contribuido a intensificar, a escala global, las precipitaciones intensas en la segunda mitad del siglo XX (Min et al., 2011; Zhang et al., 2013).

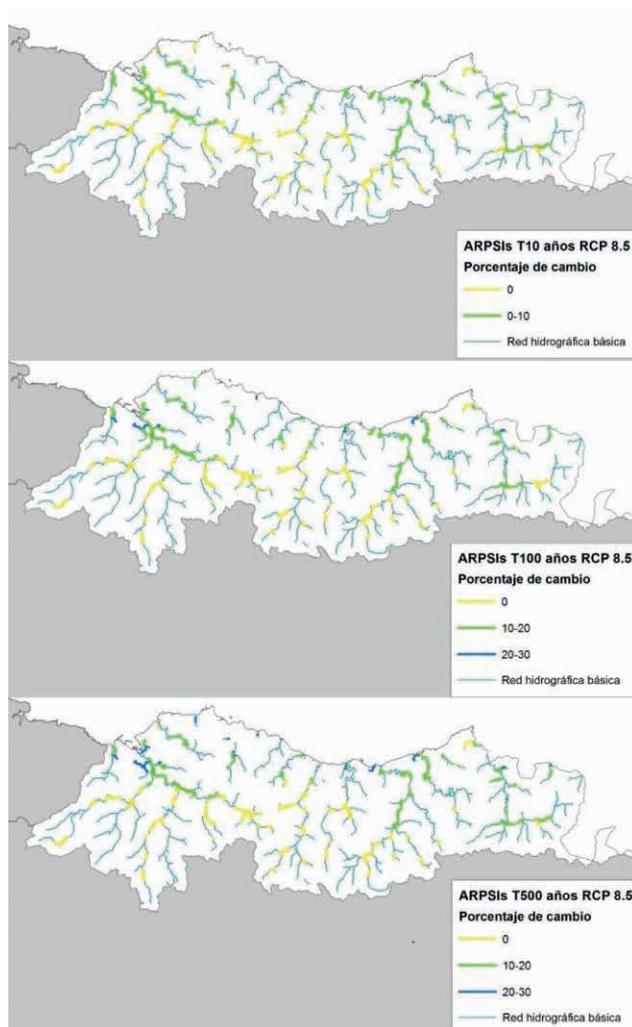
En el caso de Gipuzkoa, el análisis de la precipitación máxima diaria muestra una ligera reducción desde 1990 (DGOH-DFG, 2017). Esta reducción acompaña a un ligero incremento en la intensidad (mm h^{-1}) de las tormentas, aunque su duración sea más corta, señalando esto un incremento de la torrencialidad. En cuanto a las precipitaciones extremas, analizadas como el número de días al año que se supera el percentil 75 de la serie correspondiente a cada una de las estaciones meteorológicas analizadas, tampoco se observa en general tendencias significativas, salvo en algunas estaciones al este del territorio, como en Hondarribia-Malkarroa. Tampoco se observan cambios en el máximo anual de precipitación acumulada en 5 días.

	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Nº DÍAS DE LLUVIA	-1 ± 5 %	-6 ± 4 %	-14 ± 5 %
Nº DÍAS DE PRECIPITACIÓN INTESA (PR > 10 mm)	+4 ± 8 %	-2 ± 7 %	-11 ± 7 %
Nº DÍAS DE PRECIPITACIÓN MUY INTESA (PR > 20 mm)	+6 ± 11 %	+1 ± 9 %	-6 ± 10 %
Nº DÍAS CON PRECIPITACIÓN POR ENCIMA DEL PERCENTIL 95	+7 ± 1%	+7 ± 1 %	0 ± 1 %
Nº MÁXIMO DE DÍAS HÚMEDOS CONSECUTIVOS	-4 ± 7 %	-5 ± 8 %	-12 ± 10 %
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS	+2 ± 6 %	+4 ± 5 %	+2 ± 7 %
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 5 DÍAS	+2 ± 9 %	+3 ± 9 %	-3 ± 8 %
PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA PARA T = 10 AÑOS	+8 ± 16 %	+15 ± 18 %	+14 ± 23 %
PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA PARA T=25 AÑOS	+10 ± 19 %	+17 ± 21 %	+16 ± 26 %
PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA PARA T = 50 AÑOS	+11 ± 21 %	+19 ± 23 %	+18 ± 29 %
PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA PARA T=100 AÑOS	+12 ± 24 %	+20 ± 24 %	+19 ± 32 %
PORCENTAJE DE DÍAS MUY LLUVIOSOS	+8 ± 2 %	+14 ± 2 %	+15 ± 3 %

4.2. Tabla. Cambios relativos (periodo base 1971-2000) proyectados para distintas variables asociadas con la precipitación para el escenario RCP8.5 y tres períodos de impacto. Datos regionalizados para el T.H. de Gipuzkoa. Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Irtibai-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050") y colección de Escenarios PNACC 2017.

El estudio sobre el impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España (CEDEX, 2021), señala que, para los distintos escenarios de cambio climático, para nuestra región no son esperables cambios significativos en la precipitación máxima diaria, ni tampoco para variables asociadas como el número de días de precipitación intensa, el número de días húmedos consecutivos o el máximo de precipitación acumulada en 5 días. En el caso de la precipitación horaria máxima anual, las proyecciones indican una intensificación muy notable en el escenario RCP8.5, principalmente en el último periodo de cálculo (2071-2100) y mayor para mayores períodos de

retorno. Esto indica una tendencia al incremento de las precipitaciones para intervalos temporales más pequeños y, por tanto, una mayor aportación de los extremos en la cantidad anual de precipitación y un incremento de la torrencialidad, de acuerdo con la idea general de que el efecto del cambio climático es mayor en lluvias extremas asociadas con duraciones de lluvia más cortas (Westra et al., 2014). No se proyectan cambios significativos para las precipitaciones máximas para distintos períodos de retorno. Todas estas proyecciones están sujetas a una mayor incertidumbre que las correspondientes para la temperatura.



4.3. Fig. Tasa de cambio en cuantil de precipitación diaria máxima anual acumulada para las ARPSI de la D.H. del Cantábrico Oriental para el periodo de impacto 2041-2070 en relación al modelo SQRT-R para los escenarios de retorno de 10 (arriba), 100 (medio) y 500 años (abajo) para el escenario RCP8.5. Fuente: Revisión y actualización del plan de gestión del riesgo de inundación (PGRI 2º ciclo). Ura (2021).

Las proyecciones de precipitación máxima diaria y precipitación máxima acumulada en cinco días consecutivos para las distintas cuencas hidrográficas del territorio, tampoco señalan cambios significativos para el escenario RCP8.5 en ninguno de los períodos temporales de análisis.

Trasladando las proyecciones de precipitación diaria máxima anual a las ARPSI del territorio, en el plazo medio 2041-2070, únicamente se esperan cambios mayores al 10% en el escenario RCP8.5 en 7 de ellas, principalmente próximas a la costa y para períodos de retorno elevados.

4.2.2. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INUNDACIÓN

Las inundaciones constituyen el principal riesgo natural de nuestro territorio. Las inundaciones son fenómenos complejos, resultado de la interrelación de numerosos factores como las causas meteorológicas (precipitaciones extremas), características físicas de la cuenca, topografía de las zonas inundables, la capacidad de drenaje, o cambios en los usos del suelo y vegetación.

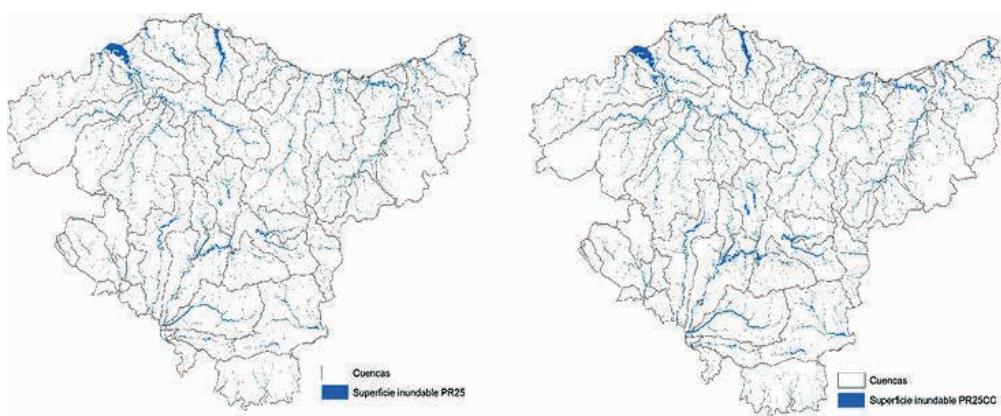
Las inundaciones pueden ser pluviales o fluviales. Ambas son desencadenadas por episodios de lluvias intensas

y suele haber una coincidencia en las áreas afectadas. Las proyecciones climáticas predicen un incremento probable de las precipitaciones máximas diarias y un aumento de los episodios tormentosos para nuestra región. Sin embargo, es difícil estimar la evolución futura de las inundaciones debido, por un lado, a la incertidumbre de las propias proyecciones climáticas y por otro, a la dificultad de tener en cuenta el resto de factores que determinan estos fenómenos en un escenario de cambio climático, como la cubierta vegetal o los usos del suelo.

4.2.2.1. INUNDACIONES PLUVIALES

Las inundaciones pluviales están directamente relacionadas con la lluvia que cae sobre la superficie y que puede dar lugar a inundaciones al no poder ser evacuada convenientemente. En este tipo de inundaciones juega un papel fundamental la permeabilidad del suelo y los sis-

temas de saneamiento y drenaje, ya que, si estos no son capaces de desalojar el agua al ritmo necesario, se acumula sobre la superficie, afectando por ejemplo a las zonas urbanas o a la operativa de las infraestructuras viarias.



4.4. Fig. Mancha de inundación pluvial para el periodo de retorno de 25 años (izq.) bajo el escenario actual (PR25) y (drcha.) bajo el escenario de cambio climático RCP8.5 y periodo 2041-2070 (PR25CC) (Ihobe, 2022).

Se espera que el riesgo de inundación pluvial aumente significativamente en el futuro como resultado del cambio climático, ya que, es probable que aumente la magnitud y la frecuencia de los eventos de precipitación extrema. Las proyecciones climáticas regionalizadas señalan una tendencia al incremento en las lluvias extremas y torrencialidad, lo cual puede aumentar la peligrosidad de las inundaciones pluviales. La probabilidad de que ocurran es mayor en zonas con alta proporción de superficies as-

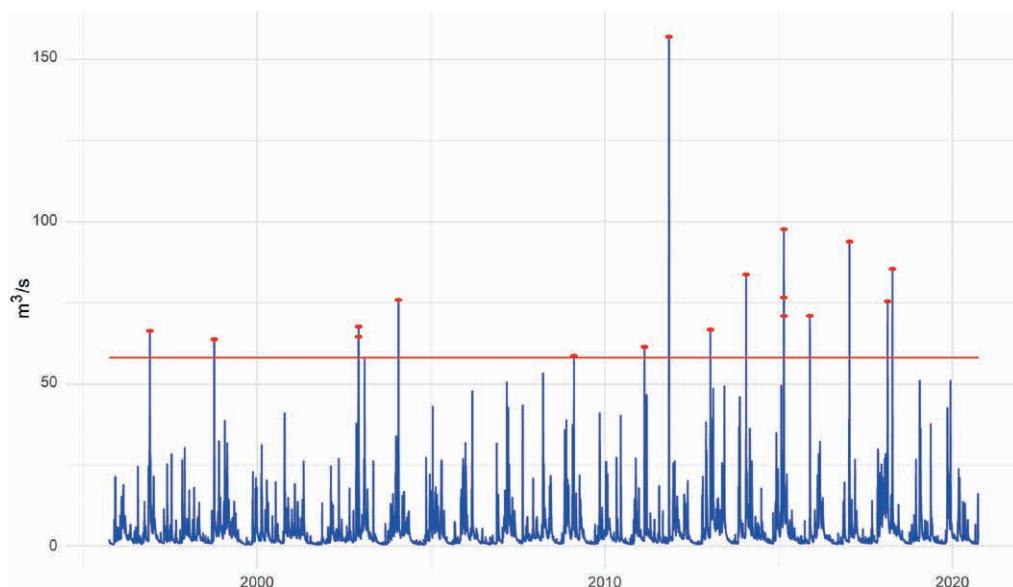
faltadas y pavimentadas, lo que limita la infiltración de agua y aumenta la cantidad de agua que se acumula en la superficie.

En un estudio reciente (Ihobe, 2022) se ha analizado el fenómeno de la inundación pluvial bajo varios escenarios climáticos para la CAPV (Fig. 4.4). Este estudio señala un incremento de la superficie de inundabilidad bajo el escenario RCP8.5 en el periodo de análisis 2041-2070.

4.2.2.2. INUNDACIONES FLUVIALES

La observación de tendencias en la frecuencia e intensidad de las inundaciones fluviales son inciertas debido a la baja ocurrencia temporal y espacial de las inunda-

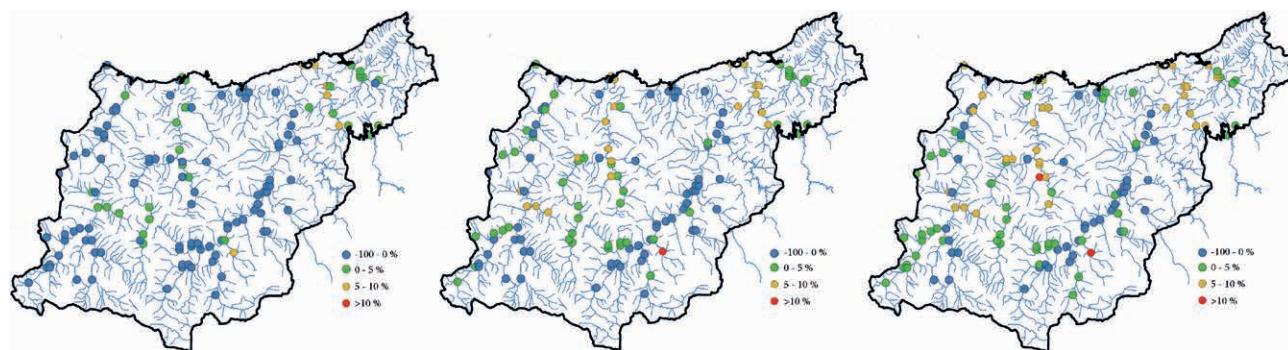
ciones y también debido a cambios en la morfología de los ríos o en los usos del suelo de las llanuras de inundación, así como el efecto del cambio climático.



4.5. Fig. Serie histórica del caudal medio diario en la estación de aforo de Leitzaran. La línea roja indica el caudal medio máximo anual. Los puntos en rojo indican los días en los que se superó dicho caudal máximo medio anual. En el Anexo II pueden encontrarse el resto de estaciones de la red permanente de estaciones.

El análisis de tendencias de las series temporales de caudal máximo anual de la red de estaciones de aforo de la DGOH-DFG, indica un aumento significativo en 10 estaciones, principalmente en las cuencas del Oria, Urola y Oiartzun. Asimismo, al analizar la ocurrencia de eventos extremos, definidos como el número de días al año con caudal superior al percentil 90 de la serie correspondiente a cada estación, los resultados indican tendencias po-

sitivas significativas en las cuencas situadas más al este del territorio. Sin embargo, para el incremento de eventos anuales de precipitación extrema, definidos como la precipitación superior al percentil 75 de cada serie, no se ha observado en prácticamente ninguna estación meteorológica, salvo en estaciones de la desembocadura del Bidasoa (Anexo II).

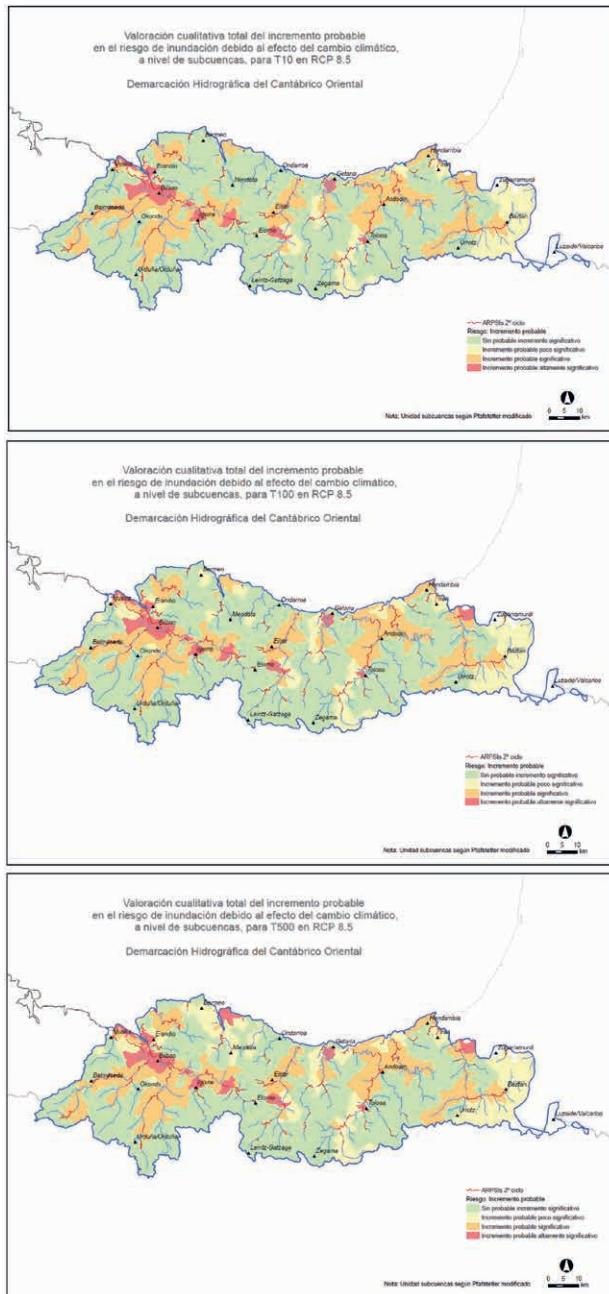


4.6. Fig. Variación porcentual de caudales (-100-0 % en azul, 0-5% en verde, 5-10% naranja y >10% en rojo) para el escenario de cambio climático RCP8.5 respecto al clima actual para los períodos de retorno de (izq.) 10, (medio) 25 y (drcha.) 50 años. Fuente: DGOH-DFG (2018).

Un estudio de los cambios de inundabilidad por efecto del cambio climático en Gipuzkoa (DGOH-DFG, 2018), indica que puede haber tanto aumentos como disminuciones en los caudales extremales para períodos de retorno de T=10, T=25 y T=50 años para distintos puntos analizados bajo el escenario RCP8.5. La variación porcentual de los caudales para los distintos períodos de retorno varía entre un -9 - +15% para la cuenca del Deba, -4 - +6% en el Oria, 0 - 37% en el Urola, 6 - 8% en el Urumea y 5 - 7% en la cuenca del río Oiartzun, mayores para los períodos de retorno más elevados. En este estudio no se estimaron los cambios de caudal en la cuenca del Bidasoa.

En el estudio de las posibles repercusiones del cambio climático en la incidencia de inundaciones realizado en el marco de la revisión y actualización del plan de gestión del riesgo de inundación de 2º ciclo (URA, 2019), se

señala que los cambios en el régimen de precipitaciones y en la evapotranspiración, debido al cambio climático, darían lugar en el horizonte 2100 a aumentos en los caudales de avenida para períodos de retornos de T=100 y T=500 años, siendo nulos o con una ligera tendencia a la disminución para T=10 años. Hay que señalar que estos posibles incrementos de caudales de avenida no se traducen en un aumento proporcional de la inundabilidad. La probabilidad de desbordamiento de los cauces y el comportamiento de las llanuras de inundación dependen de múltiples factores que a su vez pueden experimentar cambios en el contexto del cambio climático. Ponderando todos estos factores, se espera un incremento probable altamente significativo del riesgo de inundación en pequeñas áreas de los tramos bajos del río Urola y en los tramos medios de los ríos Deba, Oria y Bidasoa (Fig. 4.7).



4.7. Fig. Valoración cualitativa total del incremento probable del riesgo de inundación debido al cambio climático para el periodo de impacto 2041-2070 en relación al modelo SQRT-R para los periodos de retorno de (arriba) 10, (medio) 100 y (abajo) 500 años para el escenario RCP8.5. Fuente: Revisión y actualización del plan de gestión del riesgo de inundación (PCGRI 2º ciclo). Ura (2021).

4.2.3. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS DESLIZAMIENTOS

En el T.H. de Gipuzkoa los deslizamientos o inestabilidades de ladera son muy frecuentes. Los factores que desencadenan deslizamientos de tierra incluyen tanto factores meteorológicos, geológicos, litológicos, morfológicos y físicos, así como diversas acciones humanas que afectan a la estabilidad de las pendientes. Gipuzkoa se caracteriza por un relieve abrupto, con valles encajados, donde más del 90 % del territorio presenta pendientes superiores al 15 %. Estas elevadas pendientes y los patrones de precipitación, con acumulados importantes a lo largo del año, hacen de Gipuzkoa un territorio susceptible a los deslizamientos.

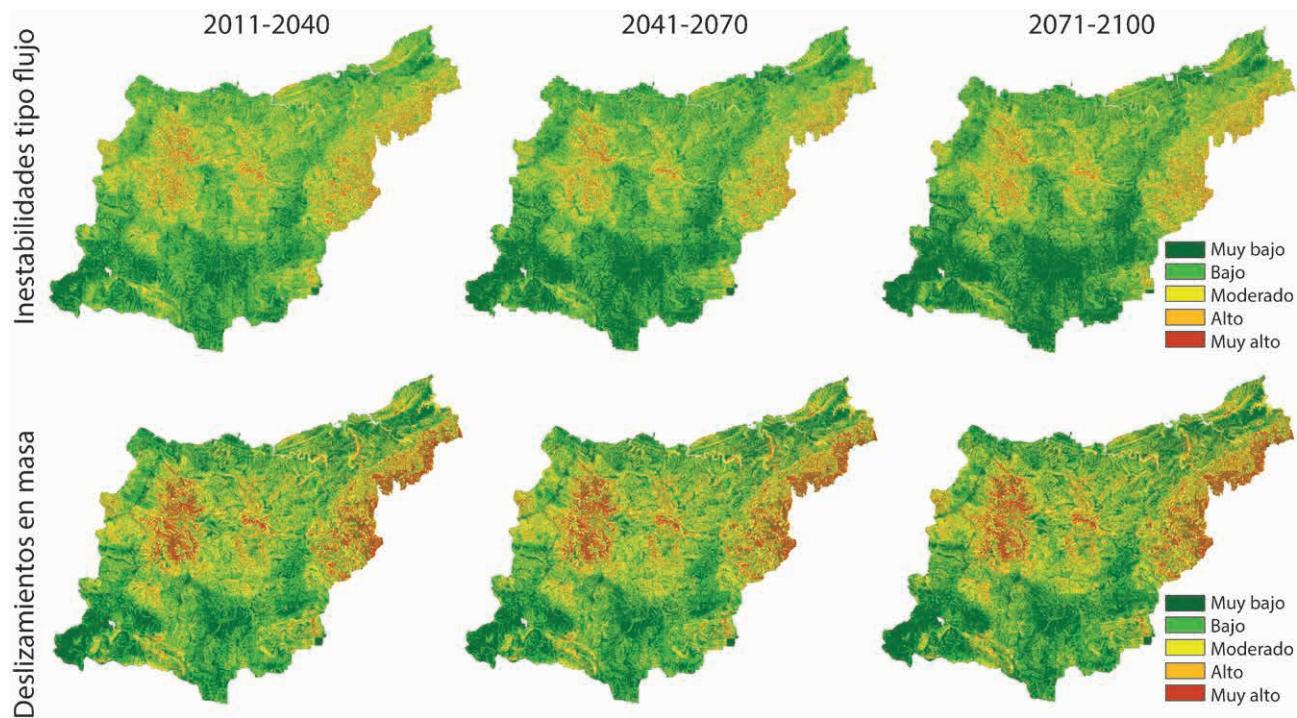
La principal variable climática que controla o influye en el desencadenamiento de los deslizamientos es la precipitación (Crozier et al., 2010). Los factores concretos que inciden en el riesgo de deslizamientos son, la precipitación total acumulada, la intensidad y duración de las tormentas y los eventos de precipitación previos, y no tanto la precipitación media anual (Corominas, 2006). Por tanto, se espera que los cambios en el régimen de precipitaciones, concretamente en eventos de corta o media duración intensos derivados del cambio climático, influyan en la estabilidad de las laderas (Severinatne et al., 2012). En nuestro territorio, las proyecciones para las variables relacionadas con la precipitación presentan una gran incertidumbre, pero en general no se proyectan cambios significativos de la precipitación máxima diaria o acumulada a lo largo de 5 días, pero sí un ligero incremento de la torrencialidad que pudiera resultar en deslizamientos más frecuentes si el resto de factores condicionantes se mantienen constantes (Sáez et al., 2013; Stoffel et al., 2014). Puede haber otros factores que condicionen la evolución futura de estos peligros, como el efecto del incremento de la temperatura al provocar cambios en la vegetación y en los usos del suelo, así como el impacto de acciones antrópicas futuras.

En un estudio reciente elaborado por la DGMA-DFG en el marco del proyecto Urban Klima se ha valorado la exposición y peligrosidad del T.H. de Gipuzkoa a dos tipos

de inestabilidades, deslizamientos de tipo de movimiento en masa de grandes dimensiones y deslizamientos del tipo flujo, bajo distintos escenarios de cambio climático (DGMA-DFG, 2022). No se ha podido caracterizar en este estudio otro tipo de inestabilidades, como la caída de bloques o deslizamientos con control de geología estructural.

La susceptibilidad indica la posibilidad de que en una zona se produzcan deslizamientos, es decir, muestra si el terreno reúne los factores que condicionan la posibilidad de que ocurran este tipo de inestabilidades. Los factores condicionantes necesarios para que se produzcan estos tipos de deslizamientos son entre otros, la pendiente del terreno, la calidad de los materiales, la posición topográfica relativa, la cercanía a las zonas de cauce, la escorrentía superficial, o la presencia de masa forestal o cultivos en la zona. En este estudio se concluye que la susceptibilidad del territorio, tanto para los deslizamientos en masa como las inestabilidades de tipo flujo del T.H. de Gipuzkoa es, en general, de baja a moderada, concentrándose las zonas de susceptibilidad de moderada a muy alta, para ambos tipos de deslizamientos, en las zonas de montaña del territorio.

En este estudio, además, se ha modelizado la probabilidad de ocurrencia o peligrosidad para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 de estos dos tipos de inestabilidades, que están gobernadas por las variaciones de presión de agua. Para la determinación de la peligrosidad, se han combinado la susceptibilidad del territorio y los factores desencadenantes responsables de activar las inestabilidades. En ambos tipos de deslizamientos, el factor desencadenante considerado es la precipitación, en forma de precipitaciones continuas con acumulados importantes en el caso de los deslizamientos en masa (proyecciones de la precipitación acumulada en 5 días), o en forma de precipitaciones cortas pero intensas para el caso de inestabilidades de flujo (proyecciones de la precipitación máxima diaria). Tanto los resultados del análisis de susceptibilidad como del de peligrosidad se expresan de forma cualitativa.



4.8. Fig. Mapas de peligrosidad frente a inestabilidades de tipo flujo y deslizamientos en masa para el escenario RCP8.5 y tres períodos de estudio. Fuente: DGMA-DFG (2022).

A continuación, se resumen las principales conclusiones del análisis de peligrosidad para los dos tipos de inestabilidades para el escenario RCP8.5 (Fig. 4.8). En el caso de las inestabilidades tipo flujo, con respecto al periodo histórico (1971-2015) en el que la peligrosidad es de muy baja a baja en el territorio, para el periodo 2010-2040 se proyecta un incremento generalizado de la peligrosidad. En el periodo 2040-2070 se proyecta una disminución general de la peligrosidad, quedando concentrada la peligrosidad de moderada a muy alta en las zonas montañosas de la franja central, y finalmente para el último periodo de análisis no se observan cambios respecto al periodo anterior. La peligrosidad en el territorio para el periodo de referencia para los deslizamientos en masa es entre baja

y moderada. Para el periodo próximo (2011-2040), en general disminuye la peligrosidad en el territorio, pero se incrementan en la zona central montañosa de la provincia, donde el peligro actualmente es más elevado. Los otros dos periodos de análisis (2041-2070 y 2071-2100) muestran la misma tendencia, se amplían levemente las zonas de peligrosidad muy alta en la misma zona montañosa central mientras que baja en el resto. Este aumento se debe principalmente al comportamiento de la precipitación, factor desencadenante considerado, que aumenta en los periodos futuros. No obstante, este indicador está sujeto a una alta incertidumbre (Ihobe, 2019), por lo que los resultados de su comportamiento no son concluyentes.

4.2.4. CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE INCENDIOS

arios factores son importantes para entender la distribución y los daños de los incendios forestales. El clima y las condiciones meteorológicas, la condición y composición de la vegetación y los factores humanos desempeñan un papel esencial en la ignición y propagación de los mismos. El clima y las condiciones meteorológicas condicionan también la composición y estructura de la vegetación combustible, su susceptibilidad al fuego y contenido de humedad. Estos factores de la vegetación, especialmente el contenido en humedad, y factores meteorológicos como la velocidad del viento, afectan a la ignición, propagación potencial y a la gravedad de un incendio. Por tanto, el peligro de incendio forestal está relacionado con factores climáticos que pueden empeorar la probabilidad de ignición y el comportamiento del incendio una vez iniciado. Sin embargo, los cambios en estas propiedades por sí solas no pueden predecir con precisión la probabilidad de ocurrencia de los incendios (Costa et al., 2020). Además, hay que considerar que la mayor parte de los incendios están causados por las acciones humanas, que no se pueden predecir.

Existen distintos índices que tratan de representar las condiciones de peligro de incendios considerando las condiciones meteorológicas y humedad del material combustible en la ignición, propagación e intensidad de los fuegos. Uno de los más empleados es el 'Índice meteorológico de incendios forestales (Canadian Fire Weather

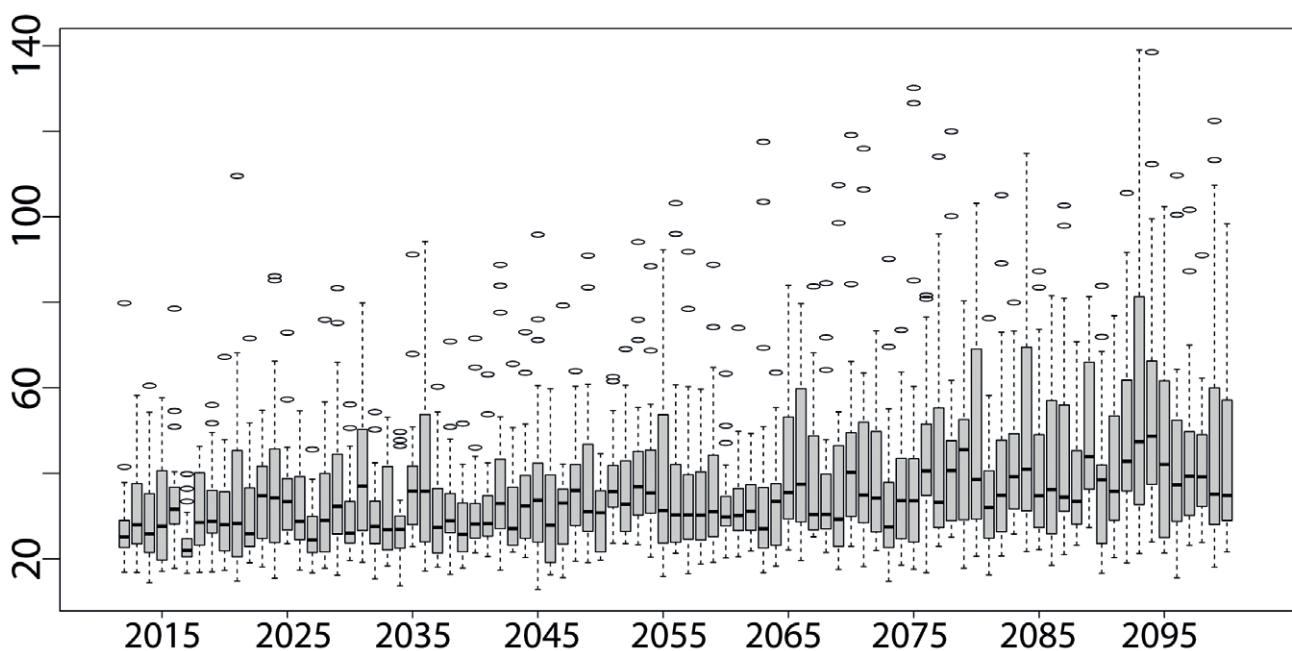
Index)' que combina la temperatura, precipitación, humedad relativa y la velocidad del viento.

Las condiciones climáticas del T.H. de Gipuzkoa no propician el hecho de que se produzcan fuegos naturales. En general, el riesgo de incendio es muy bajo, aunque sí pueden producirse en ciertas condiciones de sequedad y abundancia de material combustible, normalmente asociado a episodios de viento sur, al ser un viento seco y en ocasiones muy violento. Así, los modelos para el índice meteorológico de incendios forestales (FWI) señalan que en las condiciones climáticas del periodo de referencia (1981-2005) el riesgo medio de incendio forestal en el territorio es muy bajo, con un número medio de 5 días al año con riesgo moderado. Las proyecciones futuras indican que, en general, se mantendrán estas condiciones de riesgo muy bajo, incrementándose a riesgo bajo únicamente en el último periodo de análisis y en el escenario más pesimista. Si se proyecta un incremento progresivo del número de días al año con riesgo moderado a lo largo del siglo (Climate Data Store, 2022). Sin embargo, hay otros factores además de los meteorológicos que condicionan los incendios, como la propia configuración de la vegetación o el origen humano del fuego, difíciles de predecir y que determinan en mayor grado la predictibilidad de un incendio (Fuentes-Santos et al., 2013). Todo esto hace que exista un alto grado de incertidumbre a la hora de proyectar este riesgo.

4.2.5. SEQUÍA METEOROLÓGICA

La sequía consiste en una desviación de las condiciones normales, más o menos prolongada, caracterizada por un periodo de tiempo con valores de las precipitaciones inferiores a los normales en el área. La causa inicial de toda sequía es la escasez continuada de las precipitaciones, denominada sequía meteorológica y es la que da origen al resto de tipos de sequía (hidrológica, agrícola, socioeconómica). Las sequías persistentes pueden conducir a un agotamiento significativo de los volúmenes de agua almacenados en los embalses, con una amplia gama subsecuente de impactos socioeconómicos y ambientales.

Según el último informe del IPCC, en los distintos escenarios de cambio climático es probable que aumenten los extremos. En esas condiciones, las sequías podrían volverse más frecuentes y graves en todo el mundo. Las proyecciones regionalizadas también indican un incremento progresivo de la longitud de rachas secas (número de días consecutivos sin precipitación) para el escenario RCP8.5 a medida que avanza el siglo. No obstante, los modelos no muestran tendencias uniformes, siendo amplio el grado de incertidumbre. Por tanto, no se puede afirmar de forma concluyente un aumento en la incidencia de la sequía meteorológica.

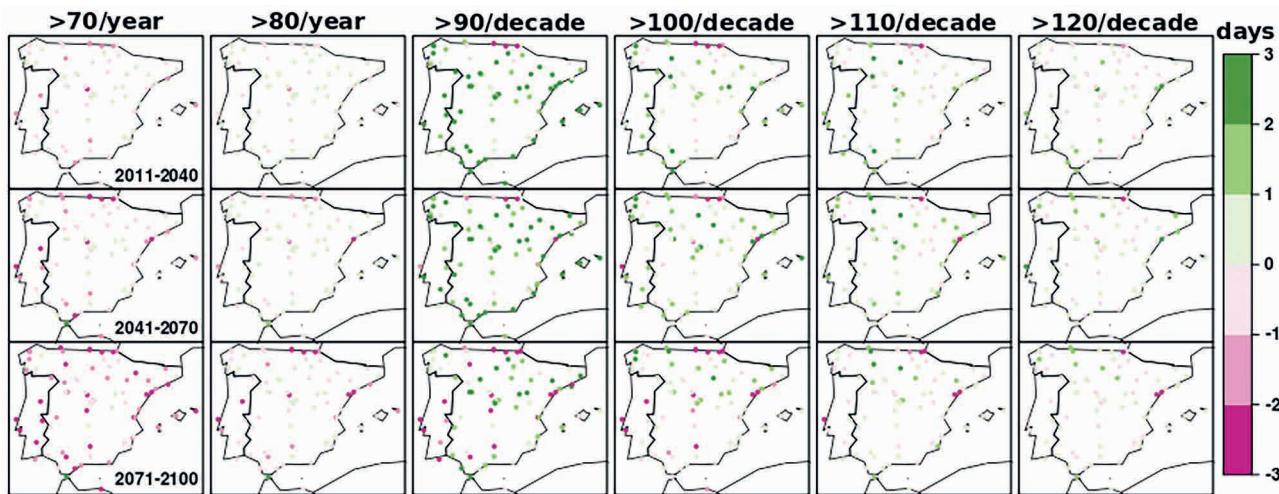


4.9. Fig. Proyecciones del número de días secos consecutivos para el escenario RCP8.5. Datos regionalizados para el T.H. de Gipuzkoa. Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050") y colección de Escenarios PNACC 2017.

4.3. VIENTO

Las proyecciones regionalizadas para el siglo XXI de la velocidad media del viento muestran, a escala anual, pequeños cambios, pudiéndose apreciar una ligera disminución, aunque no significativa, para finales de siglo con respecto al valor medio en el periodo de referencia (1971-

2000) en el escenario RCP8.5 (Escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco). Los modelos regionales tampoco muestran un cambio significativo en el valor de retorno a 50 años de la velocidad diaria del viento (Herrera et al., 2018).



4.10. Fig. Incremento / decremento del número de días con velocidades de viento superiores a diferentes umbrales (columnas) proyectadas por los modelos EURO-CORDEX corregidos para el escenario RCP8.5 y los tres períodos de análisis (filas). Fuente: Herrera et al. (2018).

En general, en la costa guipuzcoana se proyecta para el escenario RCP8.5 una disminución de los días que se superan umbrales de intensidad media ($> 70 \text{ km h}^{-1}$) y vientos intensos ($> 90 \text{ km h}^{-1}$), disminución que se acentúa a medida que avanza el siglo. En general, no se proyectan cambios significativos en la frecuencia e intensidad de eventos que generen vientos extraordinarios a lo largo del

siglo XXI. En todo caso, hay que considerar la gran incertidumbre que existe sobre estas proyecciones. Las proyecciones en relación a la ocurrencia de ciclogénesis explosivas tampoco indican que vaya a haber un aumento de la ocurrencia de estos eventos, con la excepción de un leve crecimiento para el escenario RCP8.5 (Herrera et al., 2018).

4.4. COSTA

Entre los principales impulsores del impacto en el territorio, especialmente considerando el daño económico que generan, están los episodios marítimo-costeros. Los impactos pueden ser generados por impacto directo del oleaje o por inundación cuando se rebasan las estructuras de protección existentes.

El nivel de mar extremo es determinante para que se generen daños sobre el litoral. Estos son el resultado combinado del nivel medio del mar, marea astronómica, marea meteorológica y oleaje. El cambio en cualquiera de estas variables dará lugar a cambios en los niveles extremos y, por tanto, en la vulnerabilidad de la costa.

En el golfo de Bizkaia se han observado tasas de aumento del nivel del mar de 2–3 mm año⁻¹ (Caballero et al., 2008; Chust et al., 2022a; 2022b). Las proyecciones regionales del nivel del mar para la costa vasca estimadas por Slanger et al. (2014) indican aumentos del nivel del mar de + 26 cm para el año 2050 (valor medio para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5), y de +51 cm y +70 cm para 2100, valores medios para RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente. En el escenario más pesimista y conservador las proyecciones indican que el nivel medio del mar podría ascender hasta 1 m.

La marea meteorológica se define como la sobreelevación del nivel del mar asociada a tormentas, como consecuencia de cambios en la presión atmosférica y el viento, pudiendo provocar sobreelevaciones del orden de 30–40 cm. Cuando la sobreelevación coincide con mareas astronómicas altas, puede dar lugar a subidas significativas del nivel del mar. En la costa cantábrica, se ha observado una ligera disminución para los valores de mayor magnitud, con una tasa de cambio de alrededor de -0,05 cm año⁻¹ para el periodo 1993–2001 (Marcos et al., 2005; Losada, Izaguirre & Diaz, 2014), ralentizando ligeramente la subida

del nivel del mar. Las proyecciones realizadas por distintos estudios no indican cambios significativos, o en su caso una ligera disminución, de la marea meteorológica para el golfo de Bizkaia en las próximas décadas (Vousdoukas et al., 2016, 2017; C3E, 2019).

En cuanto las proyecciones regionalizadas del nivel del mar extremo (cambios en el percentil 99%), los estudios proyectan incrementos del orden de 0,12m para el periodo 2026–2045 y de 0,51m para el periodo 2081–2100 en el escenario RCP8.5. Estos cambios serán principalmente resultado de cambios en el nivel medio del mar. Así, los eventos con un periodo de retorno dado, podrían ocurrir con una frecuencia cada vez mayor.

Además del nivel medio del mar, el impacto y rebase del oleaje es otra dinámica importante en los embates de mar. El análisis de los principales indicadores de cambio climático en el litoral guipuzcoano¹ (Chust et al., 2022; Naturklima, 2022), indican una ligera tendencia al incremento del oleaje extremal (altura de ola significante para periodos de retorno de 99 y 100 años), aunque los resultados de tendencias dependen del periodo considerado para el análisis de tendencias. Las proyecciones para las próximas décadas muestran, para el caso de periodos de retorno de 99 años y tanto para la altura de ola significante como para el periodo pico, una ligera disminución, más acusada a final de siglo que a mitad de siglo y mayor para el escenario RCP8.5 que RCP4.5 (Camus et al., 2017; C3E, 2019). No obstante, sobre un escenario con un nivel medio del mar más elevado, cualquier situación con un oleaje energético podría superar más fácilmente la cota de 4,5 m y el índice de rebase de 5,75 m definidos como peligrosos para los temporales marinos (Departamento de Seguridad del Gobierno Vasco) y producirían mayores daños que los producidos en la actualidad.

1 Resultados del observatorio costero de Gipuzkoa.





Para determinar el riesgo de las IC, se evalúan las amenazas (y combinaciones de amenazas), sensibilidades y exposiciones aplicables a las IC a través de la construcción de “cadenas de impacto”. Las cadenas de impacto representan las relaciones causa-efecto de los cambios en las variables climáticas y fenómenos meteorológicos extremos con sus efectos potenciales, directos e indirectos, sobre las distintas IC. De entre todas estas posibles combinaciones, permite relacionar una amenaza particular sobre un sector o subsector de IC concreto. El objetivo de este capítulo es la identificación, priorización y selección de un número limitado de cadenas de impacto

sobre las que se realizará la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de las IC de Gipuzkoa.

La identificación y priorización de las distintas cadenas de impacto a analizar se ha realizado en función de la revisión de los impactos históricos observados sobre las IC, que permite conocer las principales amenazas e impactos climáticos sobre las distintas IC (capítulo 3), la confianza y grado de conocimiento del contexto climático actual y futuro de los distintos peligros climáticos en nuestra región (capítulo 4) y las interdependencias identificadas entre los distintos sectores de IC.

5.1. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS HISTÓRICOS OBSERVADOS

El análisis de los impactos históricos observados permite no solo priorizar las amenazas climáticas más relevantes para el territorio de Gipuzkoa, sino también comprender la naturaleza de los impactos derivados. En el capítulo 3 de este documento se han analizado los principales impactos históricos observados sobre las IC del territorio en base a la revisión de informes técnicos (Ura, 2018; CCS, 2021) y fuentes indirectas de información, principalmente medios de comunicación escritos. A partir de esta revisión, se determina la relevancia de dichos impactos (Tabla 3.4) en base al número de eventos registrados y se establecen tres niveles de importancia, que van desde ninguno/bajo (ninguno o menos de un episodio cada cinco años en la última década) hasta alto (al menos un episodio cada dos años en la última década). A continuación, se exponen las principales conclusiones.

El sector que presenta un mayor número de impactos es el transporte. El subsector transporte por carretera es el que presenta un mayor número de impactos, ligados a las heladas y nevadas, inundaciones fluviales e inundación costera, precipitación extrema e inundaciones pluviales,

deslizamientos y tempestad ciclónica atípica (TCA). El transporte marítimo se ve afectado por temporales costeros que vienen acompañados de fuertes vientos y oleaje, el transporte aéreo por las TCA y el transporte ferroviario, con menor frecuencia, por inundaciones fluviales, deslizamientos o vientos intensos.

El subsector ‘seguridad ciudadana’ es el que presenta un mayor número de incidencias. Esto se debe a que los servicios de emergencia se activan y actúan en cualquiera de los fenómenos meteorológicos extremos analizados.

Por último, el otro sector que presenta una alta frecuencia de impactos es la electricidad, asociado a eventos de fuerte tormenta de viento, que provocan cortes dejando sin luz a determinadas poblaciones, o a inundaciones que anegan transformadores eléctricos que ocasionan incidencias en el suministro eléctrico.

Sectores con una frecuencia de afectación moderada son la salud y el sector socio-educativo (centros escolares).

5.2. COMPORTAMIENTO FUTURO DE LOS PELIGROS CLIMÁTICOS Y VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Comprender el comportamiento futuro de los peligros climáticos resulta crucial para la priorización de las cadenas de impacto puesto que permite tener una imagen del potencial riesgo futuro de las IC.

De acuerdo con el Plan General de Seguridad Pública de Euskadi, los fenómenos meteorológicos más relevantes que ejercen un impacto sobre las IC son las inundacio-

nes, deslizamientos de terreno, vientos fuertes, nevadas y temperaturas bajas extremas, temperaturas extremas altas, sequías e incendios forestales. En el capítulo 4 se han identificado algunas tendencias históricas y proyecciones futuras regionales con respecto a algunos de estas amenazas. A continuación, se resumen las principales conclusiones para los distintos conductores del impacto climático.

CALOR Y FRÍO

Para las próximas décadas se espera un aumento de la temperatura, que oscilará, dependiendo del escenario y modelo, entre 1 y 4 °C a finales de siglo. Los indicadores relacionados con la temperatura máxima, como el número de días con una temperatura máxima superior a 25 °C o 35 °C, número de días de ola de calor o noches

tropicales, tenderán asimismo a incrementarse. En cambio, las proyecciones para los indicadores relacionados con las temperaturas mínimas como el número de días de helada prevén un descenso con un grado de confianza alto, fruto del incremento generalizado que se espera en las temperaturas.

HÚMEDO Y SECO

En lo que respecta a los peligros derivados de la variable precipitación (inundación fluvial, precipitación extrema e inundación pluvial, deslizamientos y sequía meteorológica), se espera que aumente el número de estos; sin embargo, el grado de confianza de este comportamiento es bajo puesto que los escenarios de precipitación, a diferencia de los de temperatura, presentan una menor fiabilidad debido a que sobre este tipo de variables influyen muchos factores locales o mesoescalares que no son controlables (AEMET, 2017). Asimismo, los indicadores extremos asociados a la precipitación, cuya caracterización resulta relevante para la simulación del fenómeno de inundación fluvial, pluvial y deslizamientos están también sujetos a una alta incertidumbre (Ihobe, 2019).

En cuanto a las inundaciones fluviales, el impacto esperado bajo distintos escenarios de cambio climático en las áreas de riesgo potencial significativo identificadas actuales es moderado y a largo plazo. En cuanto a la ex-

posición de la red de infraestructuras viarias de la DFG, aproximadamente el 5,5 % se encuentra en zonas de inundabilidad para un T = 100 años. En el caso de las subestaciones eléctricas, el 6% se encuentra en estas zonas de inundabilidad. En el caso de las inundaciones pluviales, las proyecciones para el escenario RCP 8.5 y periodo 2041-2070 muestran una mayor superficie inundabilidad (Ihobe, 2022).

En el caso de los deslizamientos, de acuerdo a los estudios para distintos escenarios de cambio climático (DG-MA-DFG, 2022), la probabilidad de ocurrencia de las inestabilidades tipo flujo para el escenario RCP8.5 aumenta en amplias zonas del territorio. Sin embargo, disminuye en general la peligrosidad para deslizamientos en masa, excepto en zonas montañosas de la franja central, donde aumenta. Así, gran parte de los tramos de la red viaria del territorio se encuentra en rangos de peligrosidad de baja a moderada, siendo muy altos en la zona central del T.H.

(en el Macizo de Ernio), en el macizo de Izaraitz (límite de los municipios de Bergara, Soraluze y Azkoitia) y en el Macizo de las Cinco Villas al norte (continuando hacia el sur con las zonas montañosas de Berastegi y Elduain).

La longitud máxima de rechas o períodos secos puede verse incrementado en el futuro. Las proyecciones no muestran cambios significativos, salvo en el escenario

más pesimista a final de siglo, en las condiciones meteorológicas que desencadenan incendios forestales, manteniéndose en cualquier caso el peligro de incendio como bajo. Sin embargo, los complejos mecanismos de retroalimentación entre el clima y los incendios forestales generan elevadas incertidumbres en las proyecciones.

COSTA

Todos los escenarios proyectan un ascenso del nivel del mar en las próximas décadas. Las proyecciones regionales estiman para el horizonte 2050 un ascenso del nivel del mar de + 26 cm (valor medio de los escenarios RCP4.5 y RCP8.5) y ascensos de entre +51 cm y de hasta +100 cm, en el escenario más pesimista, para el horizonte 2100 en función del escenario analizado (Slangen et al., 2014).

La exposición de los centros y subestaciones de alta y media tensión a la inundabilidad por ascenso del nivel del mar e impacto del oleaje para distintos escenarios, analizada a partir de los mapas de inundabilidad generados

en el marco del proyecto KOSTAEGOKI (<http://gis.ihobe.eus/kostaegoki/>), revela que no existen infraestructuras de este tipo expuestas a este peligro. Es probable, no obstante, si existan subestaciones de baja tensión expuestas, pero no se han podido caracterizar en el marco de este estudio. En el caso de la red viaria los impactos son muy localizados, siendo únicamente unos 2,4 km del total de 1.323,135 km de la red de carreteras de la DFG los expuestos a inundación por subida del nivel del mar y oleaje en el escenario más pesimista (1 m de ascenso del nivel del mar en el año 2100 y un evento extremo de T=500 años) (Kostaegoki, 2022).

VIENTO

En general, en las costas guipuzcoanas se proyecta para un escenario RCP8.5 una disminución de los días que se superan umbrales de intensidad media ($> 70 \text{ km/h}$) y vientos intensos ($> 90 \text{ km/h}$). Esta disminución es

más acentuada a finales de siglo. Hay que considerar, en todo caso, la incertidumbre que existe sobre estas proyecciones.

El comportamiento futuro de los peligros climáticos analizados se ha clasificado en 5 niveles (Tabla 5.1) conforme a niveles establecidos en el último informe del

IPCC-A6, basados tanto en la tendencia del peligro como en el grado de confianza (Ranasinghe, 2021).

TIPO	CONDUCTORES DEL IMPACTO CLIMÁTICO	
CALOR Y FRÍO	Calor extremo	
	Heladas	
HÚMEDO Y SECO	Inundación fluvial	
	Precipitación extrema e inundación pluvial	
	Deslizamientos	
	Sequía meteorológica	
	Condiciones meteorológicas de incendios	
	Fuerte tormenta de viento	
HIELO Y NIEVE	Nevadas	
COSTERO	Inundación costera	

 Confianza alta de descenso

 Confianza baja de incremento

 Confianza media de descenso

 Confianza media de incremento

 Baja confianza en la dirección de cambio

 Confianza alta de incremento

5.1. Tabla. Identificación de los conductores del impacto climático relevantes para las IC. Sentido de la tendencias y nivel de confianza en las proyecciones climáticas.

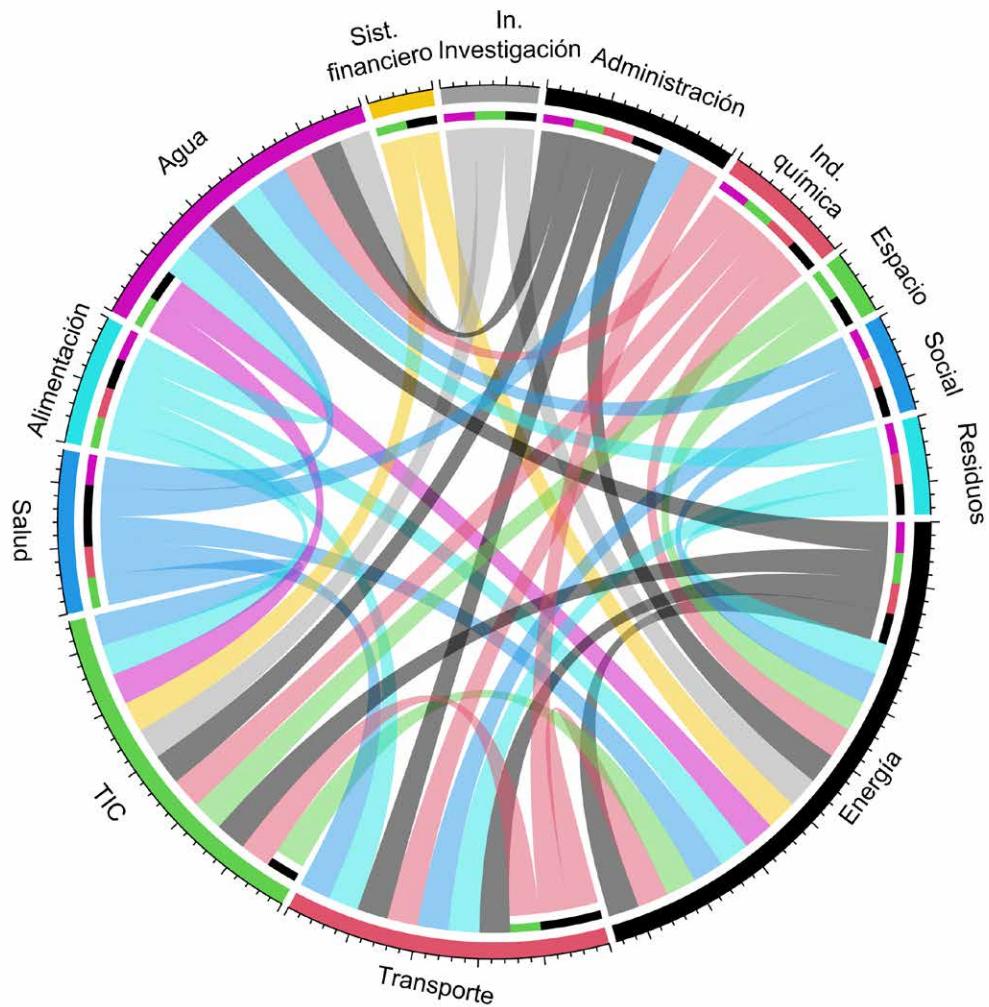
5.3. INTERDEPENDENCIAS ENTRE LAS INFRAESTRUCTURAS

Los impactos de las distintas amenazas climáticas sobre una determinada IC se propagan en cascada también a través de los distintos sectores debido a las estrechas interrelaciones e interdependencias que existen entre ellos, entendiendo como dependencia entre IC la relación entre dos IC en la que el servicio o función de una es necesaria para la funcionalidad de la otra. Por lo tanto, una secuencia de impactos y eventos disruptivos pondrá en riesgo y amenazará la funcionalidad de los sectores dependientes de la primera IC.

De acuerdo a Rinaldi et al. (2011) las interdependencias entre IC pueden ser físicas, cibernéticas, geográficas

o lógica. Para la selección de las cadenas de impacto se ha realizado un análisis basado en una revisión de posibles interdependencias, por posibles efectos en cascada de tipo lógico, basadas en una revisión bibliográfica.

El sector energético es esencial para la operatividad del resto de IC, es el único sector que inicia más interrelaciones e impactos en cascadas que cualquier otro sector (Luijif et al., 2009). También las Tecnologías de la Información y Comunicaciones generan un gran número de interdependencias, seguido del sector transporte.



5.1. Fig. Resumen de las posibles interdependencias de IC.

La energía eléctrica es la base de las economías modernas, está presente en nuestra vida cotidiana y abarca todos los sectores de la economía, de este modo, las IC eléctricas se configuran como esenciales. Además, todos los sectores de IC dependen, en mayor o menor medida, de la disponibilidad de electricidad. En este contexto

de cambio climático, la electrificación de la economía será fundamental para lograr los objetivos de neutralidad de carbono marcados, de ahí que la electricidad vaya a ser cada vez más relevante para el funcionamiento de la sociedad.

5.4. SELECCIÓN DE CADENAS DE IMPACTO

Teniendo en cuenta la información sobre el contexto climático actual y futuro y los posibles impactos que pueden ocasionar sobre algunas de las principales IC del territorio, la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de las IC ante el cambio climático se ha llevado a cabo considerando las siguientes cadenas de impacto: 'Inundación pluvial sobre la red viaria', 'Deslizamientos sobre la red viaria',

'Inundaciones fluviales sobre subestaciones eléctricas', 'Temperatura máxima sobre las líneas eléctricas'.

A pesar de la incertidumbre que tiene asociada el comportamiento futuro de estos peligros climáticos, se prevé que sean más recurrentes en el futuro.

IMPACTO POR INUNDACIONES PLUVIALES SOBRE LA RED VIARIA

Las inundaciones, especialmente como resultado de intensas precipitaciones, son la causa predominante de los problemas en la red viaria (Pregnolato et al., 2017) y retrasos y problemas de tráfico (Zhou et al., 2012). Las carreteras suelen estar constituidas de materiales impermeables y, por lo tanto, son especialmente susceptibles a las inundaciones pluviales. Esto reduce su capacidad, ya sea directamente como resultado de daños que afectan a la carretera inutilizable o como resultado de aguas

profundas que impiden transitar la carretera. La congestión resultante provoca un aumento de los viajes y la contaminación (Mao et al. 2012). Además, el impacto de esta interrupción puede extenderse mucho más allá del alcance de la inundación debido a la congestión que se propaga a través del sistema de transporte (Dalziell y Nicholson 2001; Zio 2016) y a otras redes de infraestructura (Houghton et al. 2009; Fu et al. 2014).

IMPACTO POR DESLIZAMIENTOS SOBRE LA RED VIARIA

Los deslizamientos sobre la red viaria son uno de los principales impactos observados en el territorio. El incremento de la precipitación intensa y de las acumulados

durante varios días puede provocar incrementos de las inestabilidades, especialmente donde se acumulen estas y exista una susceptibilidad del terreno a estos procesos.

IMPACTO POR INUNDACIONES FLUVIALES SOBRE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

El aumento de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones extremas podría aumentar el riesgo de inundación de los centros y subestaciones eléctricas.

IMPACTO POR TEMPERATURA MÁXIMA SOBRE LOS TENDIDOS ELÉCTRICOS

El análisis de las interrelaciones revela que la mayoría, si no todos, de los sectores estudiados dependen de la electricidad para su funcionamiento. Esta dependencia se irá incrementando en un futuro próximo a medida que la economía se vaya electrificando para la consecución de los objetivos de descarbonización y neutralidad carbónica establecidos a distintos niveles administrativos.

Durante los días de calor, la infraestructura de transmisión de la electricidad pierde eficiencia debido a la resistencia adicional inducida. Estas pérdidas en la capacidad de transporte eléctrico pueden afectar al resto de IC a través de efectos cascada.





El riesgo se entiende como el potencial de que los sistemas humanos y ecológicos puedan sufrir consecuencias adversas derivadas de los peligros climáticos, en combinación con otro tipo de peligros, lo que provoca posibles impactos. En este capítulo se analiza, bajo el escenario climático más pesimista (RCP8.5) y varios horizontes

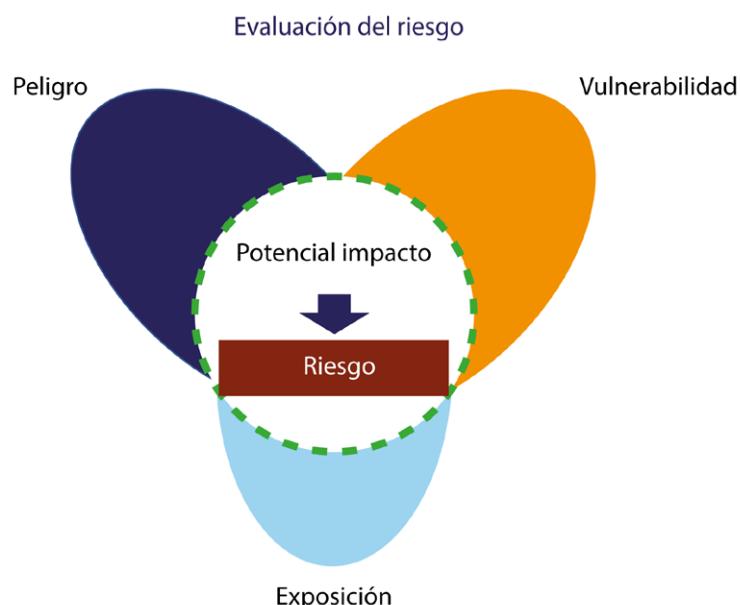
temporales (Tabla 6.1.), el riesgo de las cadenas de impacto definidas en el capítulo 5: 'Inundaciones pluviales sobre la red viaria', 'Deslizamientos sobre la red viaria', 'Inundaciones fluviales sobre las subestaciones eléctricas' y 'Temperatura máxima sobre los tendidos eléctricos'.

CADENA DE IMPACTO	HORIZONTES TEMPORALES ANALIZADOS
INUNDACIONES PLUVIALES SOBRE LA RED VIARIA	Histórico, 2041-2070
DESLIZAMIENTOS SOBRE LA RED VIARIA	Histórico, 2041-2070, 2071-2100
INUNDACIONES FLUVIALES SOBRE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS	Histórico (T=100 años)
TEMPERATURA MÁXIMA SOBRE LOS TENDIDOS ELÉCTRICOS	Histórico, 2041-2070, 2071-2100

6.1. Tabla. Horizontes temporales definidos en cada cadena de impacto.

En los últimos años, el concepto de riesgo ha adquirido un papel central como herramienta para la planificación coordinada de las medidas de adaptación ante el cambio climático, especialmente desde la publicación del IPCC-AR5 (IPPC, 2014). En el marco de este planteamiento, el riesgo se encuentra en el centro y es entendido como una combinación de la amenaza o peligrosidad, la exposición

al peligro y la vulnerabilidad, entendida como la predisposición a que la IC pueda verse afectada. La vulnerabilidad es una combinación de dos aspectos, la sensibilidad a los peligros climáticos, (si puede verse afectada) y la capacidad de adaptación a estos cambios (determinará hasta qué grado el impacto constituye un riesgo para la IC).



6.1. Fig. Enfoque metodológico para la evaluación del riesgo de las IC.

La evaluación del riesgo puede llevarse a cabo a través de aproximaciones cuantitativas, semicuantitativas o cualitativas (UNDRR, 2022). En el ámbito concreto del análisis de las IC, se han implementado diferentes planteamientos, que generalmente suelen basarse en aproximaciones híbridas para asignar un nivel o rango de riesgo a las infraestructuras (ej. Forzieri et al., 2018). Esto es debido a que, si bien algunos de los componentes pueden ser analizados de forma cuantitativa (p. ej. las amenazas climáticas a partir de las salidas de modelos numéricos), otros son muy complejos de valorar para las IC. Este enfoque híbrido suele emplearse generalmente en evaluaciones del riesgo complejas y describe la interacción entre los peligros, la exposición y la vulnerabilidad, los potenciales impactos y los riesgos a través de una mezcla de modelos espaciales cuantitativos, modelos semicuantitativos basados en indicadores y modelos cualitativos basados en narrativa.

En este informe, en el análisis del riesgo de las cuatro cadenas de impacto identificadas se han combinado la aproximación cuantitativa y semicuantitativa. La aproximación cuantitativa, basada en modelos físicos de impacto y/o observaciones, ofrece una estimación cuantitativa del potencial impacto o de las consecuencias adversas (p.ej. pérdida de la capacidad de la infraestructura, probabilidad de daño, pérdidas económicas, personas expuestas) que pueden tener lugar como consecuencia de la exposición a un determinado peligro climático y la sensibilidad del propio elemento analizado, que influye en el grado de daño o impacto. En el caso de la aproximación semicuantitativa se emplean indicadores a través de los cuales medir los componentes subyacentes de la vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa). El riesgo se evalúa a partir de la combinación del potencial impacto o las consecuencias adversas y la vulnerabilidad de la propia infraestructura (Fig. 6.2) y se expresa en forma de un índice compuesto de riesgo, en una escala que va de nivel de riesgo muy bajo a muy alto.

Evaluación del riesgo



6.2. Fig. Enfoque metodológico para el análisis de riesgos.

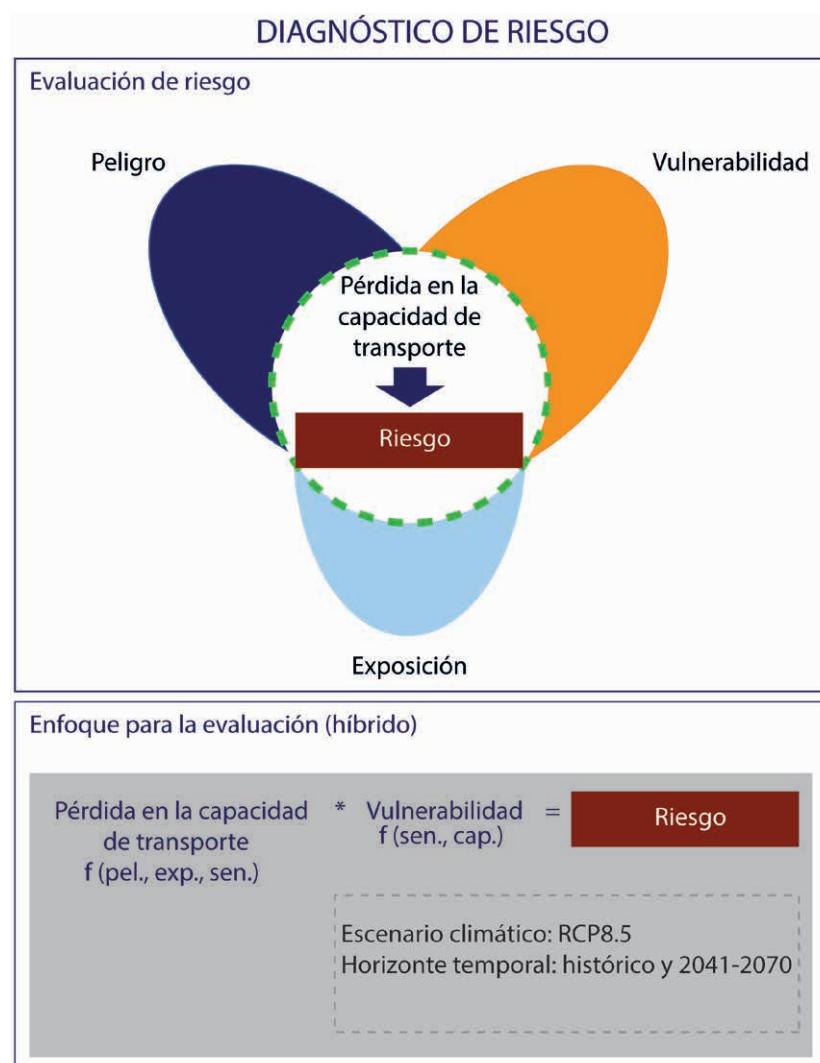
Este enfoque híbrido se ha adaptado específicamente para cada una de las cadenas de impacto analizadas. Idealmente se deberían considerar todos los potenciales impactos de la cadena analizada y se debería representar la vulnerabilidad de la IC considerando un alto número

de indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa; sin embargo, se han seleccionado los más apropiados en función de la información disponible para cada una de las cadenas de impacto analizadas.

6.1. INUNDACIONES PLUVIALES SOBRE LA RED VIARIA

La red viaria está constituida por materiales en su mayoría impermeables, siendo por tanto especialmente susceptibles a inundaciones pluviales en situaciones de precipitaciones intensas. Este tipo de inundaciones reduce su capacidad, ya sea directamente, como resultado de daños que las hacen inutilizables, o como resultado de la presencia de láminas o balsas de agua importantes que ralentizan o incluso impiden la circulación.

En el enfoque metodológico para el análisis de la cadena de impacto de inundaciones pluviales sobre la red viaria (Fig. 6.3), se refleja la **pérdida de la capacidad del transporte viario** como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición al peligro de inundación pluvial y sensibilidad de la propia red viaria. El riesgo sobre la red viaria se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial y la vulnerabilidad de la propia infraestructura, caracterizada por unos indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de los tramos de la red viaria.



6.3. Fig. Enfoque metodológico de la cadena de impacto de inundaciones pluviales sobre la red vialaria.

POTENCIAL IMPACTO: PÉRDIDA DE LA CAPACIDAD DEL TRANSPORTE VIARIO

La pérdida en la capacidad de transporte viario se representa como el porcentaje de cambio de la velocidad media de los vehículos que circulan por la red viaria bajo

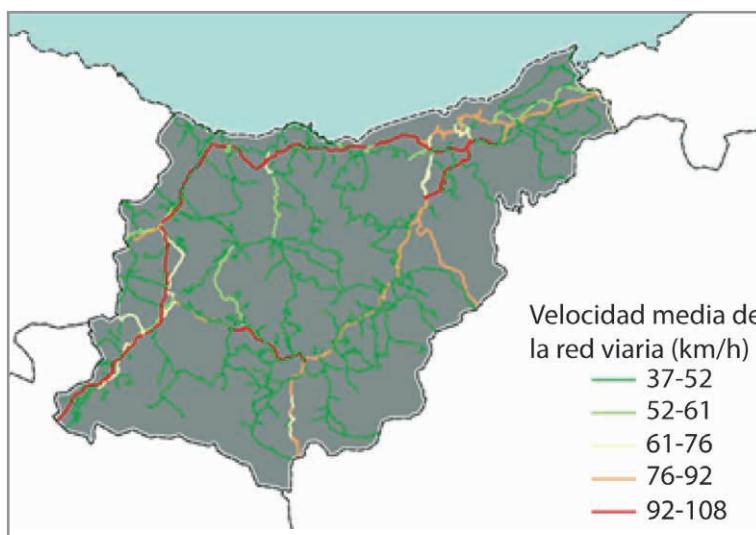
condiciones normales con respecto a la velocidad de los vehículos que circulan de forma segura bajo un evento de inundación pluvial

$$\text{Pérdida capacidad de transporte} = \frac{(V_m - V_{inun})}{V_m}$$

$$V_{inun} = 0,009 w^2 - 0,5529 w + 86,9448 \quad (\text{Pregnolato et al., 2017})$$

donde, V_m es la velocidad media de los vehículos que circulan en condiciones normales y V_{inun} es la velocidad bajo el evento de inundación, que depende del calado (w) de la lámina de agua del evento de inundación pluvial analizado. Esta pérdida de capacidad de transporte se produce por una ralentización en el transporte por la presencia de balsas de agua en la carretera, que puede llevar a cortes de vía cuando el calado de la lámina de

agua alcanza un determinado umbral (0,30 m sobre la vía, Pregnolato et al., 2017). La caracterización de la velocidad media de los vehículos que circulan en condiciones normales (V_m) se ha realizado a partir del Informe de aforos en las carreteras de Gipuzkoa (DIV-DFG, 2020) que proporciona la velocidad media en cada uno de los tramos definidos en el catálogo de carreteras de la DFG¹.

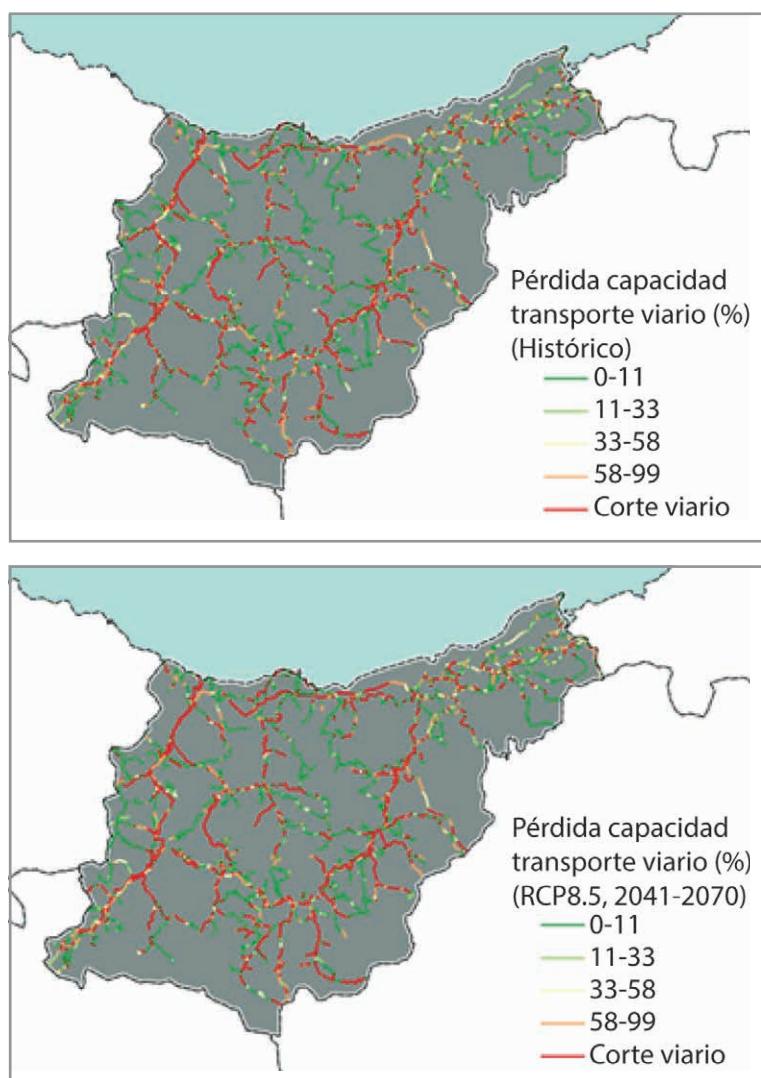


6.4. Fig. Velocidad media de los vehículos por tramos. Elaborado a partir de información disponible en DIV-DFG (2020).

1 <https://b5m.gipuzkoa.eus/web5000/es/conjuntos-datos>

Para caracterizar la velocidad bajo el evento de inundación pluvial, el calado de la lámina de agua del evento de inundación considerado corresponde a los calados de la lámina de agua determinados para el escenario histórico y para el escenario RCP8.5 en el horizonte temporal 2041-2070 (Fig. 4.4., Ihobe, 2022). A este calado se le ha aplicado un factor de corrección ($fc = 0,2$) puesto que el tipo de modelo empleado en el estudio de escenarios climáticos para la inundación pluvial tiene determinadas limitaciones (carencia de sistema de drenaje) que dan como resultado calados muy altos en ambos escenarios climáticos. Para cada tramo de carretera se ha seleccionado el valor máximo de calado existente.

Los resultados de este análisis reflejan que, tanto para el horizonte temporal 2041-2070 como para el histórico, la red de interés preferente² muestra una mayor superficie cortada debido a que la longitud de los tramos de la vía es mayor que los de las carreteras secundarias (Fig. 6.5). Por ello, existe una mayor probabilidad de que el tramo en estudio contenga una superficie con calado superior a 0,30 m. Asimismo, la pérdida de capacidad de la vía es función de la velocidad media de circulación en la vía, siendo por tanto mayor la pérdida en la red de interés preferente, donde la velocidad media de circulación es mayor.



6.5. Fig. Pérdida de la capacidad de transporte viario para (arriba) el periodo histórico y (abajo) el horizonte temporal 2041-2070 bajo el escenario RCP8.5.

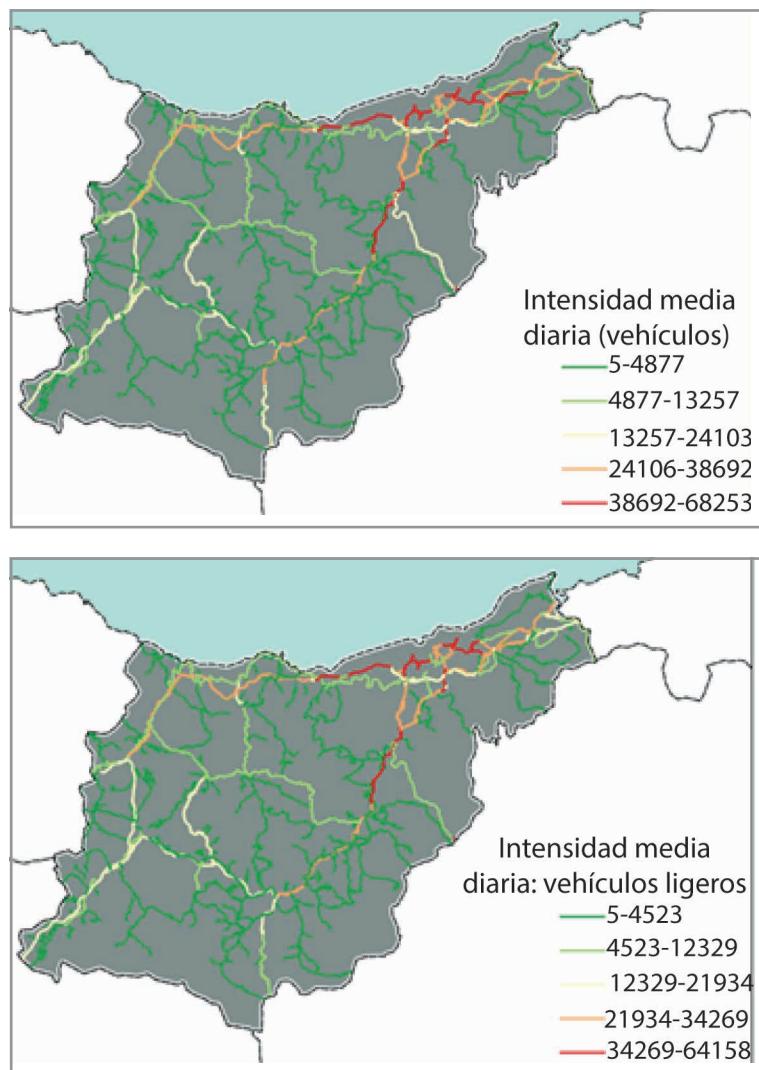
2 La red de interés preferente comprende carreteras con itinerarios de carácter internacional, de acceso a Francia por los pasos fronterizos, de acceso a puertos y aeropuertos de interés general, itinerarios con elevados tráficos inter-autonómicos de largo recorrido o con un elevado volumen de vehículos pesados.

INDICADORES DE SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD ADAPTATIVA DE LA RED VIARIA ANTE INUNDACIONES PLUVIALES

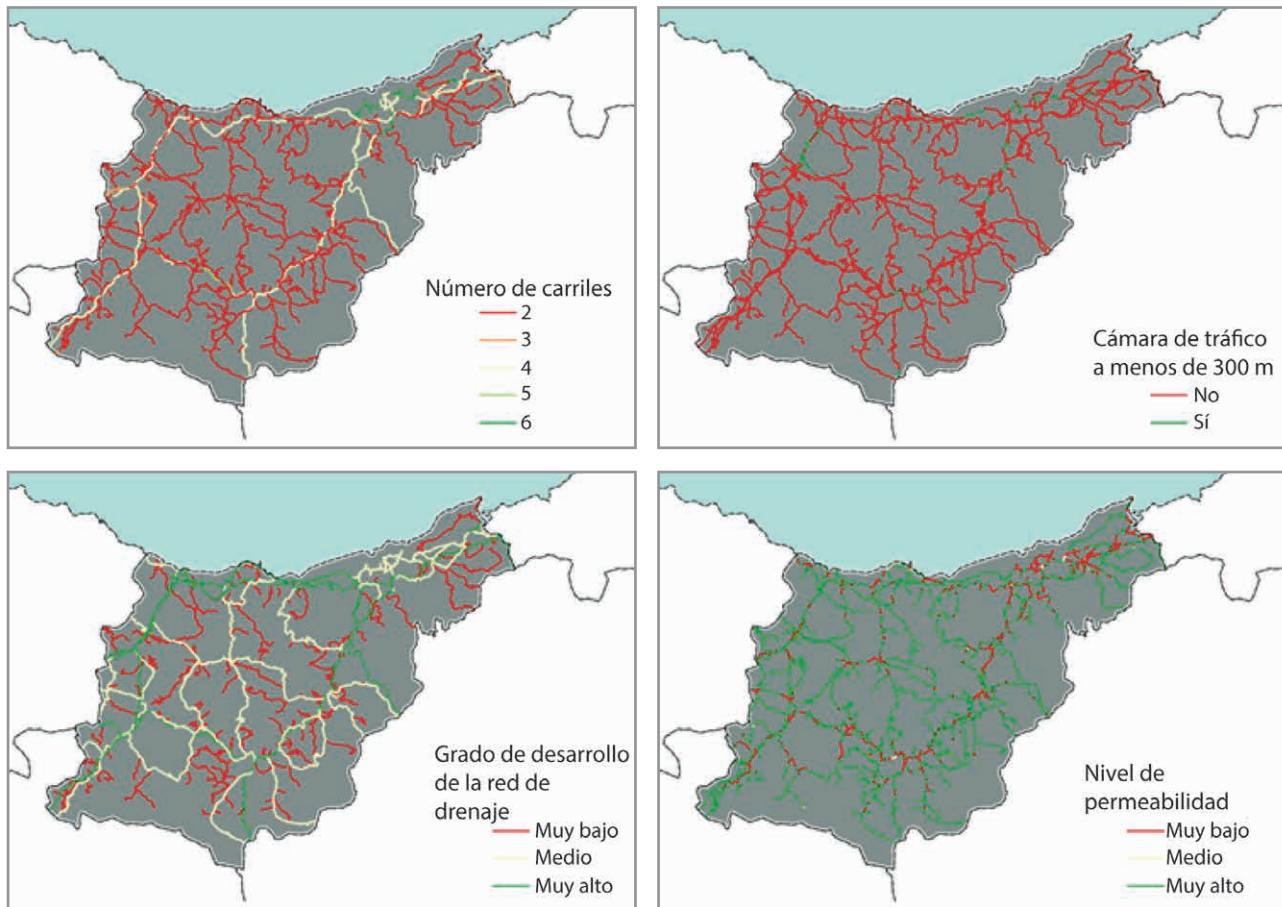
Para la caracterización de la vulnerabilidad de la red viaria ante las inundaciones pluviales se han considerado dos indicadores de sensibilidad y cuatro indicadores de capacidad adaptativa (Tabla 6.2).

TIPO DE INDICADOR	NOMBRE DEL INDICADOR	DESCRIPCIÓN
INDICADORES DE SENSIBILIDAD	Intensidad media diaria de tráfico (IMD)	Se considera que las carreteras con mayor intensidad media diaria de vehículos muestran mayor sensibilidad que las carreteras con menor intensidad. Fuente empleada: DIV-DFG (2020).
	Tráfico de vehículos ligeros	Se considera que las zonas con mayor tráfico de vehículos ligeros son más sensibles puesto que ciertos calados de lámina de agua pueden ser más críticos para vehículos ligeros que para los pesados. Fuente empleada: DIV-DFG (2020).
INDICADORES DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	Cámaras de control de tráfico	Se considera que los tramos de carretera con presencia de cámaras presentan una mayor capacidad de control del evento extremo de inundación que los tramos sin cámaras próximas. Fuente empleada: trafikoa.euskadi.eus
	Número de carriles	Se considera que las carreteras con un mayor número de carriles tienen una mayor capacidad de adaptación ante el evento de inundación pluvial. Fuente empleada: DIV-DFG (2020).
	Grado de desarrollo del sistema de drenaje	Se les asigna a las carreteras con un grado de desarrollo mayor del sistema de drenaje una mayor capacidad de adaptación. <ul style="list-style-type: none"> • Carreteras de la red de interés preferente: máxima capacidad de adaptación • Carreteras de la red básica y red comarcal: capacidad de adaptación intermedia • Carreteras de la red local: capacidad de adaptación baja Fuente empleada: DIV-DFG (2020).
	Superficie permeable de las zonas adyacentes a la red viaria	Se considera los viales con presencia de superficies permeables una mayor capacidad de amortiguar los efectos de las inundaciones que viales con superficie impermeable colindante. Fuente empleada: Sistema de Información de Ocupación del Suelo (SIOSE, 2014)

6.2. Tabla. Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de la red viaria ante las inundaciones pluviales.



6.6. Fig. Indicadores de sensibilidad de la red viaria.

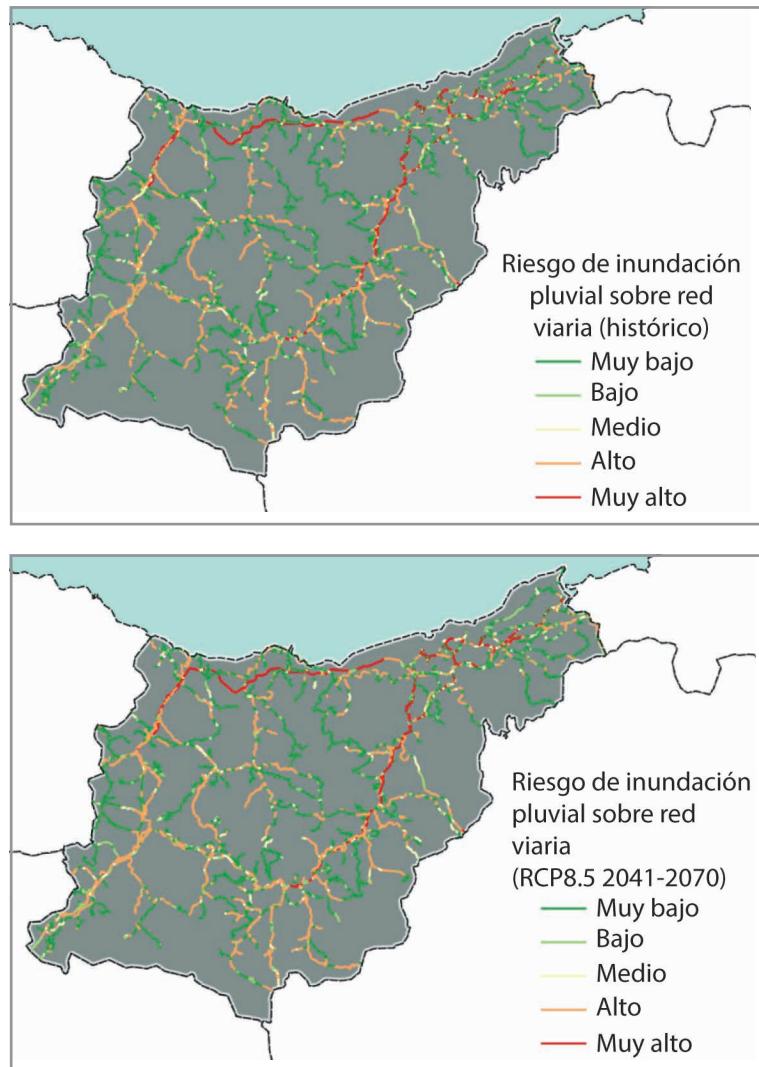


6.7. Fig. Indicadores de capacidad adaptativa de la red viaria

6.1.1. RIESGO DE LAS INUNDACIONES PLUVIALES SOBRE LA RED VIARIA

El nivel de riesgo actual de la red viaria ante las inundaciones pluviales es variable en el territorio. Los niveles de riesgo más elevado se encuentran en la A15, a la altura de Hernani, Andoain y Urnieta, a lo largo de la AP-1/AP-8, en la GI-20 en la variante de Donostia y a lo largo de la N-1, desde Lasarte hasta Beasain. Los elevados niveles de riesgo en estos tramos se deben a tres motivos principales: (i) la lámina de agua presenta cotas superiores

a 0,30 m, límite a partir del cual se impide la circulación, (ii) la sensibilidad es mayor, ya que la intensidad media del tráfico y también de vehículos ligeros es mayor y (iii) si bien la capacidad de adaptación es variable, la sensibilidad y el impacto potencial (pérdida en la capacidad de transporte) de estos tramos es elevada, dando como resultado niveles de riesgo altos.



6.8. Fig. Riesgo de las inundaciones pluviales sobre la red viaria para (arriba) el periodo histórico y (abajo) el periodo 2041-2070 bajo el escenario RCP8.5.

Los niveles de riesgo bajo se localizan principalmente en la red secundaria y de manera aislada en determinados puntos de la red primaria (ej. N-1 enlace Urtsuaran o N-638 en el acceso al aeropuerto en Hondarribia). En estos puntos la sensibilidad es baja (tráfico de vehículos total y vehículos ligeros bajo), la capacidad adaptativa es baja (tramos sin cámaras de videovigilancia, número de carriles bajo y grado de desarrollo de la red de drenaje intermedio) y también es baja la pérdida en la capacidad

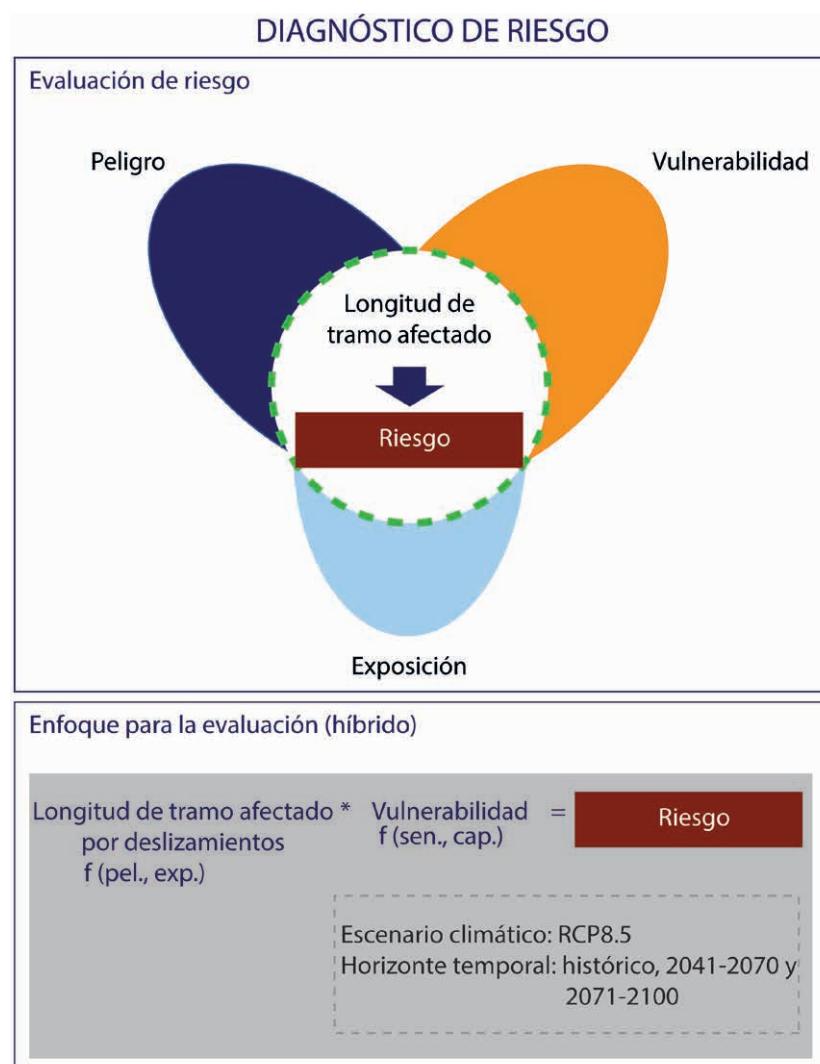
de transporte viario debido a una baja exposición al peligro de inundación pluvial.

A medida que avanza el siglo, **se observa una tendencia al alza en el nivel de riesgo**. Este aumento en el nivel de riesgo para el periodo 2041-2070 bajo el escenario de cambio climático, se asocia con una mayor pérdida en la capacidad de transporte debido a una mayor superficie y mayor calado en la inundabilidad pluvial.

6.2. DESLIZAMIENTOS SOBRE LA RED VIARIA

Los deslizamientos afectan de forma recurrente a la red viaria del territorio, causando numerosos cortes de carretera. En el enfoque metodológico empleado en el análisis del riesgo de la cadena de impacto 'Deslizamientos sobre la red viaria' el potencial impacto de la exposición de la red viaria analizado ha sido la **longitud de**

tramos afectados por los deslizamientos en masa. El riesgo sobre la red viaria se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial y la vulnerabilidad de la propia infraestructura, caracterizada por unos indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de los tramos de la red viaria (Fig. 6.9).

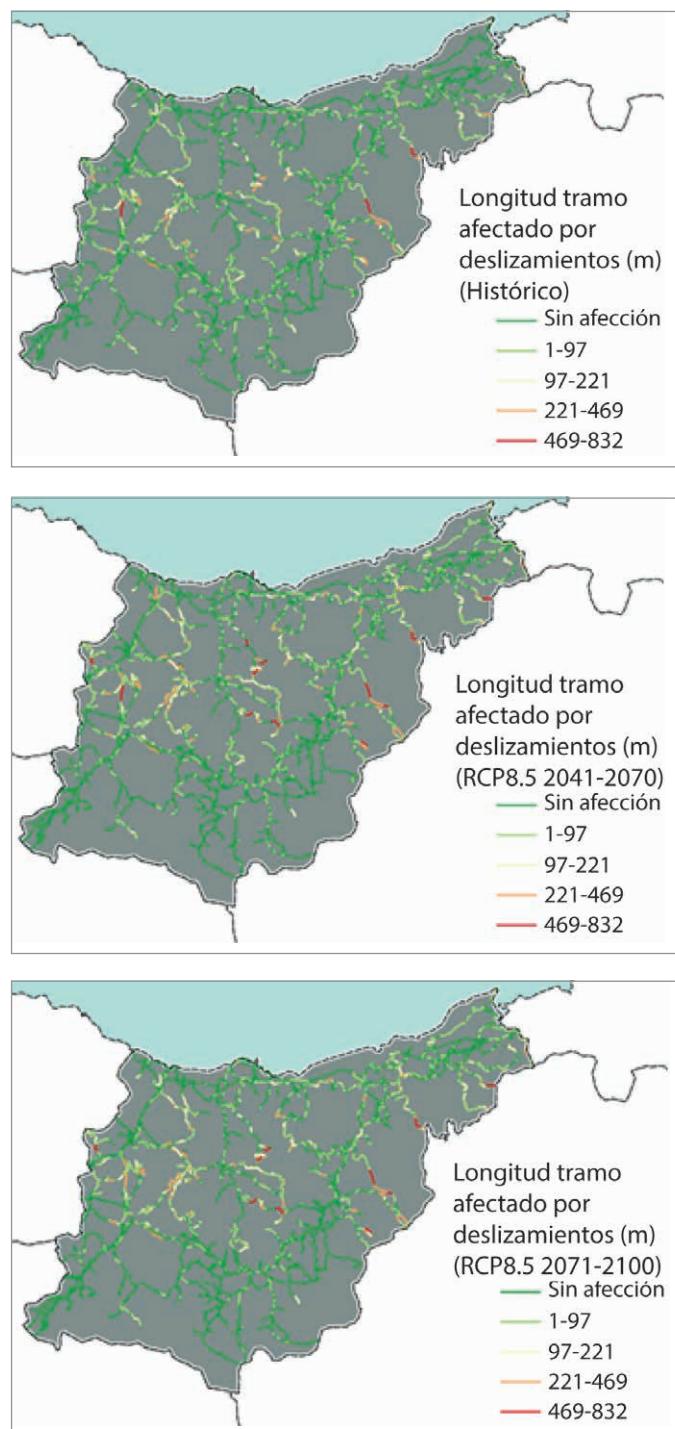


6.9. Fig. Enfoque metodológico de la cadena de impacto de deslizamientos en masa sobre la red viaria.

POTENCIAL IMPACTO: LONGITUD DE TRAMOS EXPUESTOS

La caracterización de la longitud de los tramos expuestos se ha realizado como función de la exposición de la red viaria a la peligrosidad de los deslizamientos en masa. Se han utilizado los mapas de peligrosidad de deslizamientos en masa en el escenario RCP8.5 para tres períodos temporales (Fig. 4.8, DGMA-DFG, 2022) y se ha determinado para cada tramo de carretera la longitud total del mismo expuesto a niveles de peligrosidad altos y muy altos.

Bajo el periodo histórico, la mayor parte del territorio se encuentra en zonas de peligrosidad de baja a moderada y, por tanto, gran parte de los tramos de la red viaria no presenta afección o su afección es baja.



6.10. Fig. Longitud de tramo afectado por deslizamientos en masa para los distintos horizontes temporales analizados

En el horizonte 2041-2070, las zonas con peligrosidad muy alta aumentan respecto al periodo histórico. Así, los mayores tramos expuestos a este peligro se concentran en las zonas montañosas. El principal motivo se debe a que el factor desencadenante empleado para determinar la peligrosidad futura de los deslizamientos, la precipitación máxima acumulada en 5 días, aumenta en este periodo respecto al histórico. No obstante, los resultados de este comportamiento no son concluyentes al estar este indicador sujeto a una alta incertidumbre (Ihobe, 2019).

Para finales de siglo, la afección es relativamente similar; sin embargo, se observa un ligero descenso en el

nivel de afección, resultado de la disminución prevista en el factor climático desencadenante de los deslizamientos (precipitación máxima en 5 días). No obstante, una vez más, hay que considerar la incertidumbre a la que está sujeto este indicador, el cual no refleja una tendencia clara en el territorio.

INDICADORES DE SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD ADAPTATIVA DE LA RED VIARIA ANTE DESLIZAMIENTOS EN MASA

Para la caracterización del riesgo de la red viaria ante deslizamientos en masa se combina el impacto potencial descrito (longitud de los tramos expuestos) con indicadores que caracterizan la sensibilidad y la capacidad adaptativa de los tramos de la red viaria (Tabla 6.3). Estos

indicadores corresponden con los mismos indicadores definidos para la cadena de impacto de inundaciones pluviales sobre la red viaria además de incorporar un indicador adicional, la velocidad media de la vía (Figs. 6.4, 6.6., 6.7).

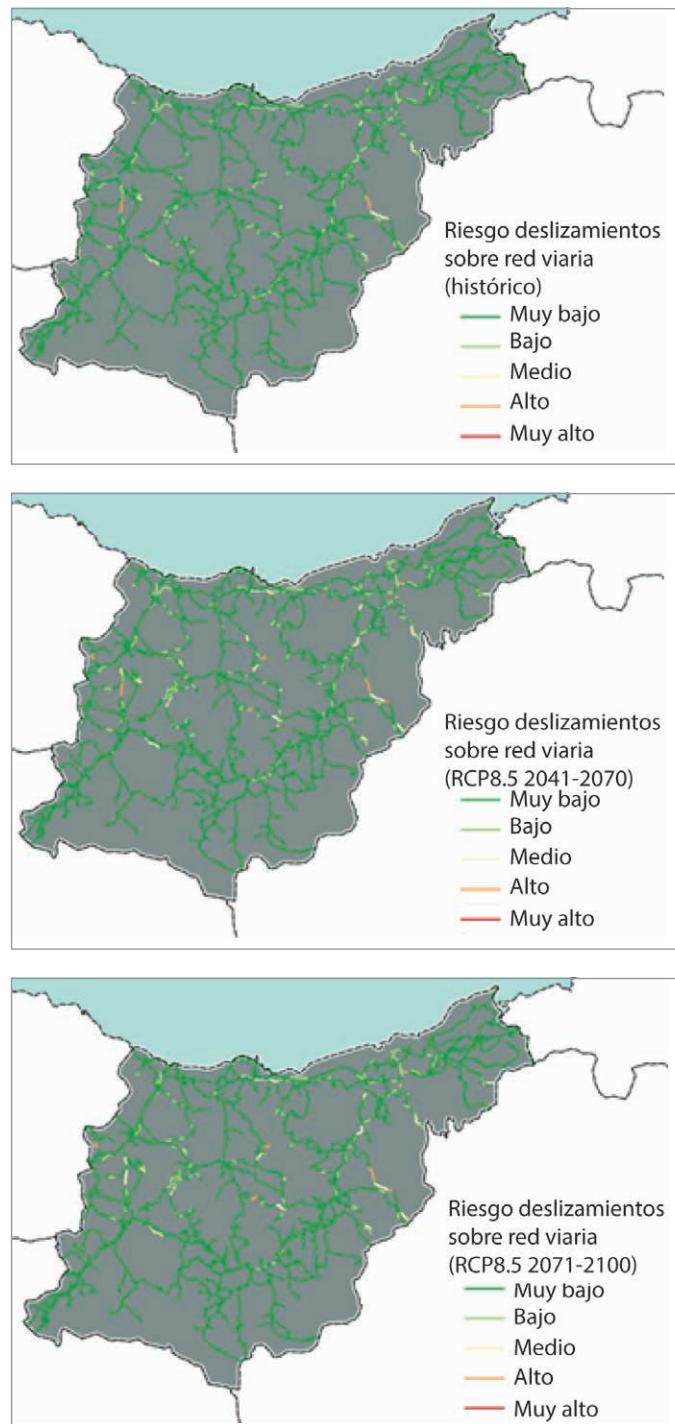
TIPO DE INDICADOR	NOMBRE DEL INDICADOR
INDICADORES DE SENSIBILIDAD	Intensidad media diaria de tráfico
	Tráfico de vehículos ligeros
	Velocidad media de los vehículos
INDICADORES DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA	Cámaras de control de tráfico
	Número de carriles
	Grado de desarrollo del sistema de drenaje
	Superficie permeable de las zonas adyacentes a la red viaria

6.3. Tabla. Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de la red viaria ante los deslizamientos en masa.

6.2.1. RIESGO DE LOS DESLIZAMIENTOS SOBRE LA RED VIARIA

El nivel de riesgo actual de deslizamientos en masa sobre la red viaria de Gipuzkoa es entre muy bajo y bajo en la mayor parte del territorio. Este comportamiento se debe fundamentalmente a una baja longitud de tramos expuestos a niveles de peligrosidad altos y muy altos ante este tipo de deslizamientos. Los tramos con un mayor nivel de riesgo se observan en la zona central del territorio, asociados a una mayor exposición a niveles de peligrosidad elevados. Además, esta alta exposición coincide con una mayor sensibilidad debido a una alta velocidad de los vehículos, así como al elevado tráfico de vehículos totales y ligeros.

En cuanto a la evolución temporal, **el nivel de riesgo aumenta ligeramente para el periodo 2041-2070 y disminuye ligeramente para el periodo 2071-2100**. Esto se debe a la evolución proyectada para la precipitación máxima acumulada en 5 días (factor desencadenante de los deslizamientos en masa), que aumenta para el primer periodo y disminuye ligeramente para finales de siglo.

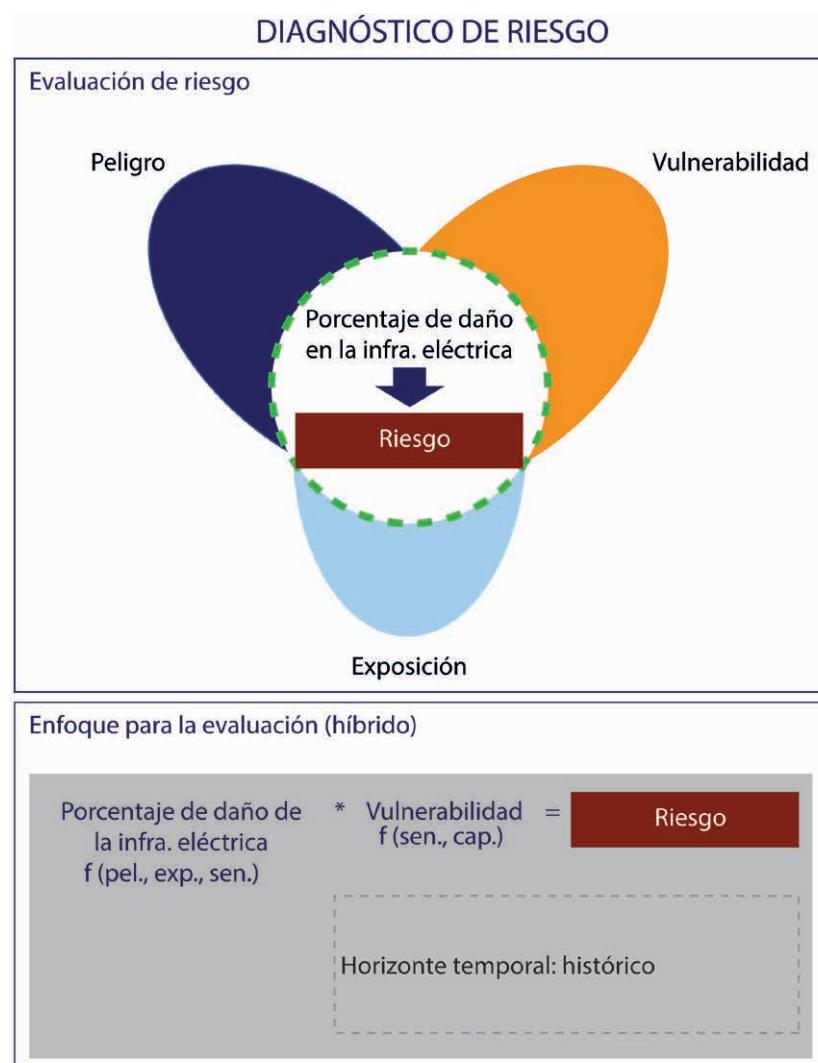


6.11. Fig. Riesgo de deslizamientos sobre la red viaria bajo el periodo histórico y bajo el escenario RCP8.5 los periodos 2041-2070 y 2071-2100.

6.3. INUNDACIONES FLUVIALES SOBRE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Las inundaciones fluviales han llegado a anegar transformadores eléctricos en el pasado, ocasionando como consecuencia incidencias en el suministro eléctrico. Para la determinación del riesgo de inundaciones fluviales sobre las subestaciones eléctricas se ha considerado como potencial impacto de su exposición y sensibilidad a

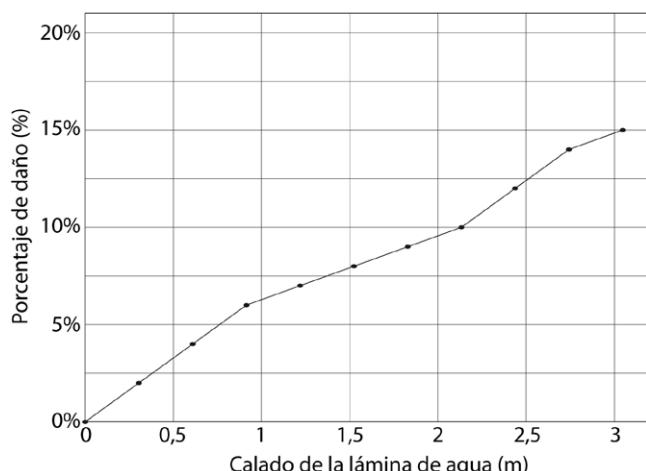
la inundación fluvial **el daño físico a la infraestructura**. Este potencial impacto se combina con la vulnerabilidad de la propia infraestructura para la determinación del riesgo (Fig. 6.12).



6.12. Fig. Enfoque metodológico de la cadena de impacto de inundaciones fluviales sobre subestaciones eléctricas.

El análisis del daño físico de las subestaciones eléctricas bajo un evento de inundación fluvial se ha realizado en base a curvas de daño 'genéricas' disponibles en la bibliografía especializada, que relaciona el calado de

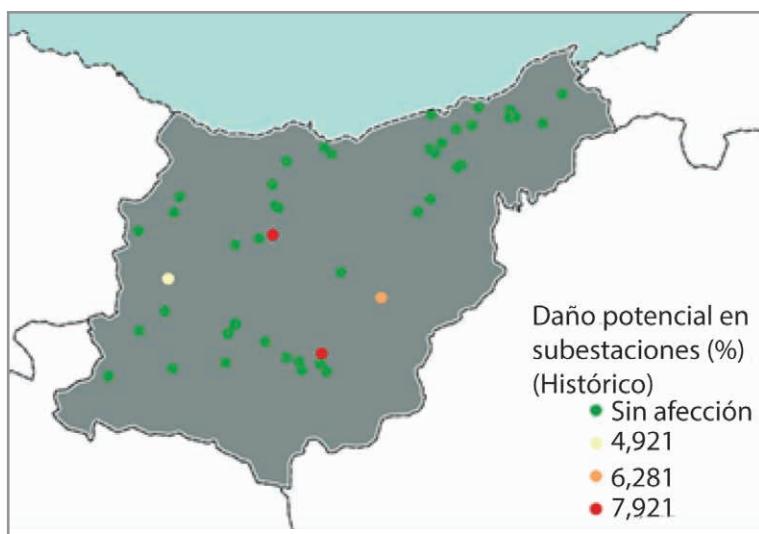
inundación con el porcentaje de daños que podría oca-
sionar a la infraestructura. En concreto, se ha empleado la
curva proporcionada por la Agencia Federal para el Mane-
jo de Emergencias de EEUU (FEMA, 2010) (Fig. 6.13).



6.13. Fig. Curva de daño para estaciones eléctricas ante eventos de inun-
dación basada en FEMA (2010).

El porcentaje de daño físico se ha determinado para aquellas subestaciones eléctricas actualmente expuestas a una inundación fluvial para un periodo de retorno de 100 años. Para la caracterización del calado de la lámina de agua del evento de inundación, que determinará el porcentaje de daño, en el escenario actual se ha utilizado

la profundidad de agua de las zonas inundables para el periodo de retorno de 100 años determinada en el marco de la preparación de la cartografía de peligrosidad y riesgos en segunda fase de la implementación de la Directiva 2007/60/CE, relativa a la evaluación y gestión de riesgos de inundación.



6.14. Fig. Porcentaje de daño de las subestaciones eléctricas para el periodo actual.

En el escenario actual la mayoría de las subestaciones eléctricas no están expuestas a esta amenaza, por lo que no muestran ninguna afección. Únicamente cuatro subestaciones podrían verse expuestas a una inundación fluvial con periodos de retorno de 100 años, observándose

los mayores daños en la cuenca del Urola, en la zona de Azpeitia, y en la cuenca del Oria, entre Beasain y Ordizia, donde el daño potencial en las subestaciones eléctricas podría ser en torno al 8%.

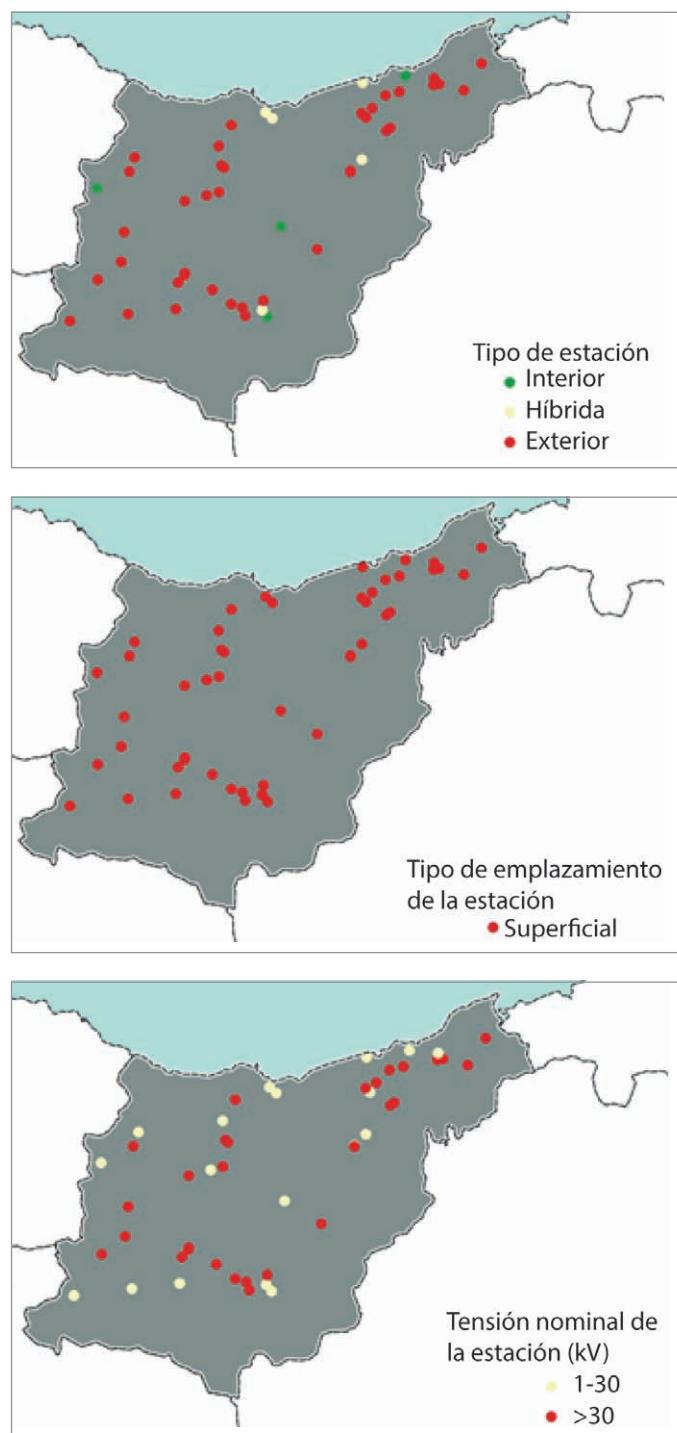
INDICADORES DE SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD ADAPTATIVA DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS ANTE INUNDACIONES FLUVIALES

Para la caracterización del riesgo actual de las inundaciones fluviales sobre las subestaciones eléctricas se combina el impacto potencial descrito, porcentaje de daños físico a la infraestructura, con indicadores que

caracterizan la sensibilidad y la capacidad adaptativa de las instalaciones contempladas en el estudio (Tabla 6.4), siempre teniendo en cuenta las limitaciones ocasionadas por la falta de información de detalle.

TIPO DE INDICADOR	NOMBRE DEL INDICADOR	DESCRIPCIÓN
INDICADORES DE SENSIBILIDAD	Tipo de estación (interior/híbrida/exterior)	Se considera que las estaciones que se encuentran a la intemperie (exterior) son más sensibles a la inundación; las estaciones completamente cubiertas (interior) son las menos sensibles y aquellas que tienen parte interior y parte exterior (híbridas) presentan un grado de sensibilidad medio. Fuente empleada: Geoeuskadi
	Tipo de emplazamiento (aéreo/subterráneo)	Se considera que los emplazamientos aéreos son más sensibles a las inundaciones que aquellos que son subterráneos y se encuentran protegidos. Fuente empleada: elaboración a partir de imágenes Google Earth
	Tensión nominal	Teniendo en cuenta la relevancia que tendría para el sistema eléctrico un fallo de la instalación, se consideran más sensibles cuanto mayor es su nivel de tensión. Fuente empleada: Geoeuskadi

6.4. **Tabla.** Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de las subestaciones eléctricas ante inundaciones fluviales.

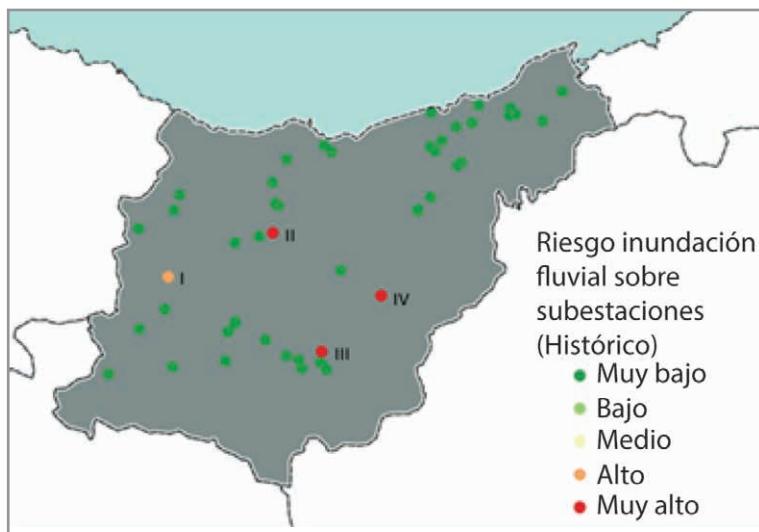


6.15. Fig. Indicadores de sensibilidad de las subestaciones eléctricas.

6.3.1. RIESGO DE LAS INUNDACIONES FLUVIALES SOBRE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

En lo que respecta al riesgo de inundación fluvial sobre las subestaciones eléctricas bajo el periodo histórico y un periodo de retorno de 100 años, en general el riesgo es muy bajo. Cuatro subestaciones eléctricas expuestas a inundación fluvial en las cuencas del Deba, Urola y Oria,

presentan un nivel de riesgo alto o muy alto. Estas estaciones presentan un potencial impacto (daño físico a la infraestructura) elevado que, unido al elevado grado de sensibilidad, dan como resultado un nivel de riesgo muy alto.



6.16. Fig. Riesgo de las inundaciones fluviales sobre las subestaciones eléctricas bajo el periodo histórico y para el periodo de retorno de 100 años.

En el escenario de cambio climático considerado, RCP8.5, las subestaciones eléctricas que en la actualidad ya presentan riesgo de inundación fluvial alto o muy alto **incrementarán su nivel de riesgo debido a cambios en la frecuencia del periodo de retorno de la mancha de inundación**, en concreto, una mayor frecuencia de los episodios de periodos de retorno de 100 años.

Para la caracterización del riesgo futuro bajo escenarios de cambio climático no se dispone de las manchas de inundación fluvial para escenarios climáticos futuros y periodos de retorno de 100 años. Por ello, se ha llevado un enfoque alternativo en el que, para aquellas subestaciones eléctricas que en el escenario actual muestran probabilidad de daño ante inundaciones con periodos de retorno de 100 años (Fig. 6.13), se ha analizado el cambio en el periodo de retorno de la mancha de inundación fluvial. Estos cambios en el periodo de retorno se han determinado

en base a las proyecciones de cambio de caudal extremal para distintos periodos de retorno realizado en distintas estaciones piloto del territorio (DGOH-DFG, 2018). A partir de los cambios proyectados para las distintas estaciones, se ha determinado el comportamiento medio para cada una de las cuencas (Urumea, Urola, Oria, Oiartzun y Deba³) y este cambio medio se ha asignado a cada una de las subestaciones eléctricas para la descripción del riesgo futuro esperable. En la estación situada en la cuenca de Deba, en la que se prevé un incremento de caudal del 5 %, la mancha de inundación asociada al periodo de retorno de 100 años pasaría a ser de 80 años. En la cuenca del Urola, donde se proyecta un incremento del caudal del 21 %, el periodo de retorno de la mancha de inundación cambiaría de 100 a 60 años. En la cuenca del Oria, donde está previsto un incremento del caudal del 3 %, el periodo de retorno se reduciría de 100 a 85 años aproximadamente. Según estos cambios, el mayor nivel de riesgo futuro

³ En el estudio de cambios de inundabilidad por efecto del cambio climático en Gipuzkoa (DGOH-DFG, 2018) no se analizaron los cambios en la cuenca del Bidasoa.

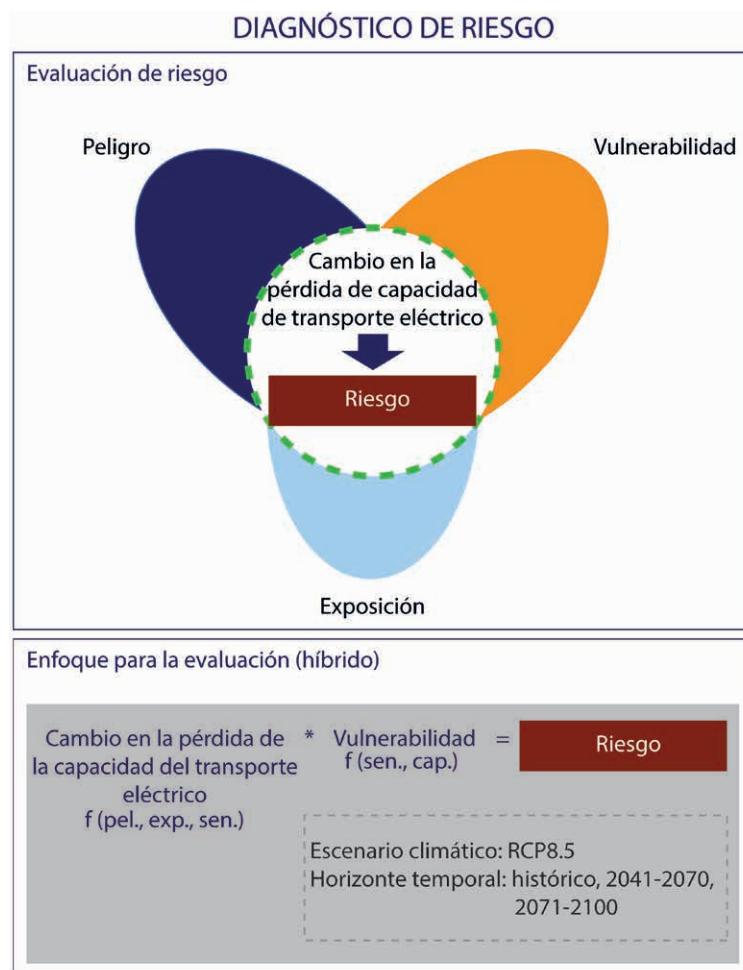
se espera en la estación localizada en la cuenca de Urola, donde se prevé un mayor cambio en la frecuencia de ocurrencia del episodio de avenida de 100 años. Sin embargo, cabe resaltar la gran incertidumbre sobre estas conclusio-

nes debido a las incertidumbres que tiene asociadas los modelos y proyecciones climáticas así como los modelos hidrológicos e hidráulicos.

6.4. TEMPERATURA MÁXIMA SOBRE LOS TENDIDOS ELÉCTRICOS

Durante los días de calor, la infraestructura de transmisión de la electricidad pierde eficiencia debido a la resistencia adicional inducida. Para la determinación del riesgo de la temperatura máxima sobre los tendidos eléctricos se ha considerado como potencial impacto de la exposición y sensibilidad de la red eléctrica al peligro de

las temperaturas extremas la **pérdida en la capacidad de transporte de la red eléctrica**. Este potencial impacto se combina con la vulnerabilidad de la propia infraestructura a las altas temperaturas para la determinación del riesgo (Fig. 6.17).



6.17. Fig. Enfoque metodológico de la cadena de impacto de la temperatura máxima sobre los tendidos eléctricos.

El rango de operación segura de las líneas de transporte y distribución de energía eléctrica se ve reducido en condiciones de alta temperatura ambiente al disminuir su capacidad de disipar el calor generado en el proceso (efecto Joule). Esta evacuación se logra gracias a la diferencia de temperatura entre la temperatura alcanzada en la superficie del conductor en su operación y la temperatura ambiente. Así, la persistencia de temperaturas altas extremas dificultará la evacuación del calor, aumentando la temperatura del conductor y, con ello, su resistencia al paso de la corriente, resultando en un aumento de las pérdidas y una reducción de la capacidad de transporte. En el caso de superarse la temperatura máxima de operación del conductor, el sobrecalentamiento podría provocar, además, daños físicos a la infraestructura e incrementar el riesgo de incendio, por lo que en estos casos es necesario

limitar la intensidad máxima transportada para evitar daños mayores y, con ello, la potencia máxima que es capaz de transportar con respecto a las condiciones de diseño.

Para la caracterización de la pérdida de capacidad del transporte de las líneas por impacto de las temperaturas máximas, se ha aplicado un coeficiente que corrige la intensidad máxima admisible de diseño (para temperatura ambiente de 40°C) para obtener la intensidad máxima admisible para otras temperaturas. Se ha empleado el coeficiente corrector definido en la normativa vigente (UNE 21144⁴, UNE211435⁵) en función de las características de diseño del conductor y la temperatura ambiente, para aquellos casos en los que la temperatura máxima sobrepase los 40°C.

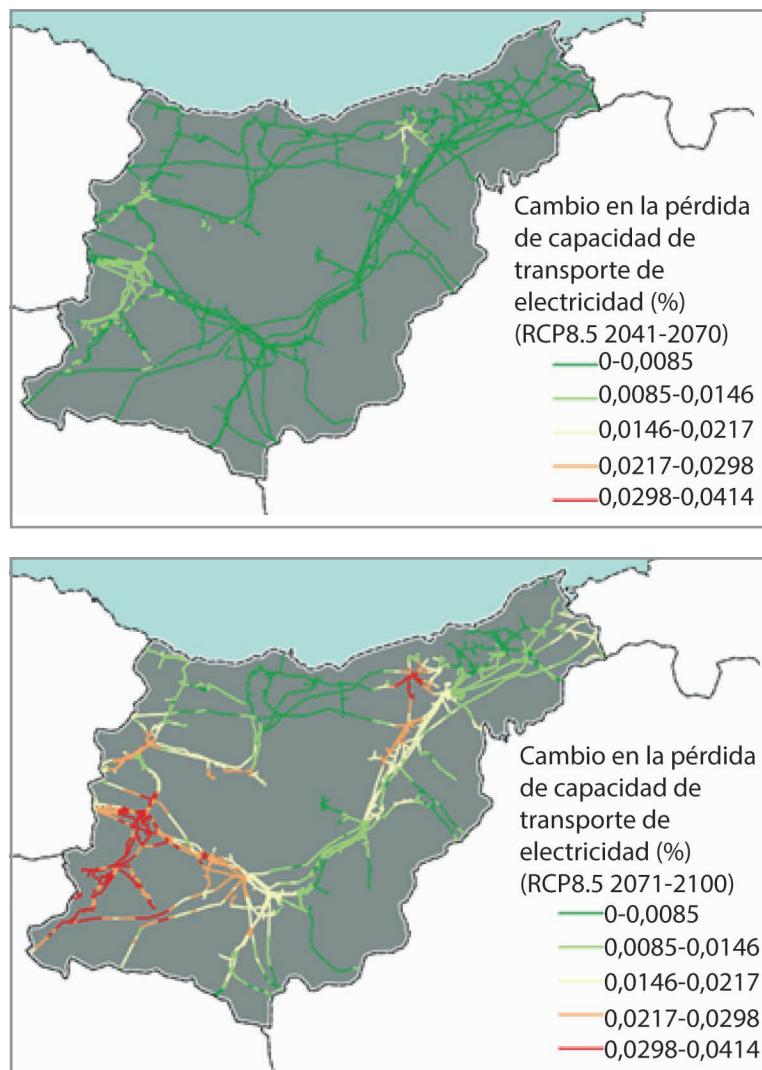
$$\text{Pérdida capacidad de transporte} = 1 - \sqrt{\frac{T_c - T_a}{T_c - T_{umbral}}}$$

donde T_c es la temperatura máxima de servicio del conductor (90°C o 85°C según el tipo de conductor), T_a es la temperatura ambiente y T_{umbral} es la temperatura ambiente de diseño (en este caso 40°C). Los datos de temperatura ambiente corresponden a los percentiles de la proyección de alta resolución espacial y escala temporal

diaria de la temperatura máxima diaria bajo el escenario RCP8.5 (Ihobe, 2019). La pérdida de capacidad de transporte se representa como el cambio que se produce en dicha pérdida en los escenarios futuros con respecto a la observada en el escenario histórico (1971–2000) (Fig. 6.16).

⁴ UNE 21144 (2019). Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. AENOR.

⁵ UNE 211435 (2021). Guía para la elección de cables eléctricos para circuitos de distribución de energía eléctrica. AENOR.



6.18. Fig. Porcentaje de cambio en la pérdida de la capacidad de transporte de electricidad para los períodos 2041-2070 y 2071-2100 con respecto al periodo histórico (1971-2000).

Bajo el periodo 2041-2070, gran parte de los tramos de la red eléctrica presentan una afección baja (pérdida de 0,0085 %) debido a que la peligrosidad es baja, son pocos los días en los que la temperatura máxima supera los 40°C. Las pérdidas de capacidad de transporte mayores se concentran en la comarca de Debagoiena y al este de la comarca de Donostialdea, aunque el impacto sigue siendo moderado al no superar el 0,015 % de pérdida en la capacidad de transporte de las líneas afectadas.

Bajo el periodo 2071-2100, la peligrosidad se incrementa, y, por consiguiente, los niveles de afección. En las zonas en las que para el periodo 2041-2070 los niveles de afección son mayores se agudizan más las pérdidas para este último periodo, alcanzando impactos del 0,03-0,04 % en las comarcas de Debagoiena y Donostialdea, y se amplían, aunque con un grado menor (0,02-0,03 %) a las zonas de Deabarrena y Goierri.

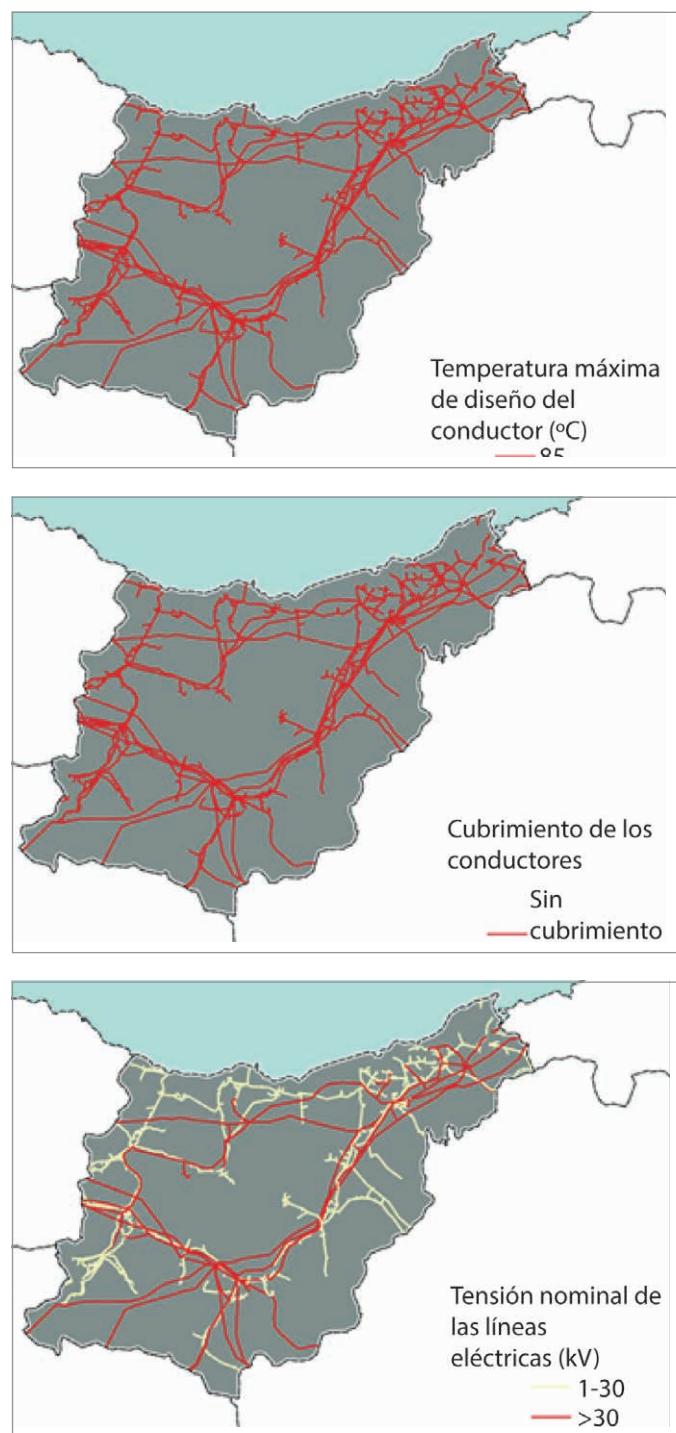
INDICADORES DE SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD ADAPTATIVA DE LA RED ELÉCTRICA ANTE CAMBIOS EN LA TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA

Para la caracterización del riesgo de los tendidos eléctricos a las temperaturas máximas, se combina el impacto potencial descrito, pérdida de la capacidad de transporte

de la red eléctrica, con indicadores que caracterizan la sensibilidad y la capacidad adaptativa de la red eléctrica (Tabla 6.5).

TIPO DE INDICADOR	NOMBRE DEL INDICADOR	DESCRIPCIÓN
INDICADORES DE SENSIBILIDAD	Temperatura máxima de diseño del conductor	Se consideran más sensibles los conductores que tienen un menor rango de operación segura, estando ligado este a la temperatura máxima de operación sin sobrecalentamiento. Se han considerado más sensibles los conductores de mayor nivel de tensión (alta y media tensión), asignando a los de baja tensión un grado de sensibilidad menor.
	Cubrimiento de los conductores	Se consideran más sensibles los cables desnudos (asumiendo de aplicación en alta y media tensión) y menos sensibles los conductores recubiertos por material aislante (asumiendo de aplicación en baja tensión).
	Tensión nominal	Teniendo en cuenta la relevancia que tendría para el sistema eléctrico un fallo en la instalación, se consideran más sensibles cuanto mayor es su nivel de tensión.

6.5. Tabla. Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de la red eléctrica ante cambios en la temperatura ambiente máxima.



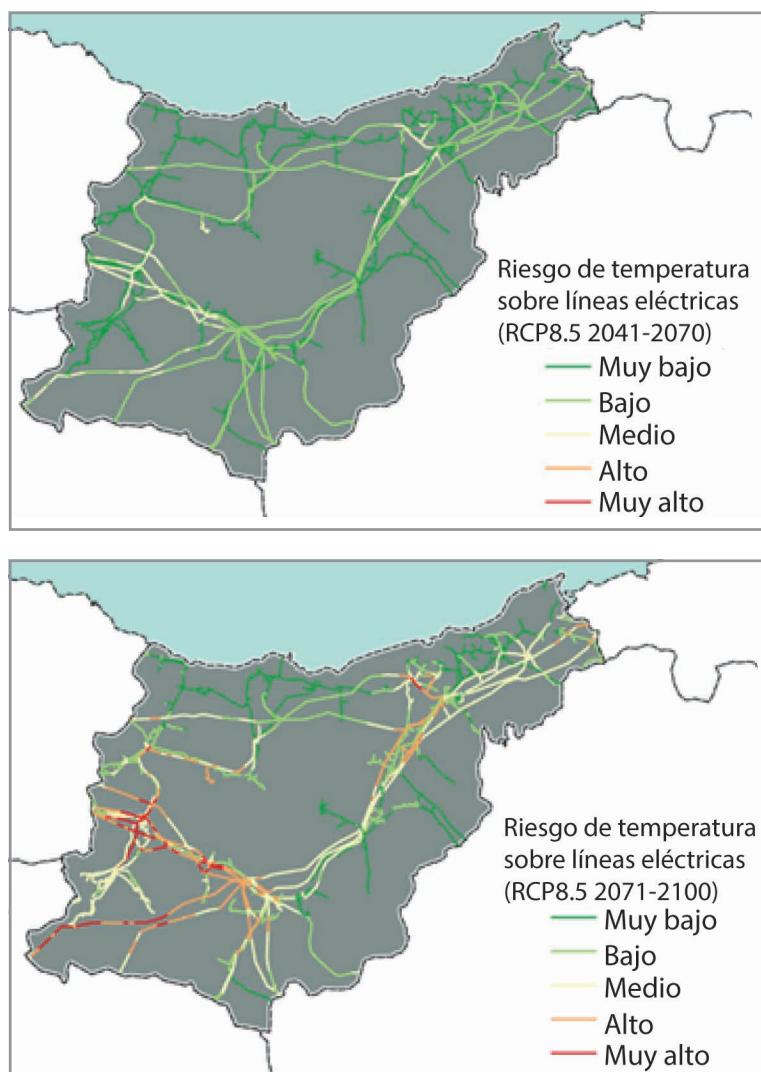
6.19. Fig. Indicadores de sensibilidad de las líneas eléctricas.

6.4.1. RIESGO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA SOBRE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS

El nivel de riesgo de las temperaturas máximas sobre la capacidad de transporte de las líneas eléctricas aumenta a medida que avanza el siglo respecto a la situación histórica. En el medio plazo, periodo 2041-2070, el nivel de riesgo de las temperaturas máximas sobre la capacidad de transporte de las líneas eléctricas previsto es entre muy bajo y bajo en la mayor parte del territorio. Los niveles de riesgo varían en función del nivel de tensión, siendo el riesgo muy bajo en las líneas de media tensión y de bajo a medio en las líneas de alta y muy alta

tensión. El mayor riesgo sobre estas líneas se debe a la mayor relevancia que tendría para el sistema eléctrico un fallo de las mismas, en comparación con la baja tensión.

Los niveles de riesgo medio se concentran en zonas de Debagoiena y en Donostialdea (zona de Lasarte-Oria). Estas zonas corresponden con aquellas en las que el impacto potencial (pérdida en la capacidad de transporte) es mayor y que, por sus características de diseño, muestran una alta sensibilidad.



6.20. Fig. Riesgo de las temperaturas máximas sobre las líneas eléctricas para (arriba) el periodo 2041-2070 y (abajo) 2071-2100 bajo el escenario climático RCP8.5.

Los niveles de riesgo se incrementan, de forma generalizada, en el periodo 2071-2100, agravándose especialmente en los tramos de la red en los que un impacto potencial elevado coincide con una mayor sensibilidad. Esto es, los principales cambios y niveles de riesgo mayores se concentran en las líneas de alta y muy alta tensión. En las comarcas de Debagoiena y Donostialdea, el nivel de riesgo de las líneas de mayor tensión podría pasar de alto en el periodo 2041-2070 a muy alto en el largo plazo, 2071-2100. En el resto de comarcas, en las líneas de mayor nivel de tensión se incrementa también el nivel de riesgo

respecto al periodo 2041-2070, pasando de un nivel de riesgo bajo a medio.

En cambio, en las líneas de menor tensión, el nivel de riesgo es en general menor y no se prevén cambios significativos. Así, en la mayoría de sus tramos el nivel de riesgo para el periodo 2071-2100 sigue siendo muy bajo. Sí se aprecia, sin embargo, un incremento en el nivel de riesgo de este tipo de líneas en la comarca de Debagoiena, donde podría pasar de un nivel de riesgo muy bajo en el periodo 2041-2070 a un riesgo medio en el periodo 2071-2100.





La infraestructura crítica (IC) es un componente fundamental de la sociedad. Las amenazas relacionadas con el clima, como los fenómenos meteorológicos extremos, tienen el potencial de afectar a la vida útil y eficacia de estas infraestructuras. Se ha de tener presente que la IC generalmente se diseña y opera con el objetivo de que sea funcional, duradera y segura por largo tiempo (por lo general, de 50 a más de 100 años). Por ello, el análisis de los riesgos a los que pueden enfrentarse en este contexto de cambio climático es de especial interés.

El objetivo de este informe ha sido analizar la vulnerabilidad y el riesgo ante el cambio climático de las principales IC del T.H. de Gipuzkoa. Para ello, se han evaluado los principales peligros climáticos que pueden afectar al territorio y las principales consecuencias históricas sobre las infraestructuras críticas. Esto ha permitido priorizar las cadenas de impacto sobre las que se analiza el riesgo. Estas cadenas de impacto reflejan las relaciones causa-efecto entre los peligros que afectan al territorio y las IC existentes.

El riesgo se entiende como el potencial de que los sistemas humanos y ecológicos puedan sufrir consecuencias adversas derivadas de los peligros climáticos, en combinación con otro tipo de peligros, lo que provoca posibles impactos. La metodología utilizada aborda un análisis del riesgo completo, combinando los conceptos de amenaza o peligrosidad, exposición al peligro y la vulnerabilidad. Para ello se ha empleado un enfoque híbrido que combina la aproximación cuantitativa y semicuantitativa. La aproximación cuantitativa ha permitido estimar el potencial impacto del peligro considerado en cada caso mientras que la aproximación semicuantitativa, basada en la aplicación de indicadores, ha permitido evaluar la vulnerabilidad.

La evaluación del riesgo se ha realizado bajo el escenario climático más pesimista (RCP8.5), para varios horizontes temporales y adaptando la metodología de análisis específicamente para cada una de las siguientes cadenas de impacto: 'Inundaciones pluviales sobre la red viaria', 'Deslizamientos sobre la red viaria', 'Inundaciones fluviales sobre las subestaciones eléctricas' y 'Temperatura máxima sobre los tendidos eléctricos'. A pesar de las incertidumbres a las que está sujeta el análisis realizado, los resultados destacan algunas cuestiones importantes:

INUNDACIÓN PLUVIAL SOBRE LA RED VIARIA

El nivel de riesgo de las inundaciones pluviales sobre la red viaria se incrementa a medida que aumenta el periodo temporal. Los niveles de riesgo se intensifican en el periodo 2041–2070 bajo ese escenario de cambio climático respecto al periodo histórico. Esto se debe a una mayor pérdida de la capacidad de transporte de las vías

debido a la mayor superficie y calado de la inundabilidad pluvial. Los niveles de riesgo más alto se concentran sobre la red preferente, al presentar esta un elevado impacto potencial (pérdida en la capacidad de transporte) y una mayor sensibilidad.

DESLIZAMIENTOS SOBRE LA RED VIARIA

El nivel de riesgo de los deslizamientos en masa sobre la red viaria aumenta en el medio plazo (2041–2070) y disminuye en el largo plazo (2071–2100). Esto se debe a la evolución prevista para el factor desencadenante de los deslizamientos, la precipitación máxima acumulada en 5 días, que aumenta para el primer periodo y disminuye

ligeramente para el segundo. En general, el riesgo de los deslizamientos en la red viaria es entre muy bajo y bajo en ambos periodos, concentrándose las zonas de mayor nivel de riesgo en la zona central montañosa del territorio, donde la exposición a niveles de peligrosidad altos y muy altos antes deslizamientos es mayor.

INUNDACIÓN FLUVIAL SOBRE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

El nivel de riesgo de la inundación fluvial sobre las subestaciones eléctricas se incrementa para escenarios de cambio climático en aquellas estaciones expuestas actualmente a este peligro debido a cambios en el periodo de retorno de la mancha de inundación. En concreto, se prevé que los episodios de periodo de retorno de

100 años ocurrirán en un menor número de años. Sin embargo, es importante resaltar la gran incertidumbre que envuelve estas conclusiones debido a las incertidumbres que tienen asociadas los modelos climáticos y proyecciones, así como los modelos pluviométricos, hidrológicos e hidráulicos.

TEMPERATURA MÁXIMA SOBRE LOS TENDIDOS ELÉCTRICOS

El nivel de riesgo de las temperaturas máximas sobre la capacidad de transporte de las líneas eléctricas aumenta a medida que avanza el siglo, siendo entre muy bajo y bajo en el medio plazo (2041-2070) e incrementándose a medio-muy alto a largo plazo (2071-2100). Los niveles de riesgo son más elevados sobre las líneas de mayor tensión, debido a la mayor relevancia que tendría para el sistema eléctrico un fallo de este tipo de líneas. En

el último periodo de análisis (2071-2100) el nivel de riesgo de las líneas de mayor tensión se incrementa en todas las comarcas, concentrándose los niveles de riesgo más elevados en Debagoiena y Donostialdea. En cambio, en las líneas de menor tensión, el nivel de riesgo es en general menor y no se prevén cambios significativos, salvo en determinados tramos donde se incrementa ligeramente.

La seguridad y funcionamiento de las IC es esencial para la adaptación y la resiliencia de los territorios. Para ello es necesario entender los peligros a los que se enfrenta actualmente y se enfrentará en el futuro. Este análisis exhaustivo de la vulnerabilidad y el riesgo de las IC del territorio contribuye a esta mejora del conocimiento

de los riesgos climáticos a los que tendrá que adaptarse y hacer frente en el T.H. de Gipuzkoa. Todo ello permitirá incrementar la resiliencia del territorio, meta fundamental de la Estrategia Guipuzcoana de Lucha Contra el Cambio Climático.







Anexos Glosario Referencias



Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro



REGISTRO DE EVENTOS

Fuente: Revisión y actualización de la evaluación del riesgo de inundación (EPRI 2º ciclo D.H. Cantábrico Oriental y Ura) e información de otros eventos extremos a través de fuentes indirectas (medios de comunicación escrita).

AÑO	MES	CAUSA	RÍO	LOCALIDADES AFECTADAS	DAÑOS Y OBSERVACIONES
1593	SEPTIEMBRE	Avenida	Deba	Azpeitia, Legazpi, Mendaro, Bergara	Un temporal de lluvias hizo que se desbordara el Deba anegando Bergara y su comarca. La inundación produjo desgracias personales, arrasó molinos en el puente de Sasiloa y causó graves daños en casas y huertas. En Gipuzkoa el Urola inundó Azpeitia destrozando sus puentes. En Legazpi el agua destrozó cuatro puentes principales y tres menores.
1594	ABRIL	Avenida	Urola, Oria	Legazpi, Segura	Un temporal de lluvia causó una avenida en las partes altas del Urola y el Oria inundándose las villas de Legazpi y Segura. El agua arrancó varios puentes de piedra y madera y destruyó el camino real de Villareal a Oñati causando la muerte de un viandante.
1678	SEPTIEMBRE	Avenida	Oria	Tolosa	Gran avenida en el río Oria que inundó totalmente la ciudad de Tolosa, llegando el agua a alcanzar más de metro y medio de altura. El agua subió hasta el altar mayor de la iglesia de San Francisco arrancando todas sus sepulturas, derribando diferentes tapias y causando otros muchos daños.
1765	JUNIO	Avenida	Oria	Tolosa	Una gran avenida del Oria anegó por completo Tolosa causando serios daños.
1775	JUNIO	Avenida	Oria	Tolosa	Un temporal de lluvias dio lugar a una avenida del Oria en Tolosa que anegó por completo la villa causando serios daños.
1787		Avenida	Oria	Tolosa	Una avenida del Oria inundó por completo la villa de Tolosa causando graves daños en casas e industrias.
1789	OCTUBRE	Avenida	Oria	Tolosa	Una gran avenida del Oria inundó la ciudad de Tolosa. Los daños en casas e industrias fueron cuantiosos.
1831	ENERO	Avenida	Oria	Tolosa	Un temporal de lluvia provocó una gran avenida del río Oria. En Tolosa las aguas se desbordaron causando daños en la ciudad, que no fueron de gran importancia debido a las medidas que se tomaron a raíz de la inundación de 1801.

AÑO	MES	CAUSA	RÍO	LOCALIDADES AFECTADAS	DAÑOS Y OBSERVACIONES
1834	JUNIO	Avenida	Oria y afluentes	Leintz-Gatzaga, Eskoriatza, Aretxabaleta, Arrasate-Mondragón, Bergara, Antzuola, Elgoibar, Mutriku, Soraluze-Placencia de las Armas	Una gran tormenta que se formó sobre la cuenca del río Deba provocó que todos los ríos y arroyos se desbordaran. En la aportada de la casa posada de San Antonio de Bergara el agua llegó a 7 pies de altura. En el barrio de la misma villa a 5 pies sobre las habitaciones principales; dentro de la parroquia de Santa Marina alcanzó los 10 pies. La villa de Leintz-Gatzaga se inundó por completo llegando el agua a 20 pies de sus calles. En Antzuola el arroyo Descarga se desbordó llegando sus aguas a 15 pies en la plaza pública.
1862		Avenida	Oria	Tolosa	Una gran avenida del Oria produjo inundación en Tolosa anegando la papelera y muchas de sus calles.
1871		Avenida	Oria	Tolosa	Una gran avenida del Oria inundó por completo la villa de Tolosa causando graves daños materiales.
1909		Avenida	Bidasoa	Irun	Un gran temporal de lluvias que afectó al norte de la Península produjo inundaciones desde Asturias a Gipuzkoa. Irun fue la ciudad más castigada, donde las aguas del Bidasoa la inundaron por completo llegando a 0,75 metros de altura en sus calles.
1915	ABRIL	Avenida	Oiartzun, Urumea	Errenteria, Oiartzun, Donostia-San Sebastián	Gran temporal de lluvias que afectó a Gipuzkoa, Bizkaia y norte de Navarra. En Gipuzkoa, la localidad más afectada fue Errenteria, donde el río Oiartzun inundó totalmente la villa causando graves destrozos en casas, bodegas y fábricas.
1917	SEPTIEMBRE	Avenida	Oiartzun	Errenteria	Una extraordinaria avenida del Oiartzun inundó la villa y campos de Errenteria causando graves daños materiales.
1918	ABRIL	Avenida	Oiartzun, Urumea	Oiartzun, Errenteria, Donostia-San Sebastián	Temporal de lluvias que duró varios días y tuvo su punto culminante el día 14, afectando principalmente a las provincias de Gipuzkoa y Bizkaia. En Donostia el Urumea inundó varias barriadas periféricas, principalmente Loiola. Entre Oiartzun y Errenteria cayó una intensa manga de agua que hizo que el río Oiartzun se desbordara e inundara las dos villas causando graves daños e interrumpiendo carreteras y caminos vecinales. En Errenteria la central eléctrica tuvo que interrumpir el suministro eléctrico por los daños sufridos.

AÑO	MES	CAUSA	RÍO	LOCALIDADES AFECTADAS	DAÑOS Y OBSERVACIONES
1926	DICIEMBRE	Avenida	Bidasoa, Leitzaran, Urumea, Oria, Urola, Deba, Ego, Amezketa	Donostia-San Sebastián, Zestoa, Bergara, Ataun, Orio, Deba, Billabona, Irun, Azkoitia, Eibar, Hernani, Usurbil, Amezketa	Un gran temporal de lluvias de tres días de duración afectó al norte de España produciendo avenidas desde Asturias a Navarra. Las mareas vivas dificultaron el desagüe de los ríos aumentando la magnitud de las inundaciones. En Gipuzkoa, el Urumea inundó los barrios de Loiola y Martutene en San Sebastián. Además, sus aguas arrastraron y ahogaron a 2 caseros en Hernani. Los ríos Oria, Urola, Deba, Ego y Amezketa se desbordaron causando graves daños en las localidades de Usurbil, Orio, Billabona, Zestoa, Azkoitia, Deba, Bergara, Eibar y Ataun.
1932	JULIO	Avenida	Urola, Oria	Azpeitia, Tolosa, Andoain	Una gran tormenta que los 17 y 18 descargó gran cantidad de agua. En Gipuzkoa se desbordó el Urola inundando parcialmente Azpeitia e interceptando la carretera a Tolosa.
1932	OCTUBRE	Avenida	Oiartzun, Urumea, Bidasoa, Oria, Deba	Erreenteria, Oiartzun, Donostia-San Sebastián, Hernani, Irun, Tolosa, Elgoibar	Durante el día 23 llovió con gran intensidad sobre Gipuzkoa, provocando graves inundaciones en varias zonas de la provincia. En Erreenteria las aguas del Oiartzun inundaron por completo la ciudad. En Irun, Hernani, Tolosa, Elgoibar y Oiartzun las inundaciones fueron muy graves quedando carreteras cortadas. En Donostia, a la hora de la Pleamar, el Urumea se desbordó inundando los barrios de Loyola y Martutene y cortando carreteras y vías de ferrocarril.
1933	JUNIO	Avenida	Urumea, Oria, Bidasoa, Oiartzun	Irun, Erreenteria, Donostia-San Sebastián, Pasaia, Orio, Legorreta, Ordizia, Beasain, Segura, Urnieta, Errezil, Andoain, Billabona, Lasarte-Oria	Una tormenta de lluvia que afectó a Bizkaia, Gipuzkoa y norte de Navarra produjo una serie de inundaciones que causaron daños de mucha consideración. En Donostia-San Sebastián se inundó el Paseo de Duque de mandas y en Pasaia varios desprendimientos en el monte Jaizkibel ocasionaron graves daños y la muerte de un pescador. El Oria se desbordó inundando toda su cuenca: en Orio y Legorreta los daños fueron cuantiosos siendo Itsasondo la localidad donde las aguas causaron los mayores estragos. En Ordizia, Beasain Segura, Urnieta, Errezil y Andoain hubo también una gran cantidad de destrozos. En Villabona un joven de 20 años pereció al ser arrastrado por las aguas.
1933	OCTUBRE	Avenida	Oiartzun, Urumea, Bidasoa	Irun, Erreenteria, Hernani, Tolosa, Pasaia, Ergobia, Oiartzun, Donostia-San Sebastián, Astigarraga	Durante el día 23 llovió con gran intensidad sobre Gipuzkoa, provocando graves inundaciones en varias zonas de la provincia. En Erreenteria las aguas del Oiartzun inundaron por completo la ciudad, llegando a un nivel de 1 metro en varios puntos de sus calles. En Irun, Hernani, Tolosa, Ergobia y Oiartzun las inundaciones fueron muy graves quedando carreteras y vías cortadas y prácticamente todas las casas inundadas. En Pasaia un tanque de CAMPSA volcó derramando 3 millones de litros sobre las aguas que cubrían la ciudad con gran riesgo de incendio que, por fortuna, no se produjo.

AÑO	MES	CAUSA	RÍO	LOCALIDADES AFECTADAS	DAÑOS Y OBSERVACIONES
1945	OCTUBRE	Avenida	Urola	Zestoa	Las aguas desbordadas del río Urola arrastraron un autocar a la altura de Zestoa pereciendo 20 personas.
1949	OCTUBRE	Avenida	Oiartzun	Errenteria	Inundación menor con escasos daños materiales.
1953	OCTUBRE	Avenida	Urola, Oiartzun, Deba, Urumea, Oria	Zestoa, Errenteria, Martutene, Donostia-San Sebastián, Andoain, Bergara, Tolosa, Billabona, Ordizia, Alegia, Soraluze-Placencia de las Armas, Elgoibar, Mendaro, Lasarte-Oria, Azpeitia, Orio, Usurbil, Ataun	A causa de un fuerte temporal de lluvias hubo graves inundaciones en las provincias de la CAPV, principalmente en Gipuzkoa. En las proximidades de Zestoa, las aguas desbordadas del Urola arrastraron un autocar con 31 pasajeros de los cuales 21 perecieron. En esta misma villa murieron 3 personas al ser sus caseríos arrastrados por las aguas. En Errenteria la punta del aguacero coincidió con la pleamar, lo que desbordó el Oiartzun alcanzando las aguas un nivel de 2 metros en las calles. La carretera a Irun quedó interceptada y los daños fueron cuantiosos. Martutene, Andoain e Itsasondo se inundaron llegando las aguas a alcanzar los 2 metros en esta última villa. El Oria se salió de su cauce en un gran tramo interceptando las comunicaciones por carretera y ferrocarril a la altura de Orio. El Urumea anegó San Sebastián llegando el agua a los 2 metros en puntos de Loiola y Martutene.
1974	OCTUBRE	Avenida	Deba	Deba	Las lluvias caídas en la zona norte de la península durante casi todo el mes de octubre produjeron grandes avenidas en todos los ríos de la zona.
1977	JUNIO	Avenida	Deba, Kilimoi, Oria	Elgoibar, Eibar, Mendaro, Legorreta	Un gran temporal de lluvia provocó inundaciones. El Deba causó serios daños en Mendaro, Eibar y Elgoibar. El Oria interrumpió la N-1 en Legorreta.
1979	NOVIEMBRE	Avenida	Oria, Leitzaran, Araxes, Urumea, Araxes, Urola, Regata de San Pelaio, Deba	Andoain, Tolosa, Hernani, Zestoa, Zarautz, Meagas, Elgoibar, Mendaro	Las lluvias caídas durante varios días y el caudal de varias regatas que vertían agua de deshielo a los ríos guipuzcoanos elevaron considerablemente su caudal provocando desbordamientos e inundaciones en muchas localidades. Los ríos Oria y Leitzaran se desbordaron en Andoain anegando la población; el Araxes cortó la carretera a Pamplona y produjo daños en Tolosa; en Zarautz la regata de San Pelaio se salió de su cauce con la pleamar inundando la zona industrial de la localidad. El Deba se desbordó en Elgoibar inundando la villa, cortando la carretera y provocando un desprendimiento de tierras que cortó la vía del ferrocarril, haciendo descarrilar un tren sin causar desgracias personales. Mendaro también sufrió con dureza los efectos de la inundación.

AÑO	MES	CAUSA	RÍO	LOCALIDADES AFECTADAS	DAÑOS Y OBSERVACIONES
1980	DICIEMBRE	Avenida	Urumea, Oria	Elgoibar, Elgeta, Bergara, Zestoa, Azpeitia, Soraluze, Arrasate-Mondragón, Mendaro, Astigarraga, Hernani, Tolosa, Aretxabaleta	En Gipuzkoa, las aguas del Deba salidas de su curso, afectaron a Elgoibar, Elgeta, Bergara, Arrasate y principalmente a Mendaro. El Urola afectó en Zestoa y Azpeitia. Varias carreteras quedaron cortadas y amplias zonas quedaron aisladas. El Urumea inundó casa y vegas de Astigarraga y Hernani, cortando la carretera que los une. El Oria inundó las industrias y algunos barrios de Tolosa.
1981	ENERO	Avenida	Bidasoa, Oiartzun, Urumea, Oria, Urola, Deba	Erreteria, Oiartzun, Hernani, Donostia-San Sebastián, Astigarraga, Legazpi, Segura, Beasain, Tolosa, Ordizia, Itsasondo, Legorreta, Ikaiztegieta, Anoeta, Irura, Billabona, Zizurkil Ibarra, Aduna, Andoain, Usurbil, Lasarte-Oria, Orio, Legazpi, Azpeitia, Zestoa, Eskoriatza, Mendaro	Como consecuencia de un gran temporal de lluvias se produjeron desbordamientos en amplios tramos de los ríos guipuzcoanos. El Oiartzun se desbordó en la zona próxima a su desembocadura inundando Erreteria y Oiartzun. El Urumea inundó la zona previa a San Sebastián, desde Goizuetta a Astigarraga. El Oria anegó Legazpi y prácticamente su tramo medio y bajo desde Segura a Orio. El Urola causó serios daños en Azpeitia y Zestoa y el Deba se desbordó en prácticamente todo su recorrido, siendo Eskoriatza y Mendaro los pueblos más afectados. Los daños causados fueron de mucha consideración. Carreteras y vías férreas quedaron cortadas y fueron muchas las zonas aisladas por las aguas.
1983	AGOSTO	Avenida	Urola, Deba, Leitzaran, Urumea	Tolosa, Martutene, Azkoitia, Lasarte-Oria, Andoain, Bergara	Un gran temporal causado por una 'gota fría' descargó alrededor de 1500 hm ³ en 36 horas sobre la zona que va desde la parte oriental de Asturias a Gipuzkoa. En Gipuzkoa los ríos que más daños causaron fueron el Deba, Bidasoa, Urola, Leitzaran y Urumea, viéndose gran parte de la provincia anegada.
1988	JULIO	Avenida	Urola, Deba	Elgoibar, Eibar, Mendaro, Soraluze-Placencia de las Armas, Bergara Arrasate-Mondragón, Mutriku, Zumárraga Urretxu, Azkoitia, Zumaia, Deba, Elgeta	En casi dos horas cayeron 170 litros en Elgoibar, 118 en Eibar, 137 en Bergara, 116 en Legazpi o 124 en Zumárraga. Las crónicas de la época cifraron las pérdidas en torno a los 20.000 millones de pesetas (120 millones de euros). En la cuenca del Urola también llovió de manera copiosa. Los pluviómetros captaron 120 litros en Azkoitia. En Elgeta se midieron 98, uno menos que en Arrasate.
1992	JUNIO	Precipitación extrema	Oria, Urumea, Deba, Urola	Donostia, Beasain, Eskoriatza, Zumárraga	El 23 de junio se produjo un episodio de fuertes lluvias sobre el territorio guipuzcoano. El punto más castigado fue Donostia, viéndose afectadas viviendas, industrias y las redes de suministro de agua potable y la red eléctrica. Se produjeron daños en la GI-632 a la altura de Beasain y Zumárraga.

AÑO	MES	CAUSA	RÍO	LOCALIDADES AFECTADAS	DAÑOS Y OBSERVACIONES
1993	DICIEMBRE	Avenida	Deba, Iñurritza, Urola	Bergara, Deba, Mendaro, Zarautz, Zumaia	Las mayores afecciones del evento se produjeron en Bergara, donde se vieron afectadas algunas vías de comunicación.
1995	ENERO	Avenida	Urumea	Donostia-San Sebastián, Astigarraga, Hernani	El evento se centró en la cuenca del Urumea. En Donostia se vieron afectadas algunas industrias, campos y la carretera GI-131. En Hernani se produjeron daños en el equipamiento municipal, en algunas industrias y en la red viaria (L-415).
1995	SEPTIEMBRE	Precipitación extrema	Bidasoa	Irun, Hondarribia	En Hondarribia e Irun se produjeron daños menores en viviendas e industrias. Afección la red de agua potable y la carretera N-1 en varios puntos.
1997	JUNIO	Precipitación extrema	Urumea, Oria, Oiartzun, Iñurritza	Donostia-San Sebastián, Astigarraga, Hernani, Aduna, Alegia, Altzo, Ikaiztegieta, Tolosa, Billabona, Ibarra, Lasarte-Oria, Usurbil, Andoain, Orio, Zarautz, Pasaia, Lezo, Errenteria	Una gota fría dejó 230 litros de agua por metro cuadrado en apenas 12 horas. Las comunicaciones con la capital guipuzcoana se tuvieron que cortar por corrimientos de tierra. Los daños ascendieron a los 6 millones de euros. Junto con Donostia, los puntos más perjudicados fueron Lasarte, Andoain, Urnieta, Usurbil y Zarautz, y se estima que las pérdidas económicas en conjunto superaron los 12 mil millones de pesetas. Durante las riadas 25.000 abonados perdieron su abastecimiento eléctrico, y los desprendimientos interceptaron la N-634.
2002	AGOSTO	Avenida	Bidasoa, Oiartzun, Oria, Urumea	Hondarribia, Irun, Errenteria, Oiartzun, Tolosa, Donostia-San Sebastián	Durante los días 24-28 de agosto la CAPV se vio afectada por una depresión dría en altura, que originó precipitaciones de intensidad moderadas a fuerte y localmente tormentosas. Durante el día 26 los chubascos fueron localmente muy fuertes, incluso torrenciales, lo que acarreó la formación de fuertes avenidas. En Gipuzkoa el servicio ferroviario quedó interrumpido en la línea Bilbao-Donostia y Donostia-Hendaya.
2002	DICIEMBRE	Precipitación extrema	Urumea, Bidasoa, Iñurritza	Donostia-San Sebastián, Astigarraga, Hernani, Irun, Zarautz	Las fuertes lluvias que se produjeron el día 3 afectaron principalmente a los municipios de Hernani, Astigarraga e Irun. La carretera GI-131 se vio afectada en Donostia, Hernani y Astigarraga. En Zarautz se afectó la N-634.
2003	FEBRERO	Avenida	Oria, Urumea, Deba, Bidasoa	Lasarte-Oria, Ordizia, Orio, Usurbil, Donostia, Astigarraga, Hernani, Deba, Elgoibar, Hondarribia, Irun	El deshielo de la nieve y las lluvias causaron desbordamiento de gran cantidad de ríos.

AÑO	MES	CAUSA	RÍO	LOCALIDADES AFECTADAS	DAÑOS Y OBSERVACIONES
2004	ENERO	Avenida	Urumea, Oria	Donostia-San Sebastián, Astigarraga, Hernani, Usurbil	El punto más afectado fue Astigarraga donde se vieron afectadas viviendas, industrias, la red de saneamiento sufrió daños. En Donostia también se vieron afectadas industrias y la red de energía eléctrica. La N-634 se afectó en Getaria y Usurbil.
2004	JULIO	Precipitación extrema	Urumea, Deba	Astigarraga, Deba, Elgeta, Soraluce-Placencia de las Armas, Eibar	En Eibar se afectó el servicio de red eléctrica.
2006	MARZO	Precipitación extrema	Deba, Urumea, Urola, Oria	Deba, Arrasate-Mondragón, Astigarraga, Hernani, Zumárraga, Tolosa	Un episodio de fuertes precipitaciones afectó al territorio de Gipuzkoa. En los municipios de Deba, Tolosa y Hernani se produjeron daños en el equipamiento municipal. Las vías de comunicación se vieron afectadas, la GI-631 en Zumárraga, N-634 en Getaria y GI-627 en Arrasate.
2007	AGOSTO	Precipitación extrema	Oiartzun, Iñurritza	Oiartzun, Zarautz	Afección a la red eléctrica en Zarautz. Daños económicos de 2,7 millones de euros en el Valle de Oiartzun.
2008	ENERO	Fuertes rachas de viento	-	Zona costera	Los fuertes vientos alcanzaron rachas máximas de 120 kilómetros por hora en el litoral Guipuzcoano provocando un fuerte oleaje. Asimismo, se registraron retrasos en los vuelos al aeropuerto de Hondarribia y la caída de un árbol y contenedores en Lasarte-Oria.
2009	FEBRERO	Avenida	Bidasoa	Irun	Inundación en Irun por la crecida de las aguas del Bidasoa, viéndose afectadas dos redes viarias, N-121-A y N-I-.
2011	NOVIEMBRE	Avenida	Oria, Oiartzun, Urumea, Bidasoa, Deba	Hernani, Donostia-San Sebastián, Ergobia, Astigarraga, Lasarte-Oria, Oiartzun, Zizurkil, Billabona, Irun, Hondarribia, Andoain, Lizartza, Tolosa, Zarautz, Aia, Usurbil, Zumaia, Getaria, Elgoibar, Mendaro, Deba	La vertiente Cantábrica de la CAPV se vio afectada por precipitaciones muy intensas que generaron afecciones muy importantes en varios puntos de Gipuzkoa. Cortes de Euskotren en Elgoibar y Usurbil. N-634 cortada entre Zarautz y Getaria por desprendimientos. 20.000 personas sin suministro eléctrico. N-I cortada en Lasarte-Oria durante 2 km. Corte de la N-636 en Lintzirin. Unos 900 abonados a Iberdrola sin luz en Martutene y Hernani. Inundados algunos polígonos industriales. Cierre del ambulatorio de Astigarraga.
2013	ENERO	Avenida	Urola, Oria, Urumea	Azpeitia, Usurbil, Hernani, Astigarraga, Ori,	No hay gran afectación de zonas urbanas o infraestructuras.

AÑO	MES	CAUSA	RÍO	LOCALIDADES AFECTADAS	DAÑOS Y OBSERVACIONES
2013	FEBRERO	Nieve	-	-	Afecciones en la red viaria principal (cierre total de la A-1 en Etxegarate y cortes parciales en la A-15. Corte de suministro eléctrico que afectó desde primera hora de la mañana a 30.000 hogares de Bizkaia, Araba y Gipuzkoa.
2013	MARZO	Precipitación extrema	-	-	Las lluvias provocan daños de casi 8 millones en la red viaria de Gipuzkoa.
2014	DICIEMBRE	Precipitación extrema	-	-	Las trombas de agua provocaron balsas de agua en numerosos puntos de la red viaria, principalmente en Donostialdea y Bidasoa.
2015	FEBRERO	Avenida	Oria, Urola, Urumea, Bidasoa	Tolosa, Andoain, Getaria, Donostia-San Sebastián, Hernani	Desalojo de la gasolinera de la N-1 en Tolosa y cortada la N-634 en Getaria. En Hernani cortadas las carreteras entre Portu y Karabel, en Fagollaga y el Akarregi. Cortada carretera GI-3452 por hundimiento del lateral de la vía. Cortada N-634, GI-3440, A-3302, A-4010, A-4157.
2017	ENERO	Avenida	Oria, Urumea, Urola	Andoain, Tolosa, Getaria, Hernani	Desbordamientos en Urumea y Oria. Desbordamientos del Araxes en Tolosa, afectando los bajos de empresas del polígono de Usabal. N-634 entre Getaria y Zarautz cerrada por desprendimientos. GI-3671 cortada por balsa de agua.
2017	AGOSTO	Precipitación extrema y tormentas	-	-	Efectos en calles y plazas de diversas localidades, con cortes de luz en Orio o Zarautz y grandes balsas de agua. Los bomberos de la capital guipuzcoana realizaron diversas salidas para achicar agua debido al desborde de las alcantarillas, efectuadas en las calles Urbeta, Reyes Católicos, Zumalakarregi o Garibai. El río Bidasoa alcanzó el nivel amarillo por su alto caudal al paso por la estación de Jaizubia.
2018	FEBRERO	Avenida	Urumea	Hernani	Cortado paso al polígono industrial La Florida.
2018	MARZO	Nieve	-	-	El servicio público de transporte se vio afectado, con retrasos en las líneas de Euskotren y cancelaciones en los servicios de Lurraldebus. Buena parte del alumnado no pudo asistir a las aulas, con colegios cerrados y clases suspendidas en las universidades. Cierre de la A-15 a la altura de Andoain e importantes retenciones en la AP-8 dirección Beriatu.
2018	JUNIO	Avenida	Deba	Bergara, Antzuola	Las descargas de agua fueron especialmente intensas en las comarcas situadas más al Este del territorio (Bidasoa y Oarsoaldea) provocando repentinas subidas en el nivel del agua en los riachuelos de Irun y Hondarribia. Asimismo, en Bergara los barrios de Santa Marina y San Antonio fueron los más dañados. En Antzuola, las calles quedaron cubiertas de agua y se produjeron afecciones en lugares públicos como el ambulatorio o la biblioteca.

AÑO	MES	CAUSA	RÍO	LOCALIDADES AFECTADAS	DAÑOS Y OBSERVACIONES
2019	NOVIEMBRE	Ciclogénesis explosiva	-	Donostia-San Sebastián, Irún	La caída de árboles y grandes ramas complicó la situación del tráfico en varios tramos de la red viaria de Gipuzkoa (N-1 y AP-8 principalmente). A primera hora de la mañana, el vuelo procedente de Madrid tuvo que ser desviado al aeropuerto de Pamplona.
2020	ABRIL	Precipitación extrema	-	Zaldibia, Ataun y Ordizia	En Zaldibia la tromba de agua hizo que se salieran de su cauce varios riachuelos y regatas, causó desprendimientos de tierras y daños en algunas carreteras del término municipal. También puso a prueba las canalizaciones y el alcantarillado, y el agua llegó al interior de algunos locales de zonas.
2020	OCTUBRE	Fuertes rachas de viento	-	Orendain, San Sebastián, Zarautz	El vendaval produjo corte de varias carreteras, cortes de luz, problemas en el servicio ferroviario y daños materiales de todo tipo. El viento arrancó el tejado y la última planta de la Casa de Cultura en Orendain. Las rachas de viento en zonas expuestas (Isla de Santa Clara en Donostia-San Sebastián y Zarautz) alcanzaron valores por encima de los 110 km/h.
2021	DICIEMBRE	Avenida	Oria, Oiartzun, Urumea, Bidasoa, Urola, Deba	Elgoibar, Mendaro, Andoain, Astigarraga, Ergobia, Errenteria, Donostia-San Sebastián, Pasaia-Donibane, Hernani	Algunas localidades del País Vasco recogieron alrededor de 600 l/m ² en 24 horas. En Guipúzcoa, varias cuencas hidrográficas se vieron afectadas por el temporal, como las de los ríos Deba, Urola, Oria y Urumea. Esta circunstancia originó pequeñas inundaciones en las localidades de Hernani, Andoain y Astigarraga y el corte de la red ferroviaria (RENFE) a la altura de Gabiria. El municipio de Mendaro queda aislado por carretera. Corte del acceso general al Hospital comarcal de Mendaro.
2021	DICIEMBRE	Niebla	-	-	El día 15 de diciembre, todos vuelos con salida y llegada a Donostia tuvieron que ser desviados al aeropuerto de Bilbao por la densa niebla.
2022	MAYO	Galerna y tormenta	-	Donostialdea	Las precipitaciones dejaron registros de hasta 30 litros por metro cuadrado y 14 C menos en la estación de Euskalmet de Miramon en apenas una hora.

TENDENCIAS ACTUALES DE LA PRECIPITACIÓN Y CAUDALES

El análisis de la evolución de la precipitación intensa y caudales extremos se ha realizado en base a los datos registrados de precipitación acumulada y caudal medio a nivel diario en el conjunto de estaciones pluviométricas y de aforo permanentes de la Dirección de Obras Hidráulicas del Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa. Se ha determinado la tendencia para la serie disponible en cada una de las estaciones. El análisis de las tendencias de las distintas variables analizadas (caudales extremos,

caudales máximos anuales y precipitación extrema) se ha realizado utilizando la estimación de Sen (Sen, 1968) y al mismo tiempo se estudia el nivel de significancia de la tendencia obtenida mediante la aplicación del test de Mann-Kendall (Kendall, 1956), considerando un nivel de significancia del 5%. Los intervalos estudiados en algunos casos son reducidos, por lo que los resultados obtenidos y los análisis realizados referentes a la tendencia de la precipitación y caudales deben tomarse con cautela ya que carecen de la robustez deseada.

CUENCA	ESTACIÓN DE AFORO	PERÍODO	(días año ⁻¹)	P-VALOR
DEBA	Urkulu	1996-2021	0,33	0,16
	San Prudentzio	1996-2020	0,62	0,13
	Oñati	1996-2021	0,91	0,03
	Aixola	1996-2021	0,25	0,59
	Altzola	1996-2020	0,50	0,15
UROLA	Barrendiola	1996-2021	0,06	0,93
	Aitzu	1999-2020	0,92	0,13
	Ibai-Eder	1996-2021	0,84	0,08
	Matxinbenta	2002-2020	0,25	0,70
	Aizarnazabal	1996-2021	0,50	0,11
ORIA	Estanda	1996-2021	0,33	0,36
	Agauntza	1996-2021	0,8	0,04
	Amundarain	2002-2020	0,13	0,78
	Alegia	1996-2020	0,90	0,01
	Araxes	2011-2021	-0,5	0,64
	Elduain	1996-2020	1,18	0,01
	Leitzaran	1996-2021	0,91	0,02
	Lasarte	2000-2021	0,80	0,03
URUMEA	Añarbe	2000-2021	1,35	0,01
	Ereñotzu	1996-2021	1,18	0,00
OIARTZUN	Oiartzun	1998-2021	1,08	0,00
BIDASOA	Endara	1997-2021	1,20	0,03

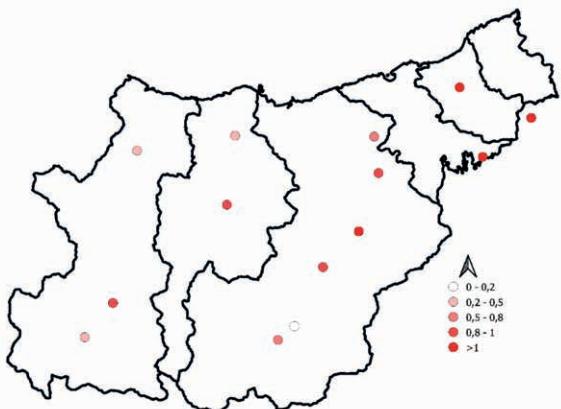


Fig. Tendencias (días año⁻¹) para el número de días a año en que el caudal medio supera el percentil 90 para cada una de las estaciones pertenecientes a la red de estaciones permanentes.

CUENCA	ESTACIÓN DE AFORO	PERÍODO	TENDENCIA (m ³ s ⁻¹ año ⁻¹)	P-VALOR
DEBA	Urkulu	1996-2021	0,01	0,91
	San Prudentzio	1996-2020	0,68	0,44
	Oñati	1996-2021	0,70	0,04
	Aixola	1996-2021	0,01	0,53
	Altzola	1996-2020	3,18	0,03
UROLA	Barrendiola	1996-2021	0,02	0,15
	Aitzu	1999-2020	0,58	0,12
	Ibai-Eder	1996-2021	0,54	0,00
	Matxinbenta	2002-2020	0,05	0,94
	Aizarnazabal	1996-2021	1,29	0,03
ORIA	Estanda	1996-2021	0,44	0,14
	Agauntza	1996-2021	0,60	0,00
	Amundarain	2002-2020	0,09	0,58
	Alegia	1996-2020	3,42	0,00
	Araxes	2011-2021	-2,82	0,60
	Elduain	1996-2020	0,03	0,87
	Leitzaran	1996-2021	1,23	0,04
URUMEA	Lasarte	2000-2021	8,74	0,01
	Añarbe	2000-2021	0,67	0,15
OIARTZUN	Ereñotzu	1996-2021	0,91	0,41
	Oiartzun	1998-2021	0,53	0,02
BIDASOA	Endara	1997-2021	1,55	0,00

Tabla. Tendencias observadas en el caudal máximo anual. En gris se muestran las tendencias estadísticamente significativas (p-valor<0,05).

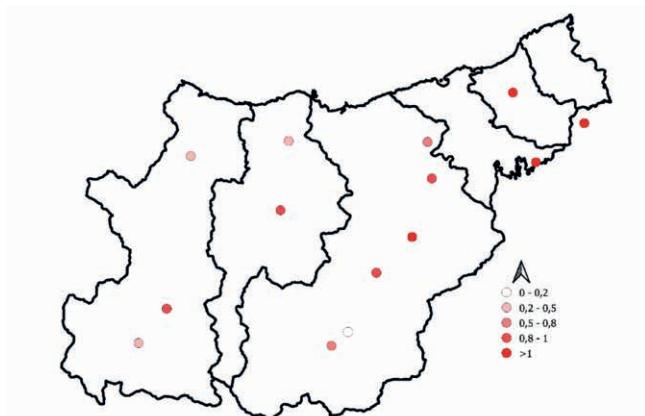


Fig. Tendencias ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{año}^{-1}$) para el caudal máximo anual para cada una de las estaciones pertenecientes a la red de estaciones permanentes.

CUENCA	ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	PERÍODO	TENDENCIA (días año ⁻¹)	P-VALOR
DEBA	Urkulu	1996-2021	0,60	0,05
	San Prudentzio	1997-2021	0,21	0,13
	Oñati	1999-2021		
	Aixola	1996-2021	0,53	0,19
	Altzola	1998-2021	0,25	0,67
UROLA	Barrendiola	2005-2021		
	Aitzu	2000-2021	0,25	0,69
	Ibai-Eder	1998-2021	0,61	0,11
	Matxinbenta	2002-2021	0,58	0,22
	Aizarnazabal	1998-2021	0,75	0,00
ORIA	Estanda	1998-2021	0,24	0,67
	Agauntza	1998-2021	0,00	0,94
	Amundarain	2002-2021	0,78	0,12
	Alegia	1998-2021	0,00	1,00
	Araxes	2011-2021	0,20	0,94
	Elduain	2000-2021		
	Leitzaran	1998-2021	0,55	0,11
URUMEA	Lasarte	2000-2021	0,80	0,03
	Añarbe	2000-2021	0,83	0,14
	Ereñotzu	1999-2021	0,64	0,20
OIARTZUN	Igeldo	1929-2021	-0,08	0,15
	Oiartzun	1999-2021	0,40	0,47
BIDASOA	Endara	1997-2021	2,43	0,00
	Hondarribia	1958-2021	0,22	0,04

Tabla. Tendencias observadas en el número de días al año en el que la precipitación diaria supera el percentil 75 de la serie temporal correspondiente. En gris se muestran las tendencias estadísticamente significativas ($p\text{-valor}<0,05$).

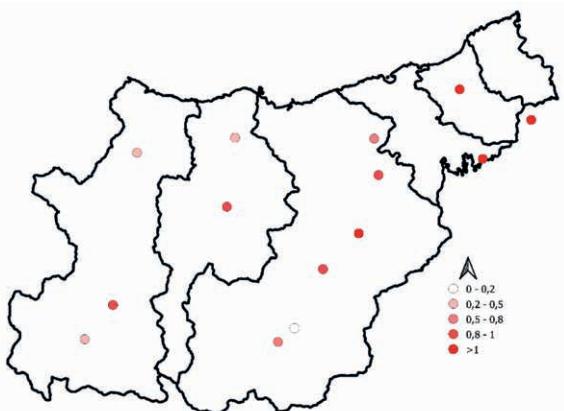


Fig. Tendencias (días año⁻¹) para el número de días a año en que la precipitación diaria supera el percentil 75 para cada una de las estaciones pertenecientes a la red de estaciones permanentes.

DESLIZAMIENTOS EN MASA SOBRE LA RED VIARIA

El riesgo se encuentra en el centro del planteamiento empleado y es entendido como una combinación de la intensidad o poligonalidad, la exposición y la vulnerabilidad. El riesgo se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial anualizado y la vulnerabilidad de la red viaria a dichos deslizamientos. El riesgo sobre la red viaria se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial anualizado y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

Potencial impacto × Vulnerabilidad = Riesgo
(Diel, esp. vna.)

La magnitud de los tramos afectados por deslizamientos en masa se considera como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición de la red viaria a dichos deslizamientos. El riesgo sobre la red viaria se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial anualizado y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

Potencial impacto: longitud de tramos afectados por deslizamientos en masa

La caracterización de los tramos de la red viaria expuestos a deslizamientos se ha realizado combinando los mapas de poligonalidad frente a deslizamientos en masa para el escenario climático RCP8.5 y los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que la localización de cada tramo.

La magnitud de los tramos expuestos a los deslizamientos se ha logrado en la red viaria en función de la intensidad de poligonalidad alta y muy alta. La longitud de tramos afectados por deslizamientos se incrementa en el modo pleno (2070) al incrementarse la poligonalidad frente a deslizamientos, al incrementarse el factor descalificador de los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) en el modo pleno (2070-2100), en el que se observa un ligero descenso al disminuir la proporción de poligonalidad alta.

Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de la red viaria ante deslizamientos en masa

Indicadores de sensibilidad

Intensidad media diaria del tráfico: las carreteras con mayor intensidad media diaria de tráfico se consideran que tienen mayor riesgo.

Número de cárteres: mayor riesgo para mayores número de cárteres.

Indicadores de adaptación

Indicadores de control de tráfico: mayor riesgo para mayores niveles de control de tráfico.

Grado de desarrollo del sistema de información: menor riesgo para mayores niveles de desarrollo del sistema de información.

Superficie permeable de los suelos: menor riesgo para mayores superficies permeables de los suelos.

Indicadores de vulnerabilidad

Intensidad de velocidad: ligeros riesgos para velocidades más bajas.

Velocidad media de los vehículos: menor riesgo para mayores velocidades.

DIAGNÓSTICO DE RIESGO

Evaluación de riesgo:



Diagnóstico para la infraestructura vial:



RESULTADOS DE RIESGO

El riesgo de los deslizamientos en masa en la red viaria se mantiene en el modo pleno. El riesgo de deslizamientos en masa es menor en el modo pleno que en el modo actualizado, ya que el riesgo de deslizamientos en masa es menor en el modo pleno que en el modo actualizado.

El riesgo de los deslizamientos en masa en la red viaria es menor en el modo pleno que en el modo actualizado, ya que el riesgo de deslizamientos en masa es menor en el modo pleno que en el modo actualizado.

En el modo pleno (2040-2070) los niveles de riesgo aumentan significativamente, lo que indica que el riesgo de deslizamientos en masa es mayor en el modo pleno que en el modo actualizado. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo.

INUNDACIONES FLUVIALES SOBRE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

El riesgo se encuentra en el centro del planteamiento empleado y es entendido como una combinación de la intensidad o poligonalidad, la exposición y la vulnerabilidad. El riesgo se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial anualizado y la vulnerabilidad de las subestaciones eléctricas a los deslizamientos fluviales. El riesgo sobre las subestaciones eléctricas se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial anualizado y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

Potencial impacto × Vulnerabilidad = Riesgo
(Diel, esp. vna.)

El daño fluvial a la infraestructura se considera como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición y vulnerabilidad de las subestaciones eléctrica a los deslizamientos fluviales. El riesgo sobre las subestaciones eléctricas se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial anualizado y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

Potencial impacto: daño fluvial de las subestaciones eléctricas

El análisis del daño fluvial a las infraestructuras ha sido realizado basado en la aplicación de curvas de daño "ganancia" que relacionan el daño de la infraestructura con el potencial impacto de inundación. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo.

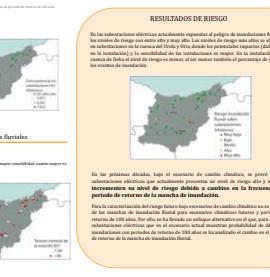
El análisis del daño fluvial a las infraestructuras ha sido realizado basado en la aplicación de curvas de daño "ganancia" que relacionan el daño de la infraestructura con el potencial impacto de inundación. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo.

DIAGNÓSTICO DE RIESGO

Evaluación de riesgo:



Diagnóstico para la infraestructura eléctrica:



RESULTADOS DE RIESGO

Para la caracterización del daño de la red viaria se ha utilizado el daño de la red viaria de agua sobre el terreno de los suelos inestables para el período de revisión de 100 años en el escenario actualizado.

La mayoría de las subestaciones eléctricas se sitúan actualmente expuestas a inundaciones fluviales en el modo pleno. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo.

INDICADORES DE RIESGO

Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa ante las subestaciones eléctricas ante inundaciones fluviales

Indicadores de sensibilidad

Tipo de estribos: los estribos de menor riesgo son los que tienen menor riesgo de inundación y menor riesgo de inundación.

Tipo de empalmes: los empalmes de menor riesgo son los que tienen menor riesgo de inundación y menor riesgo de inundación.

Tensión nominal: menor sensibilidad cuanto mayor es la tensión nominal.

Indicadores de vulnerabilidad

Tipo de estribos: menor sensibilidad cuanto menor es el tipo de estribos.

Tipo de empalmes: menor sensibilidad cuanto menor es el tipo de empalmes.

Tensión nominal: menor sensibilidad cuanto menor es la tensión nominal.

RESULTADOS DE RIESGO

En las subestaciones eléctricas actualmente expuestas a inundaciones fluviales se observa un riesgo de inundación de agua sobre el terreno de los suelos inestables para el período de revisión de 100 años. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo.

Para la caracterización del riesgo fluvial bajo excepción de daños fluviales se observa un riesgo de inundación de agua sobre el terreno de los suelos inestables para el período de revisión de 100 años. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo.

TEMPERATURAS MÁXIMAS SOBRE TENDIDOS ELÉCTRICOS

El riesgo se encuentra en el centro del planteamiento empleado y es entendido como una combinación de la intensidad o poligonalidad, la exposición y la vulnerabilidad. El riesgo se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial anualizado y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

Potencial impacto × Vulnerabilidad = Riesgo
(Diel, esp. vna.)

La probabilidad de que el riesgo de temperatura de los tendidos eléctricos sea considerado como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición y vulnerabilidad de la red eléctrica a las altas temperaturas se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial anualizado y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

Potencial impacto: cambios en la probabilidad de la capacidad de transporte eléctrica

Durante los días de calor, la infraestructura de transmisión de la electricidad pierde eficiencia debido a la elevada temperatura de los conductores. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo.

Para la caracterización de la probabilidad de que el riesgo de las temperaturas máximas sobre los tendidos eléctricos sea considerado como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición y vulnerabilidad de la red eléctrica a las altas temperaturas se ha utilizado el factor descalificador definido en la normativa vigente (2014/2015). Se ha aplicado el coeficiente corrector definido en la normativa vigente (2014/2015) para la probabilidad de que el riesgo de temperatura sea considerado como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición y vulnerabilidad de la red eléctrica a las altas temperaturas, para aquellos casos en los que la temperatura máxima supercoge los 40°C.

Los datos de temperatura ambiente corresponden a los percentajes de la probabilidad de alta temperatura que se observan en la red viaria para el escenario climático RCP8.5 (Diel, 2015). La probabilidad de capacidad de transporte se ve reducida en condiciones de alta temperatura ambiente al disminuir la eficiencia de los conductores.

Para la caracterización de la probabilidad de que el riesgo de las temperaturas máximas sobre los tendidos eléctricos sea considerado como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición y vulnerabilidad de la red eléctrica a las altas temperaturas se ha utilizado el factor descalificador definido en la normativa vigente (2014/2015). Se ha aplicado el coeficiente corrector definido en la normativa vigente (2014/2015) para la probabilidad de que el riesgo de temperatura sea considerado como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición y vulnerabilidad de la red eléctrica a las altas temperaturas, para aquellos casos en los que la temperatura máxima supercoge los 40°C.

Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de la red eléctrica ante cambios en la temperatura ambiente mínima

Indicadores de sensibilidad

Temperatura mínima de diseño del conductor: menor riesgo para menores temperaturas.

Calentamiento de los conductores: los conductores con menor riesgo para menores niveles de calentamiento.

Tensión nominal: menor riesgo para menores niveles de tensión nominal.

Indicadores de vulnerabilidad

Temperatura máxima de diseño del conductor: menor riesgo para mayores temperaturas.

Calentamiento de los conductores: menor riesgo para mayores niveles de calentamiento.

Tensión nominal: menor riesgo para mayores niveles de tensión nominal.

DIAGNÓSTICO DE RIESGO

Evaluación de riesgo:



Diagnóstico para la infraestructura eléctrica:



RESULTADOS DE RIESGO

Los niveles de riesgo se incrementan de forma generalizada, en el periodo 207-2100, lo que indica que el riesgo de temperaturas máximas sobre los tendidos eléctricos es mayor en el modo pleno que en el modo actualizado. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo.

Los niveles de riesgo se incrementan de forma generalizada, en el periodo 207-2100, lo que indica que el riesgo de temperaturas máximas sobre los tendidos eléctricos es mayor en el modo pleno que en el modo actualizado. Los factores temporales de riesgo (2040-2070 y 2070-2100) que se observan en la red viaria se incrementan en el modo pleno, disminuyendo ligeramente para finales de siglo.

Adaptación al cambio climático: ajuste de los sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o a sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos.

Avenida: aumento inusual del caudal en un cauce fluvial al recibir su cuenca una cantidad tal de aportes de agua que supera su capacidad de almacenamiento, desagüe e infiltración. Como consecuencia se produce una subida del nivel de las aguas, pudiéndose desbordar el cauce e inundar las áreas adyacentes.

Cadena de impacto: herramienta analítica que ayuda a entender mejor, sistematizar y prioriza los factores que impulsan la vulnerabilidad y riesgo climático. La estructura de la cadena de impacto se basa en la comprensión de la vulnerabilidad y riesgo climático del sistema estudiado, incluyendo relaciones causa-efecto.

Cambio climático: el cambio climático hace referencia a una variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como 'un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables'. La CMNUCC diferencia, por tanto, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que altera la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Cambio global: término genérico para describir los cambios a escala global en los sistemas, incluyendo el sistema climático, los ecosistemas y los sistemas socio-ecológicos.

Capacidad de adaptación: capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático, incluida la variabilidad climática y los cambios extremos, a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas.

Clima: el clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo, y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones

de años. El período de promedio habitual es de treinta años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial.

Consecuencias: el resultado de un acontecimiento que afecte a los objetivos

Episodio extremo: un suceso meteorológico extremo es un suceso que es raro para un lugar determinado y una época del año. La definición de raro puede variar, pero en general, se refiere a un suceso que está por debajo/encima del percentil 10/90 de la correspondiente función de densidad de probabilidad estimada a partir de las observaciones. Cuando un suceso meteorológico extremo persiste durante un cierto tiempo puede clasificarse como suceso extremo climático, especialmente si da lugar a un valor promedio o total que a su vez es extremo.

Escenario climático: descripción plausible, y generalmente simplificada, del clima futuro, basada en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, que se construye para ser utilizada de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y sirve de insumo para las simulaciones de los impactos.

Exposición: presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones ambientales, servicios y recursos, infraestructura o activos económico, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente. En este documento hace referencia a las infraestructuras críticas y elementos asociados analizados que, por su ubicación, características y relaciones, podrían verse afectados por el cambio climático.

Evaluación de riesgos: estimación científica cualitativa y/o cuantitativa de riesgos.

Evento: aparición o cambio de un determinado conjunto de circunstancias.

Factor estresante: eventos y tendencias no relacionadas con el clima que tienen influencia en la vulnerabilidad y riesgo. Ej. Cambios de usos del suelo, expansión urbana, deforestación, cambios en la población y demográficos, patrones de desarrollo económico, cambios tecnológicos, cambios en el estilo de vida.

Fenómeno meteorológico extremo: evento que es raro en un lugar y momento determinado del año. Las definiciones de 'raro' varían, pero un fenómeno meteorológico extremo normalmente es tan raro como o más raro que el percentil 10 o 90 de una función de densidad de probabilidad estimada a partir de observaciones. Por definición, las características de lo que se llama clima extremo

pueden variar de un lugar a otro en un sentido absoluto. Cuando un patrón de clima extremo persiste durante algún tiempo, como una estación, puede ser clasificado como un evento climático extremo, especialmente si se produce un promedio o total que es de por sí muy intenso (como la sequía o las lluvias torrenciales durante una estación)

Fenómenos climáticos generadores de impactos: condiciones físicas del sistema climático (p.ej., medias, eventos, extremos) que afectan a un elemento de la sociedad o de los ecosistemas.

Impactos climáticos: consecuencias o efectos sobre los sistemas naturales y humanos. En este informe, los impactos a largo plazo hacen referencia a los efectos sobre las infraestructuras de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos y el cambio climático. Derivan de la interacción de las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad.

Incertidumbre: estado de conocimiento incompleto o que puede resultar de falta de información o de un desacuerdo sobre lo que se sabe o incluso se puede conocer.

Indicador: variable cuantitativa, cualitativa o binaria que se puede medir o describir, en respuesta a un criterio definido.

Infraestructura crítica: el elemento, sistema o parte de este que es esencial para el mantenimiento de funciones sociales vitales, la salud, la integridad física, la seguridad, y el bienestar social y económico de la población y cuya perturbación o destrucción afectaría gravemente al territorio al no poder mantener esas funciones.

Inundación: sumersión temporal de terrenos normalmente secos, como consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que es normal en una zona determinada.

Inundación fluvial: derivadas del desbordamiento de ríos, torrentes de montaña y demás corrientes continuas o intermitentes.

Inundación pluvial: derivadas de altas intensidades de precipitación, que pueden provocar daños 'in situ' y que pueden evolucionar y derivar a su vez en inundaciones significativas cuando la escorrentía se concentra en corrientes de pequeña magnitud y producir desbordamientos.

Inundaciones debidas al mar: derivadas del incremento de la cota del mar en la costa y consiguiente propagación aguas adentro en temporales marítimos.

Ola de calor: periodo de tiempo anormalmente e incómodamente caliente.

Peligro o amenaza: posible aparición de un evento natural o evento físico, tendencia o impacto inducido por el ser humano, que puede causar la pérdida de vidas, lesiones u otros impactos negativos en la salud, así como daños y pérdida de bienes, infraestructuras, medios de vida, prestación de servicios, y recursos ambientales. En este informe, el término peligro se refiere a los acontecimientos o tendencias físicas relacionadas con el clima o sus impactos físicos.

Periodo de retorno: parámetro con dimensión temporal que representa la esperanza matemática de los períodos que transcurren entre la ocurrencia de un valor de una variable (ej. caudal, calado, precipitación) y que este sea igualado o superado, esto es, cuánto tiempo medio pasa entre que ocurren dos o más inundaciones de parecida magnitud. Cuando se expresa en años, equivaldría al inverso de la probabilidad anual de excedencia, esto es, el inverso de la probabilidad de que un año se presente una avenida superior a un valor dado.

Proyección climática: es la respuesta simulada –generalmente mediante el uso de modelos climáticos– del sistema climático a un escenario de emisiones o concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles. Las proyecciones climáticas se distinguen de las predicciones por su dependencia del escenario de emisión o concentración considerado. Las proyecciones están por lo tanto condicionadas a las suposiciones relativas a los escenarios que pueden o no tener lugar.

Resiliencia: capacidad para hacer frente a un evento o perturbación peligroso, responder, reorganizarse de manera que se mantenga su función esencial, su identidad y estructura, al tiempo que se mantiene la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Retroalimentación: se dice que se produce una retroalimentación en el sistema climático cuando el resultado de un proceso inicial desencadena cambios en un segundo proceso que, a su vez, influyen en el primero. Una retroalimentación positiva es aquella en la cual el proceso original se intensifica como resultado de la interacción, mientras que en una negativa el proceso original se reduce.

Riesgo: potencial consecuencia cuando algo de valor está en peligro y cuando la ocurrencia y el resultado son inciertos. A menudo se representa como la probabilidad de acaecimiento de tendencias o sucesos peligrosos multiplicada por las consecuencias en caso de que ocurran tales sucesos. El riesgo es analizado considerando la interacción entre el peligro, la exposición y la vulnerabilidad.

Rutas de Concentración Representativas (RCP-Representative Concentration Pathways): escenarios que incluyen series temporales de emisiones y concentraciones del conjunto completo de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo. La palabra representativa significa que cada RCP proporciona solo uno de los muchos escenarios posibles que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo.

- **RCP2.6:** vía donde el forzamiento radiativo alcanza su máximo nivel aproximadamente a 3 Wm^{-2} antes de 2100 y luego declina.
- **RCP4.5 y RCP4.6:** dos vías intermedias de estabilización en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza en aproximadamente 4.5 Wm^{-2} y 6.0 Wm^{-2} después de 2100.
- **RCP8.5:** vía alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza más de 8.5 Wm^{-2} para 2100 y continúa aumentando durante cierto tiempo.

Sensibilidad: grado en que un sistema resulta afectado, positiva o negativamente, por la variabilidad o el cambio

climático. Los efectos pueden ser directos o indirectos. Variabilidad climática: la variabilidad climática se refiere a las variaciones en el estado medio y otros estadísticos (p.ej., desviación estándar, ocurrencia de extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más allá de los sucesos individuales asociados con el tiempo. La variabilidad se produce por procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o por variaciones en los forzamientos externos naturales o antropogénicos (variabilidad externa). Un ejemplo de variabilidad interna es El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, de sus siglas en inglés) o la Oscilación del Atlántico norte (NAO, de sus siglas en inglés). Un ejemplo de variabilidad externa es el ciclo solar de aproximadamente 11 años.

Vulnerabilidad: propensión o predisposición a ser afectado negativamente por los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad

Tecnalia. (2022). Servicios de asistencia técnica para realizar un análisis de las infraestructuras críticas a los efectos del cambio climático en el Territorio Histórico de Gipuzkoa. Informe Final elaborado por Tecnalia para Naturklima.

Batista e Silva, F., Forzieri, G., Marin Herrera, M.A., Bianchi, A., Lavalle, C., Feyen, L. (2019). HARCI-EU, a harmonized gridded dataset of critical infrastructures in Europe for large-scale risk assessments. *Scientific Data*, 6, 126.

Blunden, J., & T. Boyer, Eds. (2020). State of the Climate in 2020. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102 (8), S1–S475.

Bornaetxea, T. (2018). *Methodological approach for landslide analysis in a regional scale. Data collection, susceptibility models and precipitation thresholds. Application in Gipuzkoa Province (Basque Country)/Lur labainketen analisirako hurbilketa metodologikoa eskala erregionalean. Datuen bilketa, suszeptibilitate modeloak eta euri prezpitazioen atalaseak. Gipuzkoako Lurralde Historikoan aplikatua (Euskal Herria)*. Tesis doctoral, Universidad del País Vasco.

C3E. Proyecciones regionales de cambio climático de variables marinas necesarias para el estudio de impactos costeros a lo largo de la costa española. [Internet]. Disponible en: <http://c3e.ihcantabria.com>

Caballero, A., Pascual, A., Dibarboire, G., & Espino, M. (2008). Sea level and eddy kinetic energy variability in the Bay of Biscay, inferred from satellite altimeter data. *Journal of Marine Systems*, 72, 116–134.

Camus, P., Losada, I.J., Izaguirre, C., Espejo, A., Menéndez, M., & Pérez, J. (2017). Statistical wave climate projections for coastal impact assessments. *Earth's Future*, 5, 918–933.

CCS. (2021). Estadística riesgos extraordinarios. Serie 1971–2020. [Internet]. Disponible en: 14ca6778-2081-4060-a86d-728d9a17c522.consorseguros.es

CEDEX. (2021). Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España. [Internet]. Disponible en: https://ceh.cdex.es/web_ceh_2018/Imp_CClamatico_Pmax.htm.

Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K.E., Fasullo, J., Boyer, T., Mann, M.E., Zhu, J., Wang, F., Locarnini, R., Li, Y., Zhang, B., Tan, Z., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A., & Reagan, J. (2022). Another Record: Ocean Warming Continues through 2021 despite La Niña Conditions. *Advances in Atmospheric Sciences*, 39, 373–385.

Chust, G., González, M., Fontán, A., Revilla, M., Alvarez, P., Santos, M., Cotano, U., Chifflet, M., Borja, A., Muxika, I., Sagarminaga, Y., Caballero, A., de Santiago, I., Epelde, I., Liria, P., Ibaibarriaga, L., Garnier, R., Franco, J., Villarino, E., Irigoién, X., Fernandes-Salvador, J.A., Uriarte, A., Esteban, X., Orue-Echevarria, D., Figueira, T., & Uriarte, A. (2022). Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. *Science of the Total Environment*, 803:149622.

Chust, G., González, M., Fontán, A., Revilla, M., Alvarez, P., Santos, M., Chifflet, M., Borja, A., Muxika, I., Sagarminaga, Y., Caballero, A., De Santiago, I., Epelde, I., Liria, P., Lanzén, A., Alonso, L., Ibaibarriaga, L., Garnier, R., Franco, J., Villarino, E., Valle, M., & Cotano, U. (2021). Servicios de Asistencia técnica para el seguimiento y análisis de indicadores fisicoquímicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa en relación a la evolución de dichos indicadores, así como posibles escenarios, impactos y adaptación futuros. Informe Final elaborado por AZTI para Naturklima. 147 pp.

Climate Data Store. (C3S). [Internet]. Disponible en: <http://cds.climate.copernicus.eu/>

Copernicus Climate Change Service. The Climate Data Store [Internet]. Disponible en: <https://climate.copernicus.eu/climate-data-store>

Corominas. (2006). El clima y sus consecuencias sobre la actividad de los movimientos de ladera en España. Cuaternario y geomorfología: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario, 20, 89–113.

Costa, H., de Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., & San-Miguel-Ayanz, J. (2020). European wildfire danger and vulnerability in a changing climate: towards integrating risk dimensions. EUR 30116 EN, Publications Office of the European Union.

Crozier, M. J. (2010). Deciphering the effect of climate change on landslide activity: a review. *Geomorphology*, 124, 260–267.

Dalziell, E., & Nicholson, A. (2001). Risk and impact of natural hazards on a road network. *Journal of Transportation Engineering*, 127, 159–166.

Dangendorf, S., Hay, C., Calafat, F. M., Marcos, M., Piecuch,

- C. G., Berk, K. & Jensen, J. (2019). Persistent acceleration in global sea-level rise since the 1960s. *Nature Climate Change*, 9(9), 705–710.
- DGMA-DFG. (2022). Exposición del territorio histórico de Gipuzkoa frente a deslizamientos en masa y flujos bajo escenarios de cambio climático.
- DGOH-DFG. (2018). Estudio de actualización del análisis de las precipitaciones intensas y recomendaciones de cálculo de caudales de avenida en pequeñas cuencas del territorio histórico de Gipuzkoa.
- DGOH-DFG. (2018). Cambio en las condiciones de inundabilidad en Gipuzkoa por el cambio climático.
- DIV-DFG. (2020). Información de aforos en las carreteras de Gipuzkoa. Recopilación hasta 2020.
- Egaña, J., & Gaztelumendi, S. (2020). Caracterización océano-meteorológica de eventos adversos por riesgo marítimo-costero: impacto en costa en la CAPV. UHINAK 2020.
- Euskalmet. Informes climatológicos, [Internet]. Disponible en: <https://www.euskalmet.euskadi.eus/clima/boletines-climatologicos/>
- FEMA (Federal Emergency Management Agency). (2010). Hazus-MH MR5. Technical manual. Natural Hazards Risk Assessment Program.
- Forzieri, G., Bianchi, A., Batista e Silva, F., Marin Herrera, M.A., Leblois, A., Lavalle, C., Aerts, J.C.J.H., & Feyen, L. (2018). Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. *Global Environmental Change*, 48, 97–107.
- Fu, G., Dawson, R., Khoury, M., & Bullock, S. (2014). Interdependent networks: vulnerability analysis and strategies to limit cascading failure. *The European Physical Journal B*, 87, 1–10.
- Fuentes-Santos, I., Marey-Pérez, M., & González-Manteiga, W. (2013). Forest fire spatial pattern analysis in Galicia (NW Spain). *Journal of Environmental Management*, 128:30–42.
- Garcia-Soto, C., Cheng, L., Caesar, L., Schmidtko, S., Jewett, E.B., Cheripka, A., Rigor, I., Caballero, A., Chiba, S., Báez, J.C., Zielinski, T., & Abraham, J.P. (2021). An Overview of Ocean Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature, Ocean Heat Content, Ocean pH, Dissolved Oxygen Concentration, Arctic Sea Ice Extent, Thickness and Volume, Sea Level and Strength of the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation). *Frontiers in Marine Science*, 8, 642372.
- Gaztelumendi, S. (2020). Caracterización de daños por embate de mar en las costas de Bizkaia y Gipuzkoa. Uhinak 2020.
- Gruber, N., Clement, D., Carter, B. R., Feely, R. A., van Heuven, S., Hoppema, M., Ishii, M., Key, R. M., Kozyr, A., Lauvset, S. K., Lo Monaco, C., Mathis, J. T., Murata, A., Olsen, A., Perez, F. F., Sabine, C. L., Tanhua, T., & Wanninkhof, R. H. (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science*, 363, 1193–1199.
- Herrera García, S. (2018). Proyecciones regionales de Cambio Climático para vientos extremos en España para el s. XXI: Caracterización de valores de retorno y frecuencia de configuraciones atmosféricas de peligro.
- Houghton, J., Reiners, J., & Lim, C. (2009). Intelligent transport: how cities can improve mobility. IBM, New York.
- Ihobe. (2019). Escenarios regionales de cambio climático de alta resolución para el País Vasco. Elaborado por NEIKER para Ihobe- Gobierno Vasco. Disponible en: <http://escenariosklima.ihobe.eus/>
- Ihobe. (2022). Análisis de la inundabilidad pluvial en escenarios de cambio climático para el País Vasco. Elaborado por Tecnalia para Ihobe.
- 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.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–24.

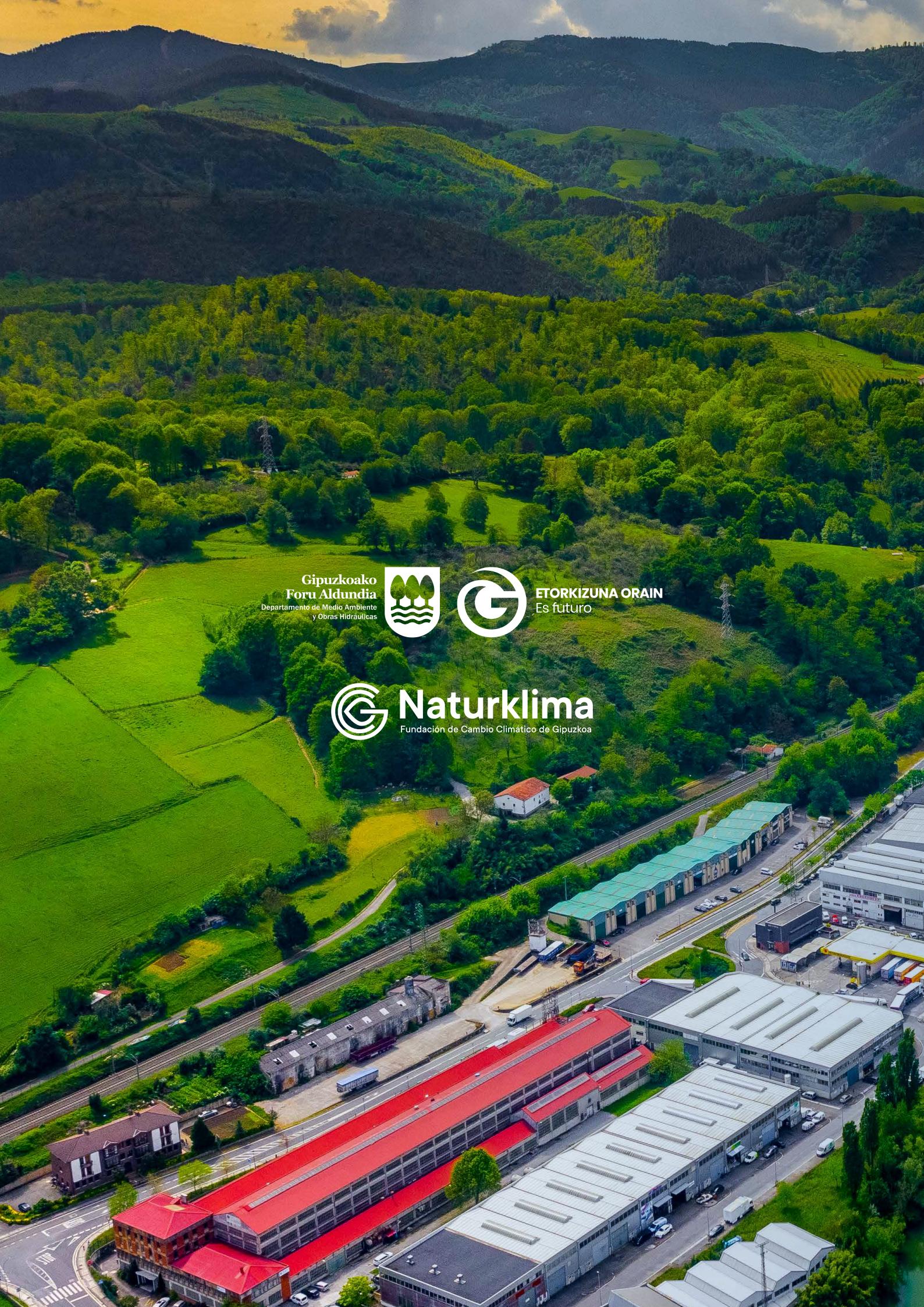
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
- Kostaegoki. (2022). Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa del País Vasco frente al cambio climático. I Análisis de vulnerabilidad y riesgo.
- Kreienkamp, F.; et al. (2021). Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021. *World Weather attribution*.
- Liu, Z., Deng, Z., Davis, S.J., Giron, C., & Ciais, P. (2022). Monitoring global carbon emissions in 2021. *Nature Reviews Earth & Environment*.
- Losada, I., Izaguirre, C. & Diaz, P. (2014). Cambio climático en la costa española. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 133 pág.
- Luijif, H.A.M., Nieuwenhuijs, A.H., Klaver, M.H.A., Van EetenM.J.G., & Cruz, E. (2009). Empirical findings on European critical infrastructure dependencies. *International Journal of System of Systems Engineering*, 2 (1), 3-18.
- Mao, L., Zhu, H., & Duan, L. (2012). The social cost of traffic congestion and countermeasures in Bejin. *Sustainable Transportation Systems*, 1(1), 68-76.
- Marcos, M., Gomis, D., Monserrat, S., Álvarez-Fanjul, E., Pérez, B., & García-Lafuente, J. (2005). Consistency of long sea-level time series in the northern coast of Spain. *Journal of Geophysical Research*, 110, C03008.
- Min, S.K., Zhang, X., Zwiers, F. & Heger, G.C. (2011). Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, 470, 378-381. *Journal of Infrastructure systems*, 23.
- Nicholls, R.J., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., Vafeidis, A.T., Mayssignac, B., Hanson, S.E., Merkens, J.L., & Fang, J. (2021). Global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. *Nature Climate Change*, 11, 338-342.
- Neiker (2021). Análisis de escenarios de cambio climático en Euskadi.
- NOAA National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series, published January 2022, retrieved on January 31, 2022 from <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>
- Pregnolato, M., Ford, A., Wilkinson, S.M., & Dawson, R.J. (2017). The impact of flooding on road transport: a depth disruption function. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 55, 67-81.
- Ranasinghe, R., Ruane, A.C., Vautard, R., Arnell, N., Coppola, E., Cruz, F.A., Dessai, S., Islam, A.S., Rahimi, M., Ruiz Carrascal, D., Sillmann, J., Sylla, M.B., Tebaldi, C., Wang, W., & Zaaboul, R. (2021). Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1767-1926
- Pregnolato, M., Ford, A., Wilkinson, S.M., Dawson, R.J. (2017). The impact of flooding on road transport: a depth-disruption function. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 55, 67-81.
- Rinaldi, S.M., Peerenboom, J.P., & Kely, T.K. (2001). Identifying, understanding and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, 21, 6, 11-25.
- Russo, S., Dosio, A., Graversen, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M. B., Singleton, A., Montagna, P., Barbola, P., & Vogt, J. V. (2014). Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 12,500-12,512
- Sáez, J.L., Corona, C., Stoffel, M., & Berger, F. (2013). Climate change increases frequency of shallow spring landslides in the French Alps. *Geology*, 41 (5), 619-622.
- Seneviratne, S. I., et al. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, in *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, edited by C. B. Field et al., pp. 109- 230, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- Simmons, A., Hersbach, H., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Vamborg, F., Berrisford, P., de Rosnay, P., Willet, K., & Wollen, J. (2021). Low frequency variability and trends in surface air temperature and humidity from ERA5 and

- other datasets. Technical memo, ECMWF.
- Slangen, A.B.A., Carson, M., Katsman, C.A. van del Wal, R.S.W., Köhl, A., Vermeersen, L.L.A., & Stammer, D. (2014). Projecting twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic Change*, 124, 317–332.
- Stoffel, M., Tiranti, D., & Huggel, C. (2014). Climate change impacts on mass movements - case studies from the European Alps. *Science of the Total Environment*, 493, 1255–1266.
- Strauss, B. H., Orton, P. M., Bittermann, K., Buchanan, M. K., Gilford, D. M., Kopp, R. E., & Vinogradov, S. (2021). Economic damages from Hurricane Sandy attributable to sea level rise caused by anthropogenic climate change. *Nature communications*, 12(1), 1–9.
- Turner, A. J., Kim, J., Fitzmaurice, H., Newman, C., Worthington, K., Chan, K., Wooldridge, P.J., Köhler, P., Frankenberg, C., & Cohen, R.C. (2020). Observed impacts of COVID-19 on urban CO₂ emissions. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL090037.
- UNDRR. (2022). Technical guidance on comprehensive risk assessment and planning in the context of climate change. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Ura. (2018). Revisión y actualización de la evaluación del riesgo de inundación (EPRI 2º ciclo).
- Ura. (2021). Análisis del efecto del cambio climático en la inundabilidad de la CAPV – Resumen.
- von Schuckmann, K., Cheng, L., Palmer, M. D., Hansen, J., Tassone, C., Aich, V., Adusumilli, S., Beltrami, H., Boyer, T., Cuesta-Valero, F. J., Desbruyères, D., Domingues, C., García-García, A., Gentine, P., Gilson, J., Gorfer, M., Haimberger, L., Ishii, M., Johnson, G. C., Killick, R., King, B. A., Kirchengast, G., Kolodziejczyk, N., Lyman, J., Marzeion, B., Mayer, M., Monier, M., Monselesan, D. P., Purkey, S., Roemmich, D., Schweiger, A., Seneviratne, S. I., Shepherd, A., Slater, D. A., Steiner, A. K., Straneo, F., Timmermans, M.-L., & Wijffels, S. E. (2020). Heat stored in the Earth system: where does the energy go?. *Earth System Science Data*, 12, 2013–2041.
- Voukouvalas, E., Verlaan, M. & Feyen, L. (2017). Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts. *Earth's Future*, 5, 304–323.
- Vousdoukas, M. I., Voukouvalas, E., Mentaschi, L., Dottori, F., Giardino, A., Bouziotas, D., Bianchi, A., Salamon, P., & Feyen, L. (2016). Developments in large-scale coastal flood hazard mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 1841–1853.
- WCRP Global Sea Level Budget Group. (2018). Global sea-level budget 1993–present. *Earth System Science Data*, 10, 1551–1590.
- Westra, S., Fowler, H. J., Evans, J. P., Alexander, L. V., Berg, P., Johnson, F., Kendon, E. J., Lenderink, G., & Roberts, N. M. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52, 522– 555.
- Zeebe, R. E., Ridgwell, A., & Zachos, J. C. (2016). Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years. *Nature Geosciences*, 9, 325–329.
- Zhang, X., Wan, H., Zwiers, F. W., Hegerl, G. C., & Min, S.-K. (2013). Attributing intensification of precipitation extremes to human influence. *Geophysical Research Letters*, 40, 5252– 5257.
- Zhou, Q., Mikkelsen, P.S., Halsnaes, K., Arnbjerg-Nielsen, K. (2012). Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effects and adaptation benefits. *Journal of Hydrology*, 414, 539–549.
- Zio, E. (2016). Critical infrastructure vulnerability and risk analysis. *European Journal for Security Research*, 1, 97–114.









Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro



Naturklima

Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

Las infraestructuras críticas (IC) son elementos cruciales que garantizan el funcionamiento básico de cualquier sociedad, asegurando la salud, la seguridad, la economía o el bienestar de las personas.

Estas infraestructuras pueden potencialmente verse afectadas por amenazas relacionadas con el clima, como los fenómenos meteorológicos extremos, que pueden afectar a su eficacia, vida útil o pueden conducir a su destrucción. El análisis de riesgos proporciona un marco para comprender los impactos cada vez más graves e interconectados y la mejor manera de reducir los impactos negativos a través de estrategias de mitigación y adaptación.

La Estrategia Guipuzcoana de Lucha Contra el Cambio Climático (EGLCC) establece el objetivo fundamental de asegurar la resiliencia del territorio en relación a los impactos del cambio climático. La protección y seguridad de las infraestructuras críticas es un requisito indispensable para alcanzar dicha meta. Disponer de IC resilientes frente a los impactos del cambio climático es clave, ya que incluso cualquier interrupción de corta duración no deseada podría tener consecuencias en los flujos de suministro de servicios esenciales y provocar perturbaciones y disfunciones graves para el territorio.

Este tercer informe elaborado por la Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa, Naturklima, 'Informe de Impacto y Vulnerabilidad del Cambio Climático en Gipuzkoa - Infraestructuras Críticas' contribuye a la consecución de esta meta al mejorar el conocimiento de la vulnerabilidad y riesgo de las IC de Gipuzkoa al cambio climático.

La recopilación de las principales IC del territorio se ha realizado en base a la Ley 8/2011 sobre protección de las IC, en la que se definen las IC como '... infraestructuras estratégicas cuyo funcionamiento es indispensable y no permite soluciones alternativas, por lo que su perturbación o destrucción tendría un grave impacto sobre los servicios esenciales...'. Se han considerado los sectores estratégicos propuestos en el Anexo de la citada ley. Los subsectores y las potenciales IC de cada uno de ellos se han definido a partir de revisión bibliográfica (Batista e Silva et al., 2019). Por último, se han incluido infraestructuras sociales que, si bien no están incluidos en la ley, se incluyen de forma regular en estudios de estas características en los que se analizan las IC.

Sector	Subsector	IC
ENERGÍA	Electricidad	Centros de transformación, distribuidoras, subestaciones, líneas de baja, media y alta tensión, central hidroeléctrica.
	Petróleo, gas y derivados	Depósitos, estación compresora, red de distribución.
TRANSPORTE	Transporte por Carretera	Vías, centros de control de tráfico, plataformas logísticas, intercambiadores.
	Transporte aéreo	Aeropuerto, helipuertos.
	Transporte marítimo	Puertos, Puerto de mercancías.
	Transporte ferroviario	Vías ferroviarias, funicular, estaciones.
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES (TIC)	Medio de comunicación	Antenas, repetidores, estaciones de emisión, tendidos.
	Internet	Centrales telefónicas, centros de datos.
SALUD	Asistencia sanitaria	Hospitales, centros de salud.
ALIMENTACIÓN	Industria alimentaria	Centros de transformación.
	Distribución y comercialización	Centros de distribución, centros logísticos, mercados mayoristas.
AGUA	Almacenamiento y distribución	Reservorios o embalses, captaciones, depósitos, bombas.
	Tratamiento	Potabilizadoras.
	Sistemas de drenaje y saneamiento	Colectores y red de saneamiento, tanques de tormenta, colectores, depuradoras, infraestructuras de vertido.
SISTEMA FINANCIERO Y TRIBUTARIO	Entidades bancarias	Bancos centrales, centros de datos.
INSTALACIONES DE INVESTIGACIÓN	Centros de investigación	Laboratorios y almacenamientos.
ADMINISTRACIÓN	Seguridad ciudadana	Cuartel de bomberos, comisarías de policía, protección civil.
	Servicios de emergencia	Infraestructuras que se utilizan en situaciones de emergencia.
INDUSTRIA QUÍMICA	Instalaciones químicas	Instalaciones industriales SEVESO.
ESPACIO	Instalaciones espaciales	Antenas, centros de control y telecomunicaciones.
SOCIAL	Educación	Centros escolares.
RESIDUOS	Infraestructuras de gestión de residuos	Planta de separación de envases, planta de compostaje, Complejo Medioambiental de Gipuzkoa, estación de transferencia.

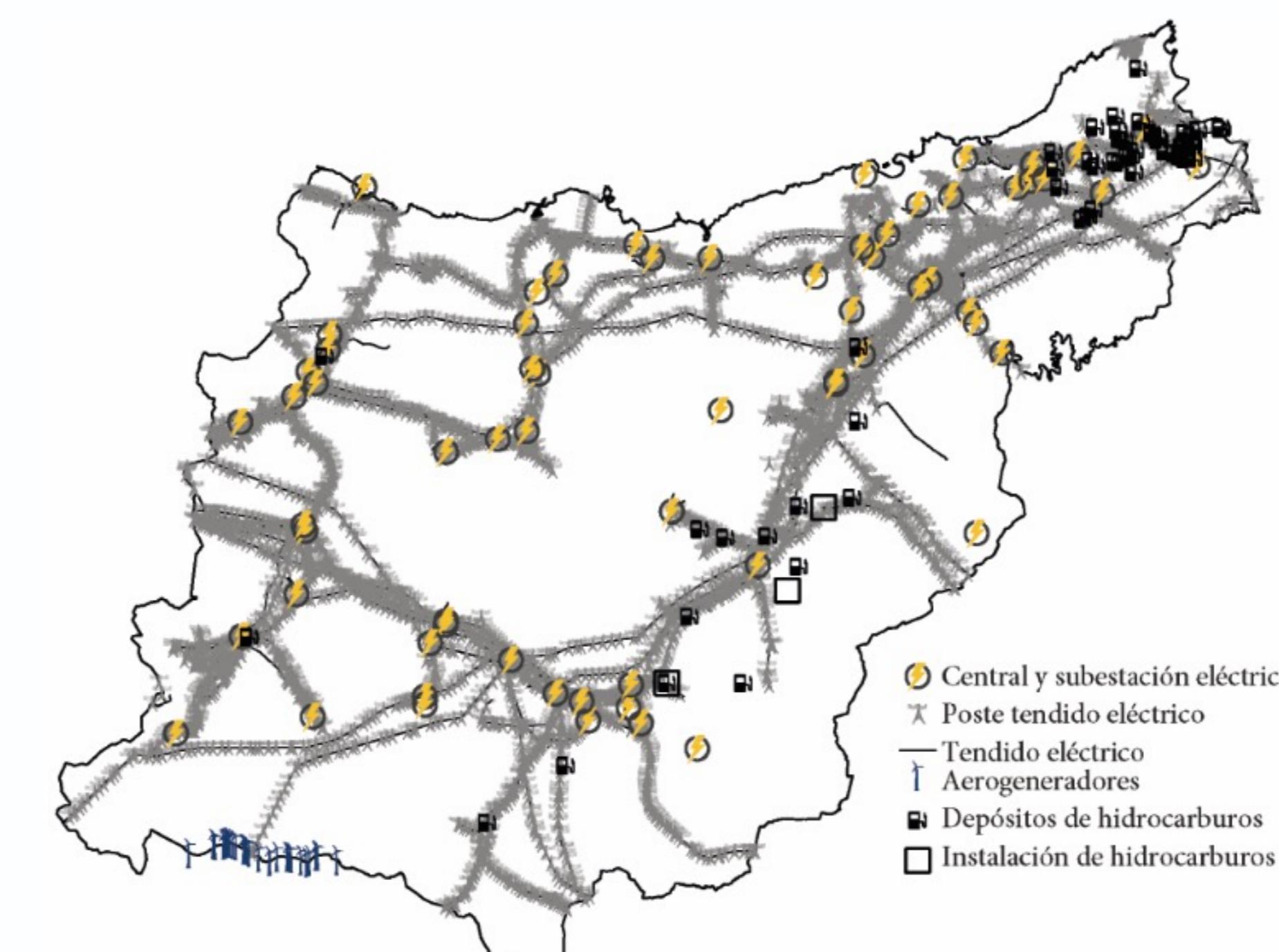


Fig. Infraestructuras del sector energía

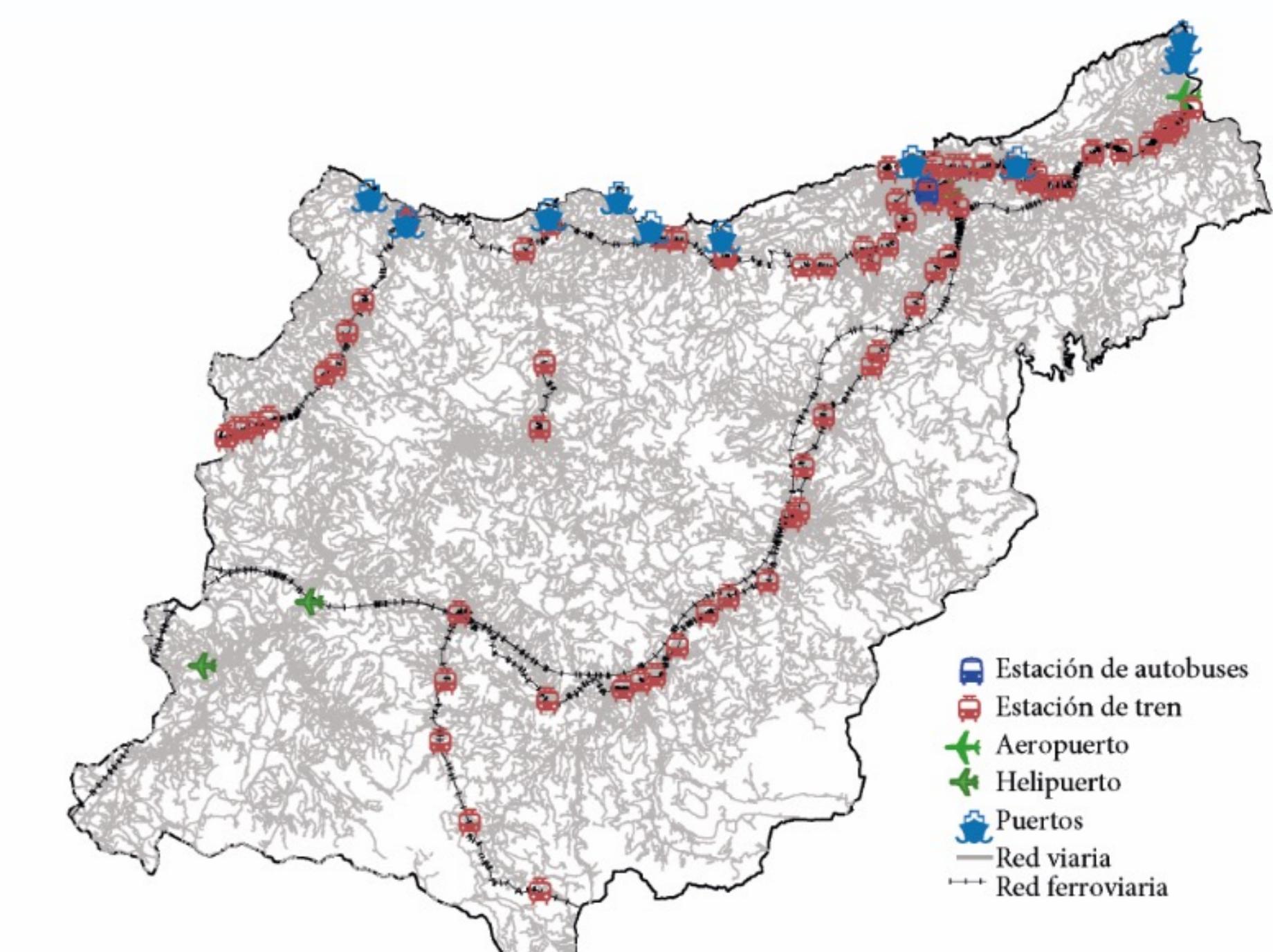


Fig. Infraestructuras del sector transporte



Fig. Infraestructuras del sector TIC: antenas

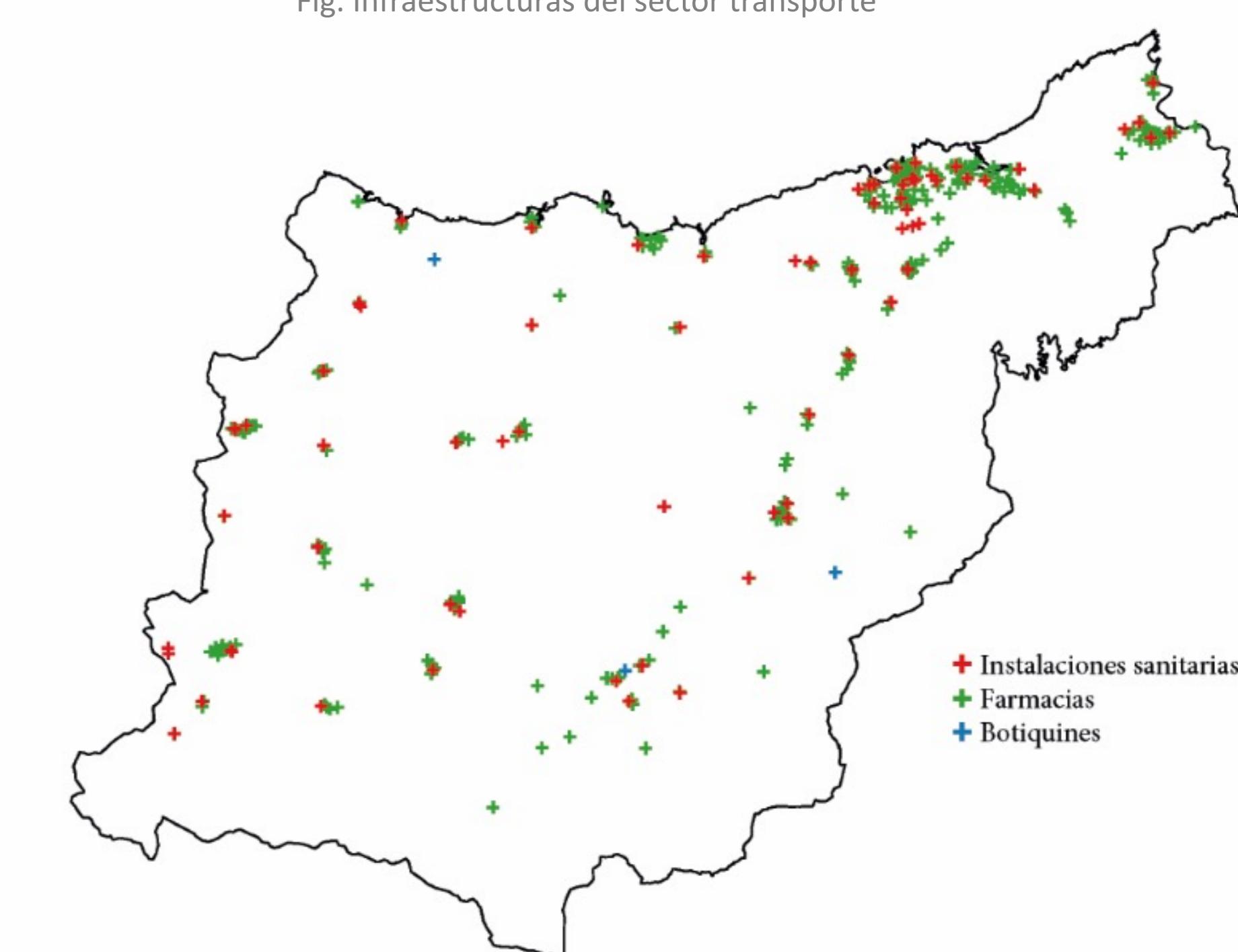


Fig. Infraestructuras del sector salud

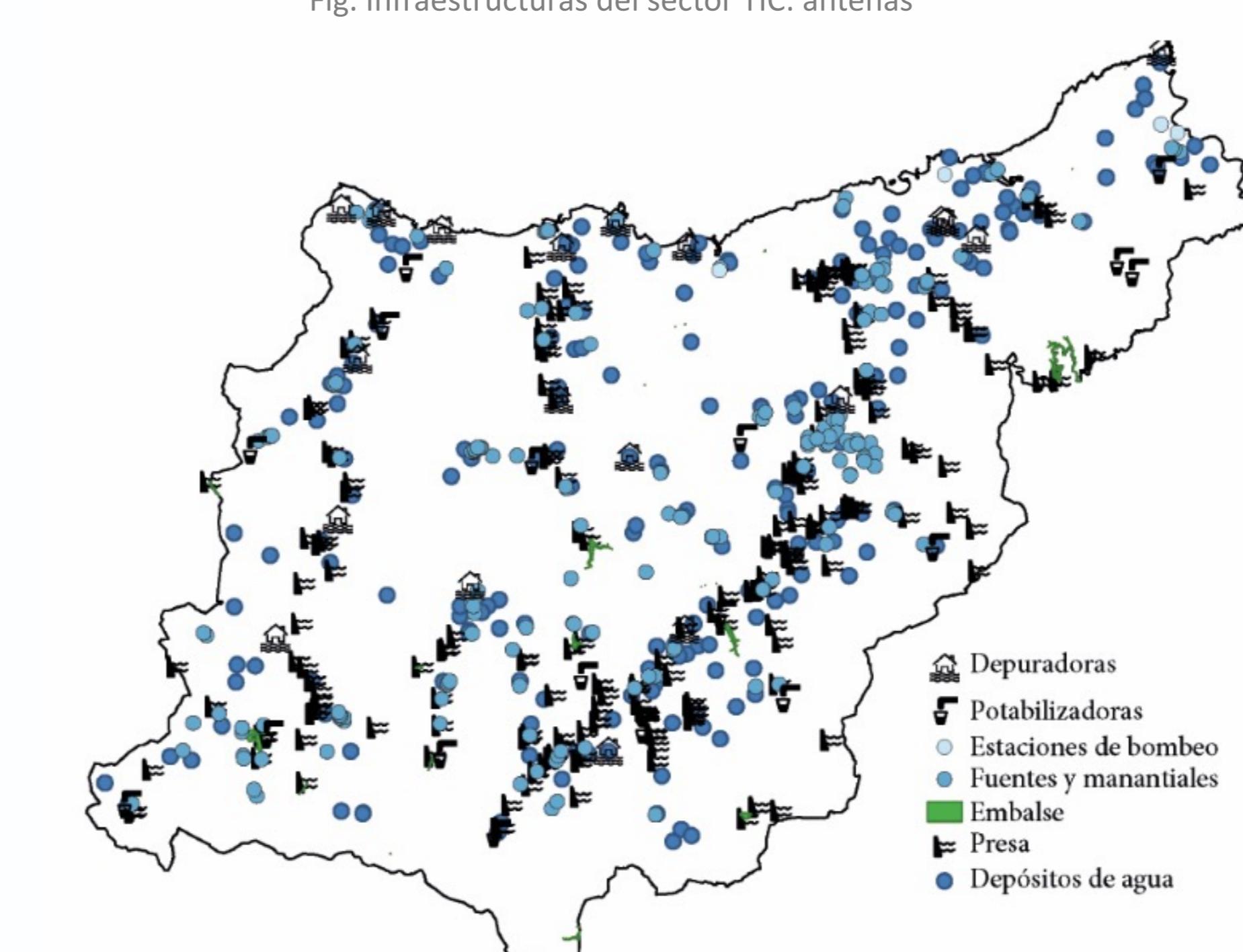


Fig. Infraestructuras del sector agua

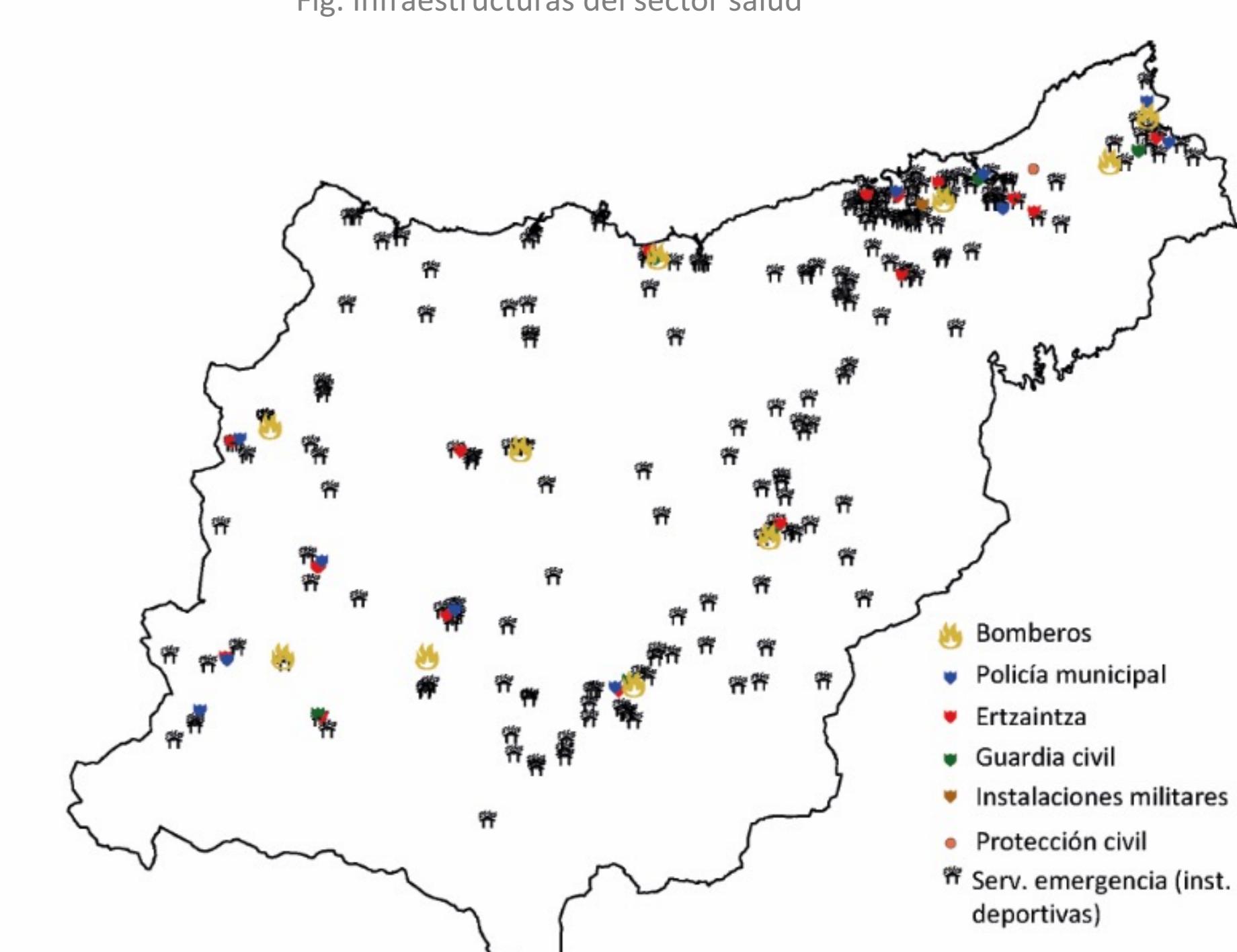


Fig. Infraestructuras del sector administración

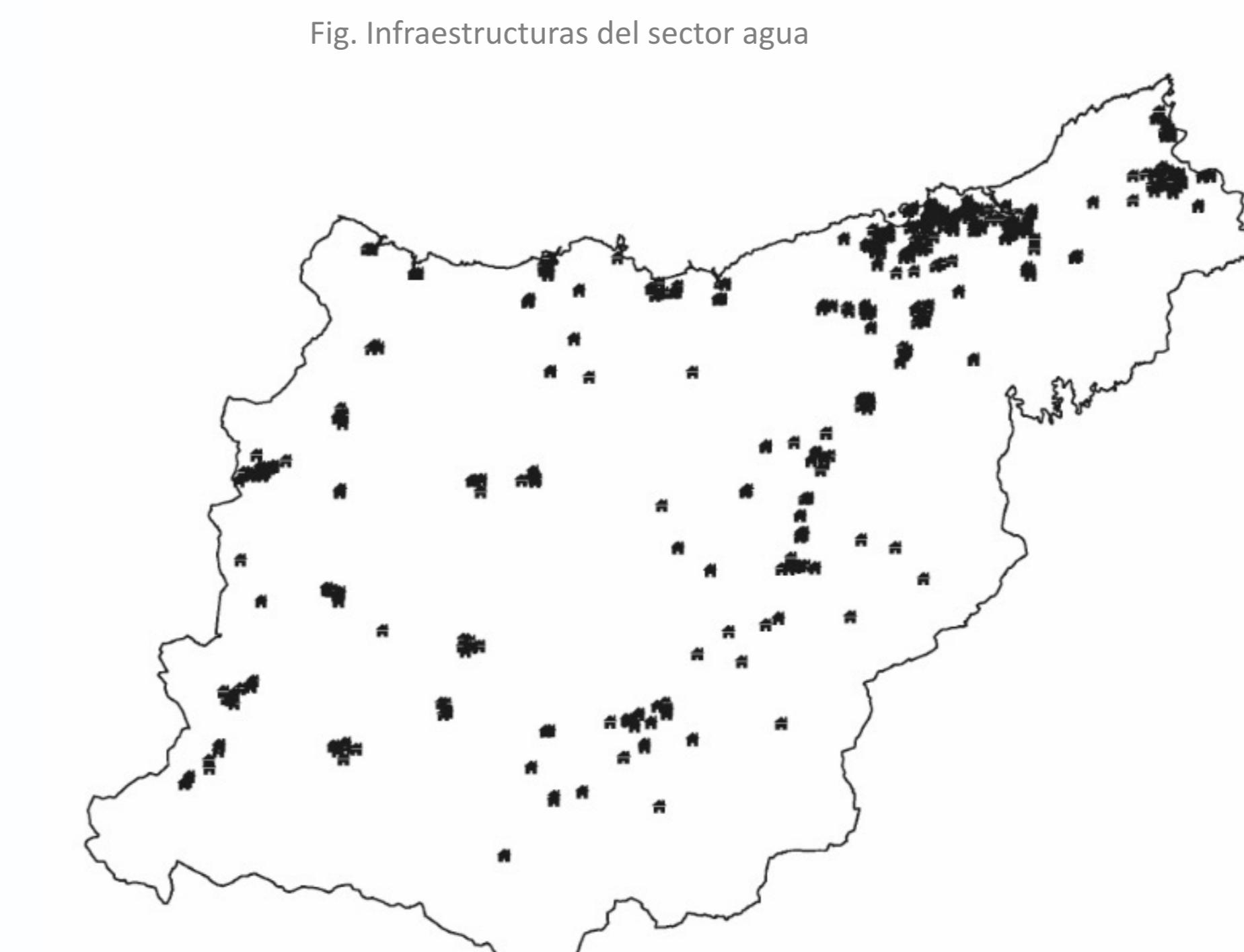


Fig. Infraestructuras del sector social: escuelas

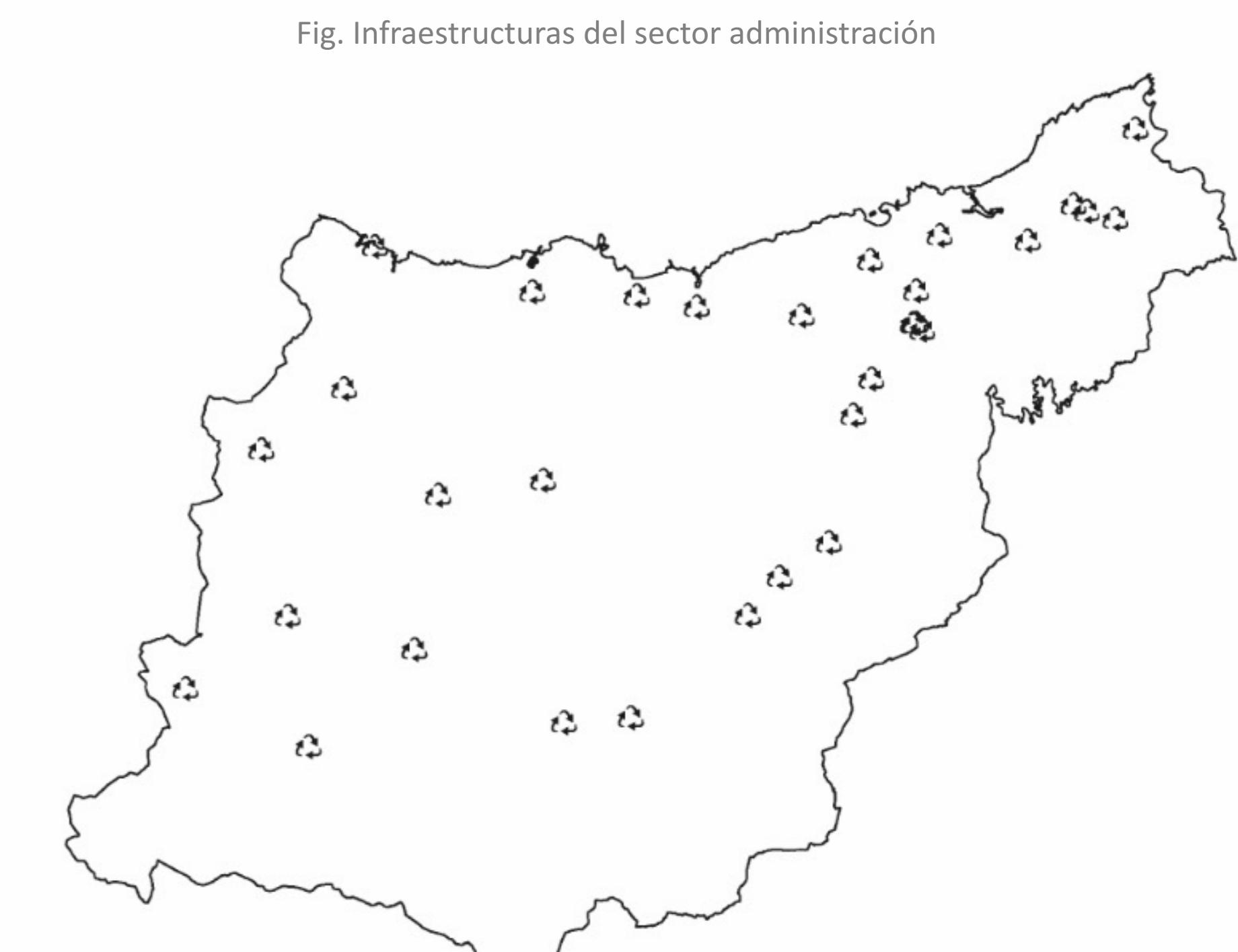
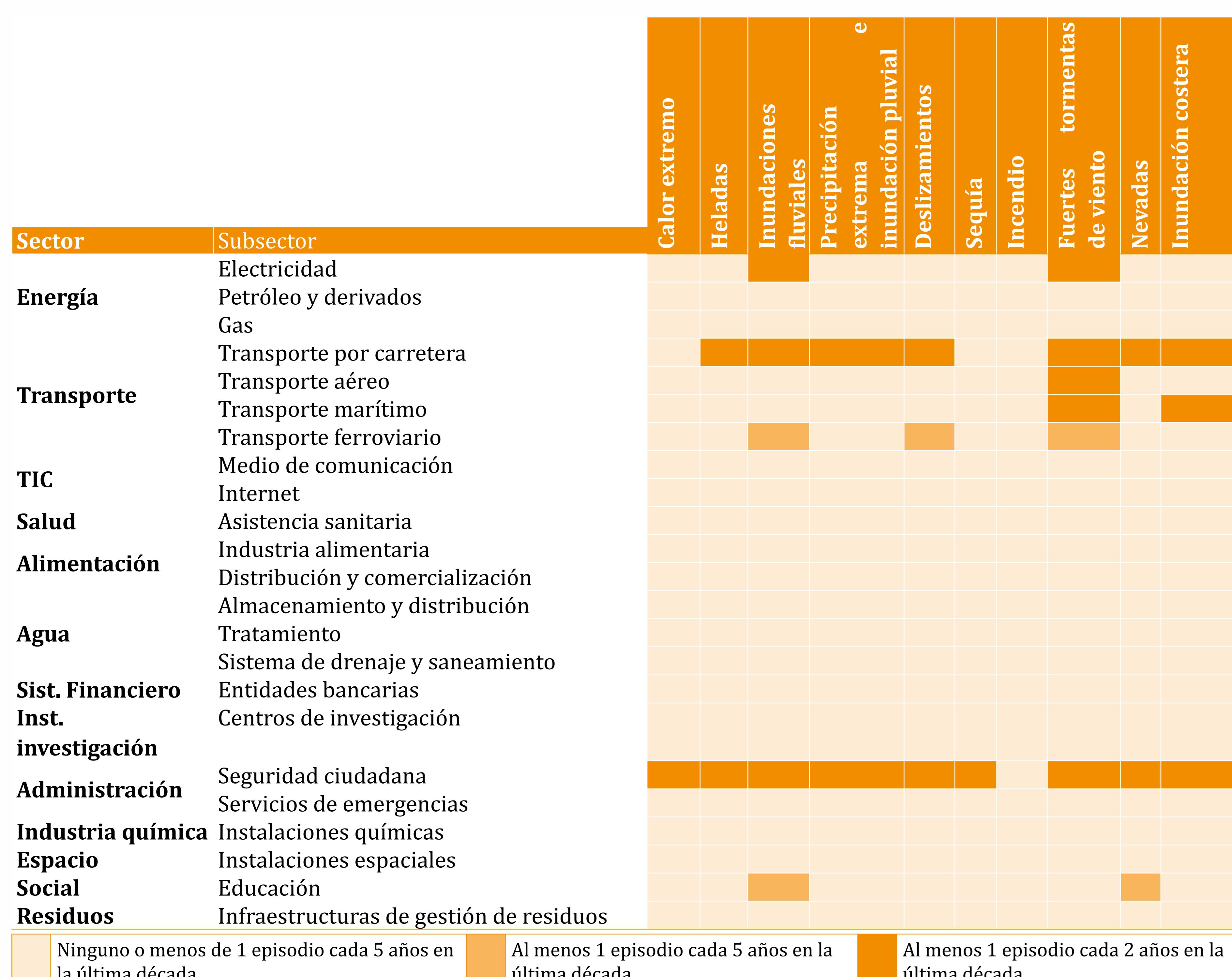


Fig. Infraestructuras del sector residuos

IMPACTOS HISTÓRICOS OBSERVADOS

La recopilación de impactos generados por amenazas climáticas pasadas permite conocer el nivel de exposición de las IC a distintos peligros y ayuda a entender los factores que determinan los daños sobre estas. Por tanto, se ha realizado un análisis histórico de las pérdidas económicas producidas por distintos acontecimientos extraordinarios, que permite conocer las principales amenazas generadoras de daños, la severidad de estos fenómenos físicos y sirven también de indicador de los daños causados.

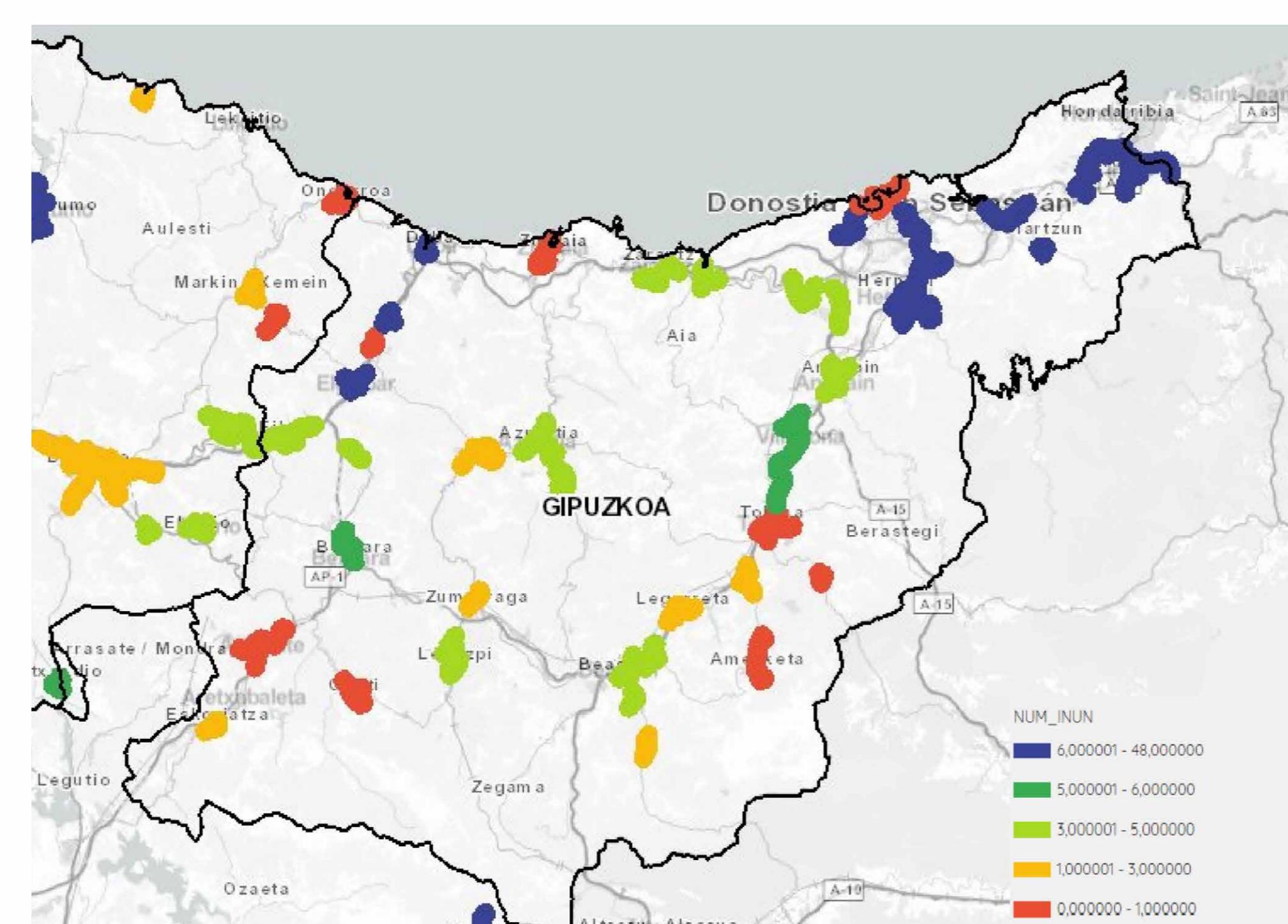
Los datos necesarios para este análisis histórico se han recogido de diferentes fuentes como el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas, AEMET, Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología del Gobierno Vasco (DAEM) y otros informes/trabajos técnicos y académicos.



Inundaciones

Las inundaciones han sido históricamente el principal riesgo natural del territorio, el que mayor número de vidas y costes económicos ha ocasionado.

El análisis de los episodios de lluvias persistentes y muy persistentes que han dado lugar a avisos de alerta naranja y roja para niveles de inundación de las estaciones de aforo del T.H. de Gipuzkoa por parte de la Agencia Vasca del Agua y la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología, indica que estos avisos se han producido en eventos extremos en los que los acumulados de precipitación en dos-tres días superan los 80 l m⁻² o tras períodos de precipitaciones persistentes y encadenadas en los que durante 5-10 días se acumulan cantidades importantes, por encima de los 150-200 l m⁻².

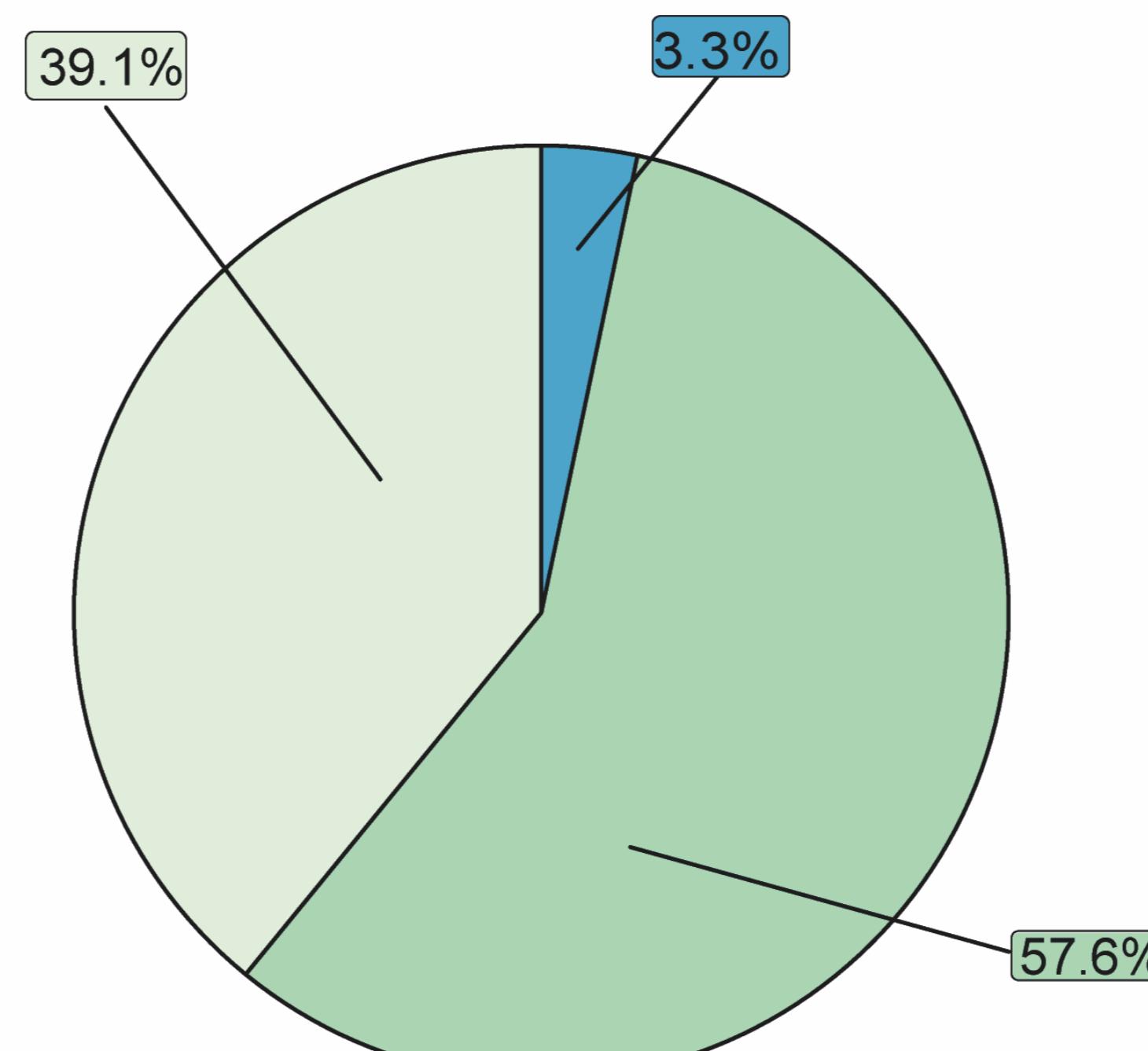


Número de inundaciones registradas en cada una de las ARPSIs. Fuente: Geoeuskadi

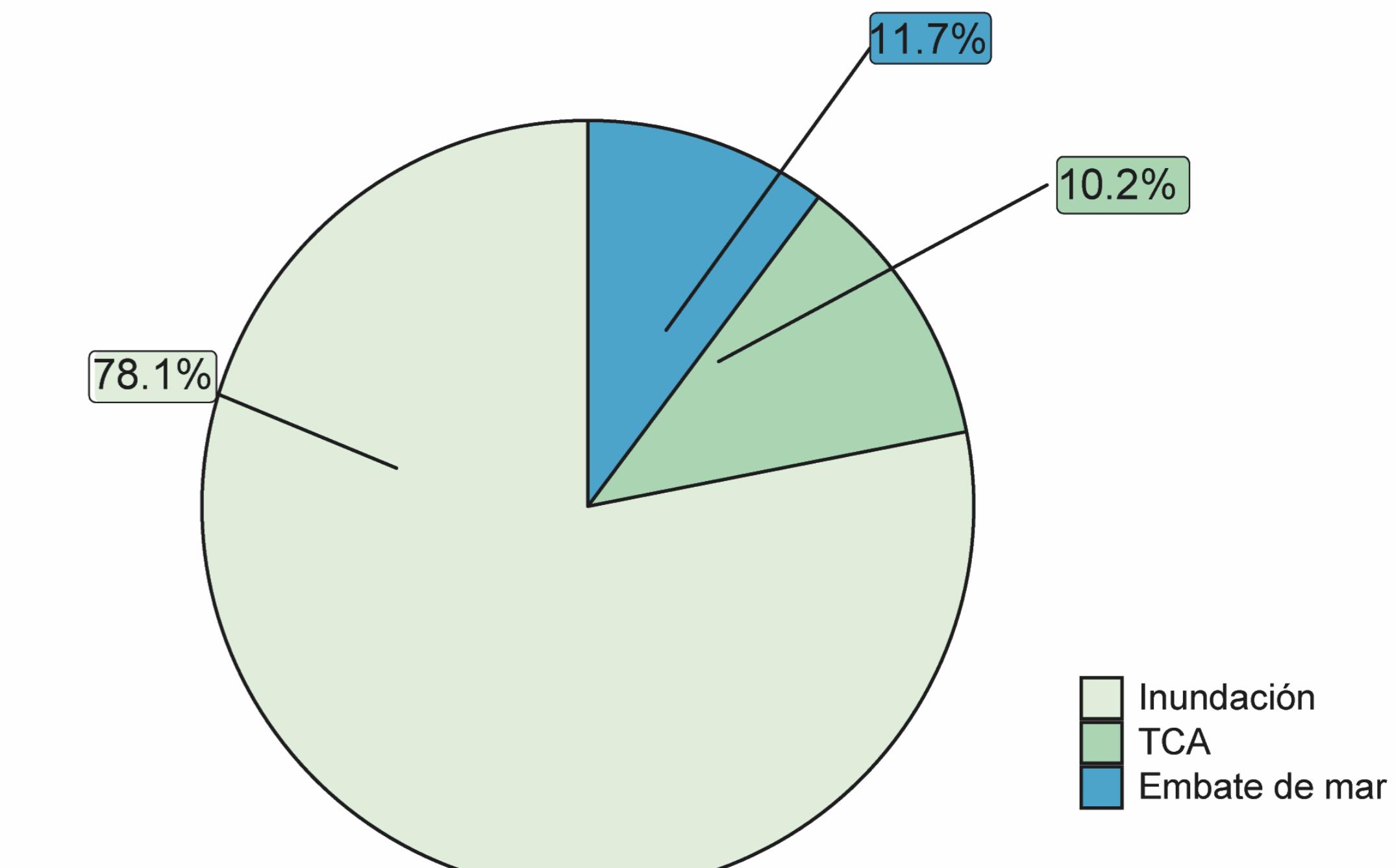
	Nº expedientes	Indemnización (€)	%	Coste medio (€)
Daños personales	1	2.131	0,0	2.131
Viviendas	2.429	10.169.014	18,9	4.187
Oficinas	39	762.331	1,4	19.947
Comercios	627	18.674.280	34,7	29.784
Industriales	333	21.536.959	40,1	64.676
Vehículos	698	2.257.847	4,2	3.235
Obras civiles	3	377.133	0,7	125.711
Total	4.130	53.779.695	100	13.022

Datos relativos al evento de noviembre de 2011. Importes en € actualizados a 31-12-2020. Fuente: CCS.

Nº expedientes



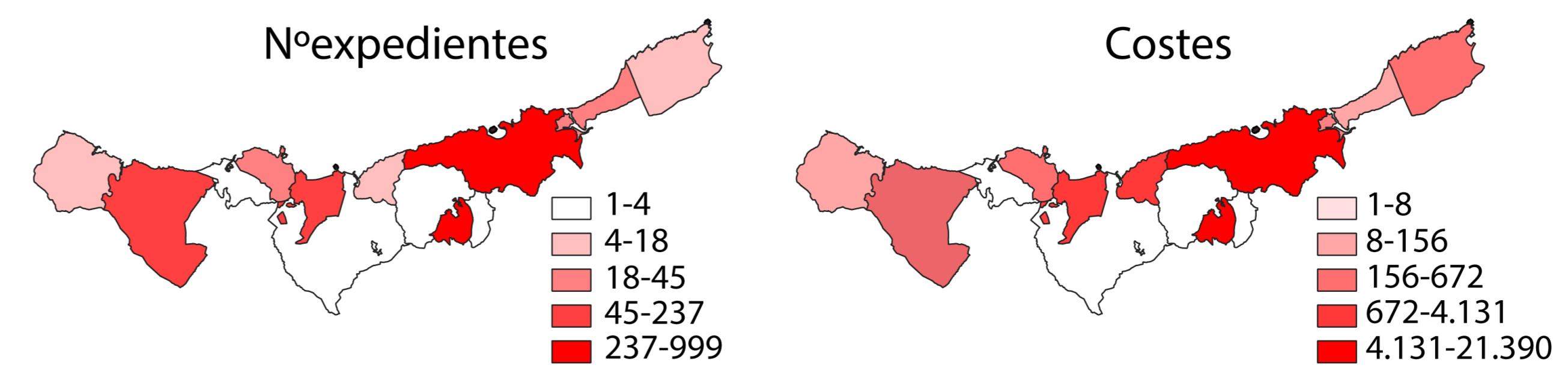
Coste total



Porcentaje (izq.) de número de expedientes y (dcha.) de coste total para distintos riesgos extraordinarios para el periodo 1994-2020. Fuente: CCS (2022)

Embates de mar

Los embates de mar son los fenómenos meteorológicos que más daños causan por evento en el territorio. Durante el periodo analizado, el coste total de los daños producidos por estos eventos es de más de 31 millones de euros en los 13 municipios afectados. El 94 % de los daños se concentra en tres municipios costeros (Donostia, Orio y Zarautz) y el 80% en dos años concretos, 2008 y 2014, en los que se registran el 41 % y 40% de los daños.



Distribución del (izq.) número de expedientes y (drcha.) costes (k€) para los municipios afectados por embate de mar para el periodo 1996-2018. Fuente: Gaztelumendi (2020)

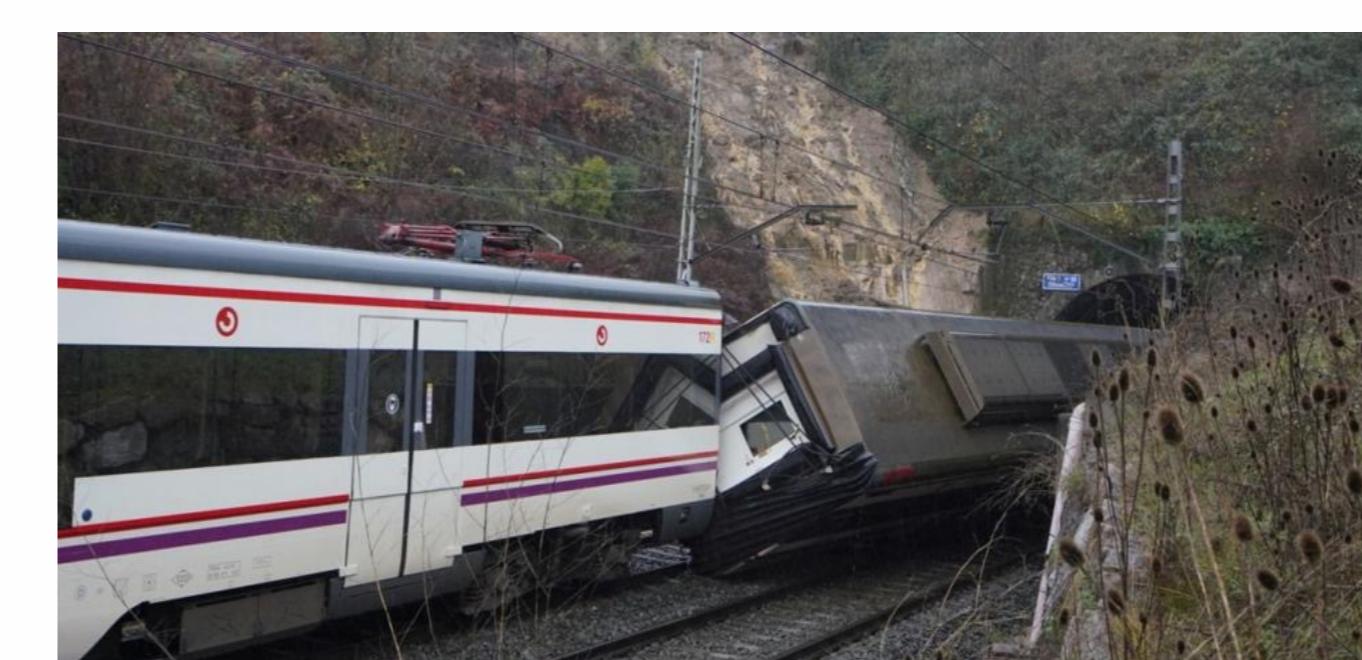
Tempestad Ciclónica Atípica (TCA)

Las tempestades ciclónicas atípicas son los eventos extraordinarios que mayor número de expedientes ha generado (57,6 %) en el periodo 1994-2020 (73,1 % desde 2006 cuando comienzan a registrarse estos episodios extraordinarios). Sin embargo, en cuanto a los costes asociados, solo representan el 10,2 % de las indemnizaciones desde 1994.

Estación	Racha máxima (km/h)
Jaizkibel	157,7
Zarautz	150,5
Puerto Pasaia	134,3
Ordizia	127,0
Zegama	118,9
Bidania	115,2

Rachas máximas de viento registradas al paso de la tormenta Klaus. Fuente de datos: Euskalmet

Deslizamientos y desprendimientos



Deslizamiento y afectación consiguiente de la línea de RENFE acontecida el a la altura de Gabiria el 8/12/2021 . Fuente: DV (2021)

Los deslizamientos y desprendimientos provocan numerosos daños en el territorio, principalmente sobre las IC lineales, como vías de comunicación (56% de los casos) y, en menor medida, sobre los núcleos de población. A pesar de la relevancia de estos eventos en Gipuzkoa, a diferencia de las crecidas fluviales o los embates de mar, apenas existen registros que hagan referencia a estas amenazas y sus consecuencias, centrándose la mayoría de ellos en incidencias sobre la explotación de infraestructuras viarias.

La recopilación bibliográfica de eventos pasados refleja que el principal factor desencadenante de los deslizamientos producidos en Gipuzkoa es la precipitación (77 % de los casos).

Para determinar el riesgo de las IC, se evalúan las amenazas (y combinaciones de amenazas), sensibilidades y exposiciones aplicables a las IC a través de la construcción de "cadenas de impacto". Las cadenas de impacto representan las relaciones causa-efecto de los cambios en las variables climáticas y fenómenos meteorológicos extremos con sus efectos potenciales, directos e indirectos, sobre las distintas IC

La selección de las distintas cadenas de impacto sobre las que se analiza la vulnerabilidad y riesgo se ha realizado en función de la revisión de los impactos históricos observados sobre las IC, que permite conocer las principales amenazas e impactos climáticos sobre las distintas IC, la confianza y grado de conocimiento del contexto climático actual y futuro de los distintos conductores del impacto climático en nuestra región y las interdependencias identificadas entre los distintos sectores de IC.

Análisis de los impactos históricos observados

El análisis de los impactos históricos observados permite no solo priorizar las amenazas climáticas más relevantes para el territorio de Gipuzkoa, sino también comprender la naturaleza de los impactos derivados. En base a esta revisión, la relevancia de los impactos se ha determinado en función del número de eventos registrados en la última década.

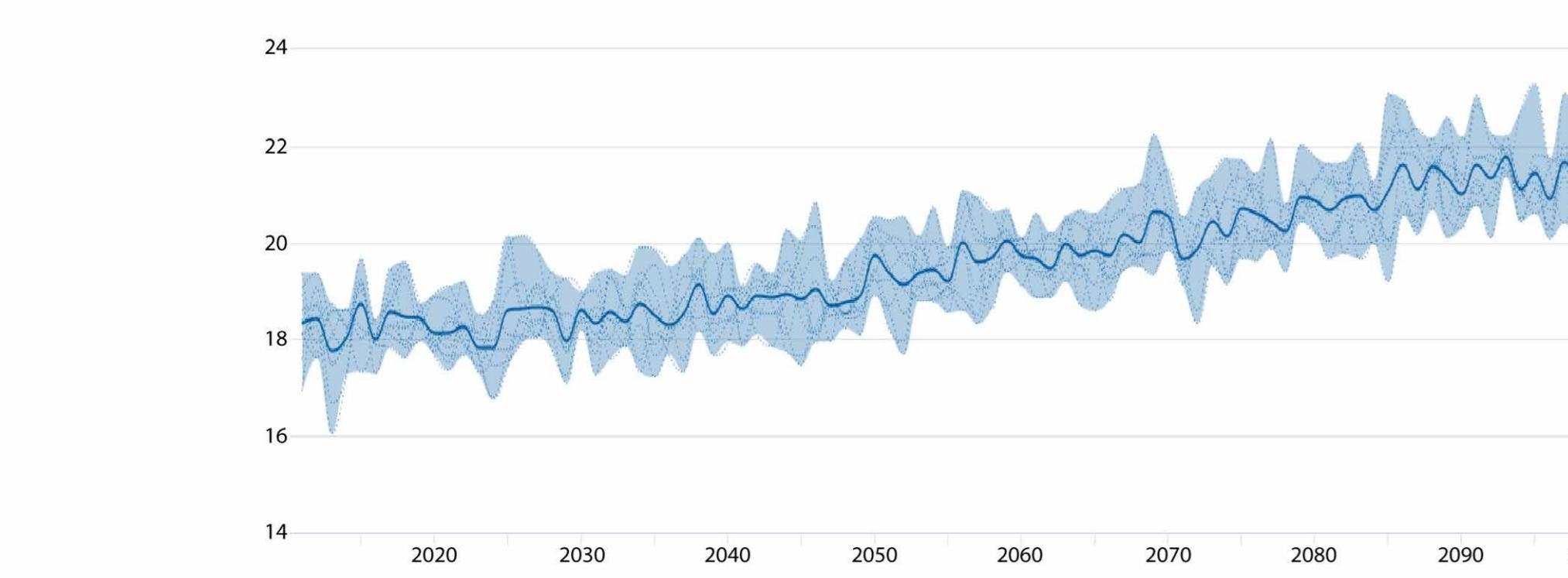
El sector que presenta un mayor número de impactos es el transporte. El **subsector transporte por carretera es el que presenta un mayor número de impactos**, ligados a las heladas y nevadas, inundaciones fluviales e inundación costera, precipitación extrema e inundaciones pluviales, deslizamientos y fuertes vientos. El transporte marítimo se ve afectado por temporales costeros que vienen acompañados de fuertes vientos y oleaje, el transporte aéreo por fuertes vientos y el transporte ferroviario, con menor frecuencia, por inundaciones fluviales, deslizamientos o vientos intensos.

Los temporales de viento han afectado al **sistema eléctrico** de forma periódica, provocando cortes. Del mismo modo, las inundaciones han afectado a transformadores eléctricos, ocasionando incidencias sobre el suministro eléctrico.

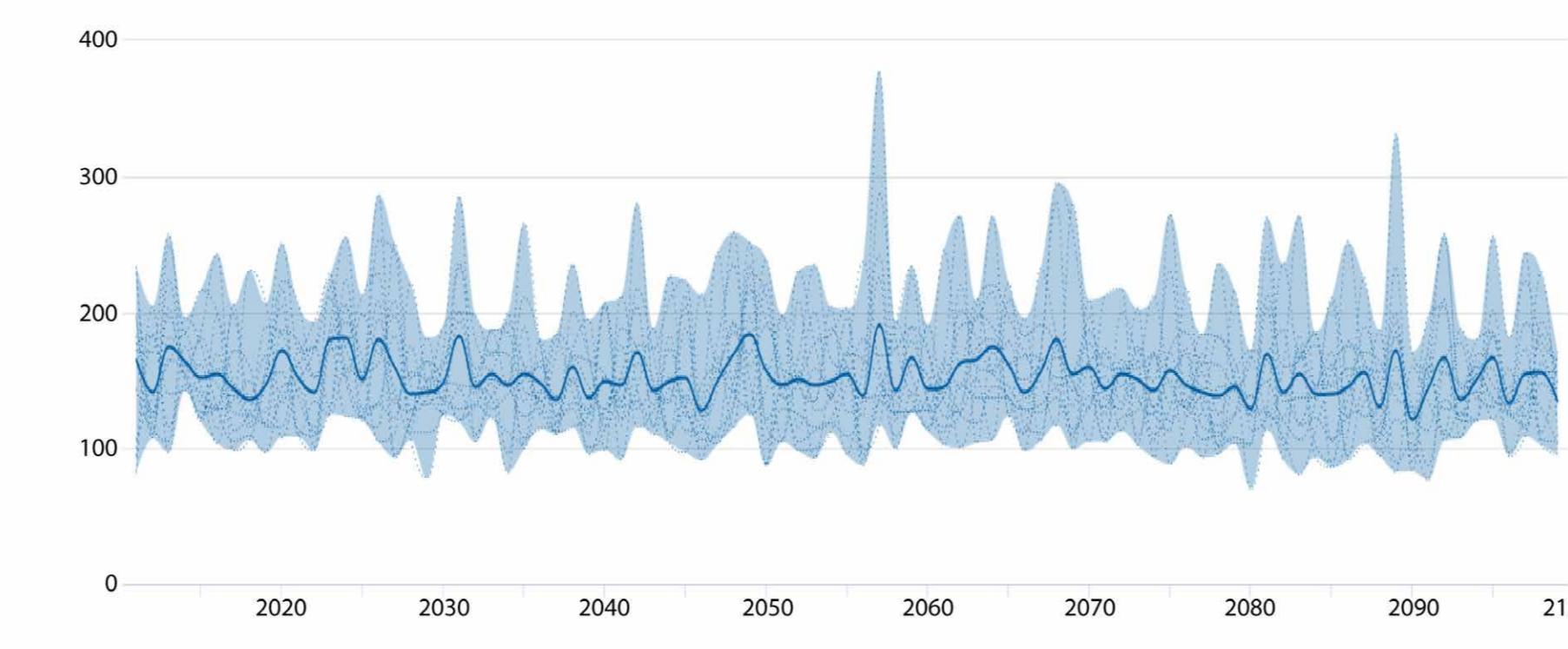
Peligros climáticos en escenarios de cambio climático

El proceso de análisis del riesgo debe comenzar por un conocimiento detallado de las condiciones climáticas actuales y de las posibles tendencias climáticas futuras que podrán suponer una amenaza para las IC objeto de estudio en los escenarios de cambio climático.

Los **escenarios estiman un incremento del calor extremo e inundación costera** (como consecuencia del aumento del nivel del mar) para Gipuzkoa con un grado de confianza alta. Las proyecciones de temperatura media anual muestran incrementos, en el escenario RCP8.5, de $1.9 \pm 0.5^\circ\text{C}$ en el periodo 2041-2070 y de $3.3 \pm 0.5^\circ\text{C}$ para el periodo 2070-2100. Relacionado con este incremento de la temperatura, los modelos proyectan una disminución en el número de días de helada que se intensifica a medida que avanza el siglo.



Temperatura máxima (°C) para el T.H. de Gipuzkoa (RCP8.5). Fuente: Escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco.



Máximo de la precipitación acumulada en 5 días (mm) para el T.H. de Gipuzkoa (RCP8.5). Fuente: Escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco.

En lo que respecta a las variables relacionadas con la precipitación, no son esperables cambios significativos en la precipitación máxima diaria, ni tampoco en el número de días de precipitación intensa, el número de días húmedos consecutivos o el máximo de precipitación acumulada en 5 días. En el caso de la precipitación horaria máxima anual, las proyecciones indican una intensificación muy notable en el escenario RCP8.5, principalmente en el último periodo de cálculo (2071-2100). Asociado a esto, **se espera que aumente la frecuencia de peligros derivados de la precipitación, como inundación fluvial, precipitación extrema e inundación pluvial y deslizamientos**. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la proyección de estos indicadores está sujeta a una alta incertidumbre.

Para los peligros restantes (condiciones meteorológicas que favorecen incendios, fuertes tormentas de viento, nevadas) existe una baja confianza en la dirección de cambio.

Tipo	Conductores del impacto climático	
Calor y frío	Calor extremo	
	Heladas	
Húmedo y seco	Inundación fluvial	
	Precipitación extrema e inundación pluvial	
	Deslizamientos	
	Sequía meteorológica	
	Incendios meteorológicos	
Viento	Fuerte tormenta de viento	
Hielo y nieve	Nevadas	
Costero	Inundación costera	

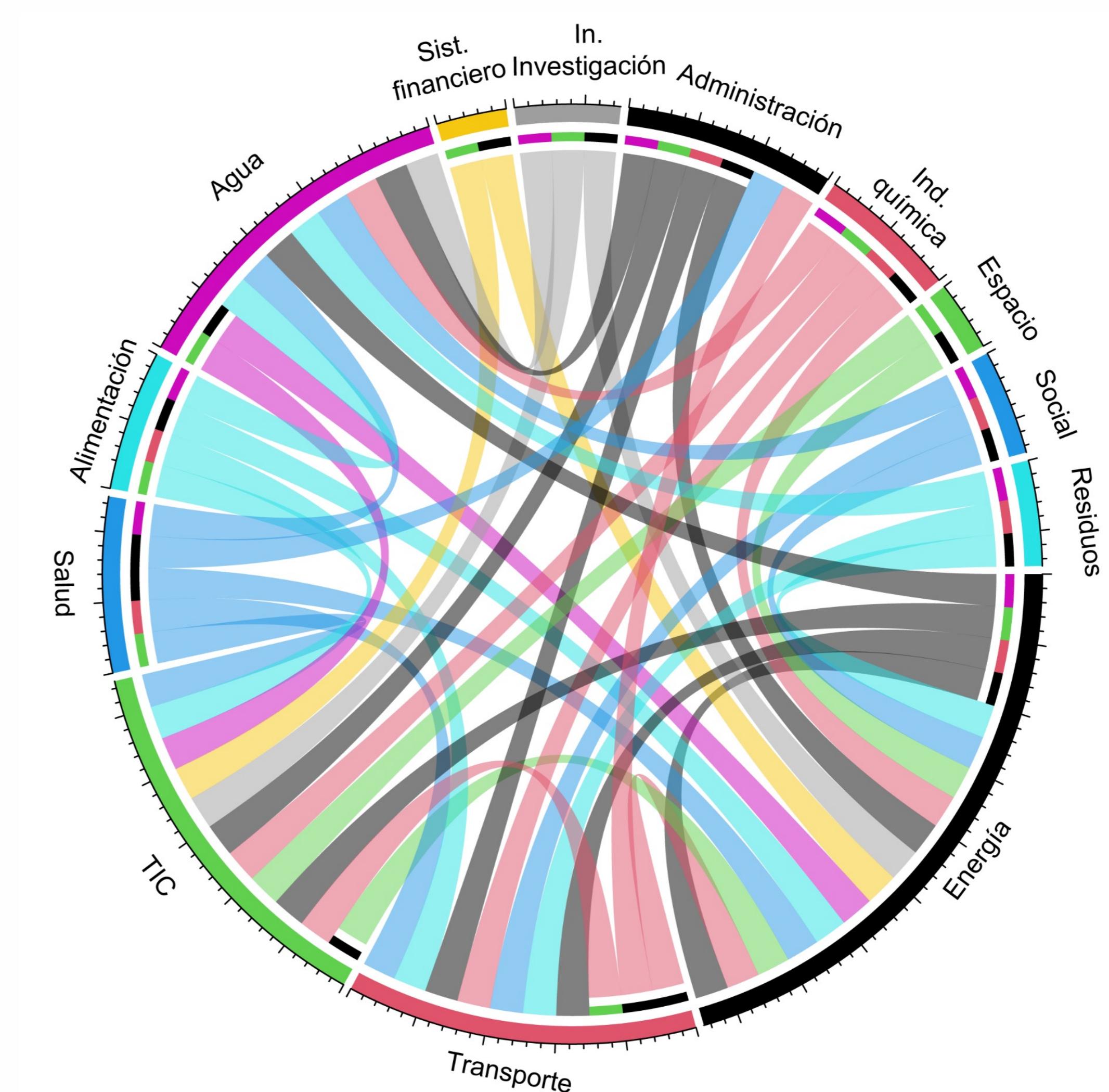
- Confianza alta de descenso
- Confianza media de descenso
- Baja confianza en la dirección de cambio
- Confianza baja de incremento
- Confianza media de incremento
- Confianza alta de incremento

Interdependencia entre las IC

Los impactos de las distintas amenazas climáticas sobre una determinada IC se propagan en cascada también a través de los distintos sectores debido a las estrechas interrelaciones e interdependencias que existen entre ellos.

El **sector energético** es esencial para la operatividad del resto de IC, es el único sector que inicia más interrelaciones e impactos en cascadas que cualquier otro sector (Luijff et al., 2009). También las Tecnologías de la Información y Comunicaciones generan un gran número de interdependencias, seguido del **sector transporte**.

En este contexto de cambio climático, la **electrificación de la economía** será fundamental para lograr los objetivos de neutralidad de carbono marcados, de ahí que la electricidad vaya a ser cada vez más relevante para el funcionamiento de la sociedad.



La evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de las IC ante el cambio climático se ha llevado a cabo considerando las siguientes cadenas de impacto:

1. Inundaciones fluviales sobre la red viaria
2. Deslizamientos sobre la red viaria
3. Inundaciones sobre la subestaciones eléctricas
4. Temperaturas máximas sobre los tendidos eléctricos

INUNDACIONES PLUVIALES SOBRE LA RED VIARIA

El riesgo se encuentra en el centro del planteamiento empleado y es entendido como una combinación de la amenaza o peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. Para el análisis del riesgo se ha empleado una metodología híbrida que combina la aproximación cuantitativa (basada en modelos de impacto o curvas de daño) del potencial impacto consecuencia de la exposición y sensibilidad de la infraestructura analizada a un determinado impacto, y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

$$\text{Potencial impacto} * \text{Vulnerabilidad} = \text{Riesgo}$$

$$f(\text{pel., exp., sen.}) \quad f(\text{sen., cap.})$$

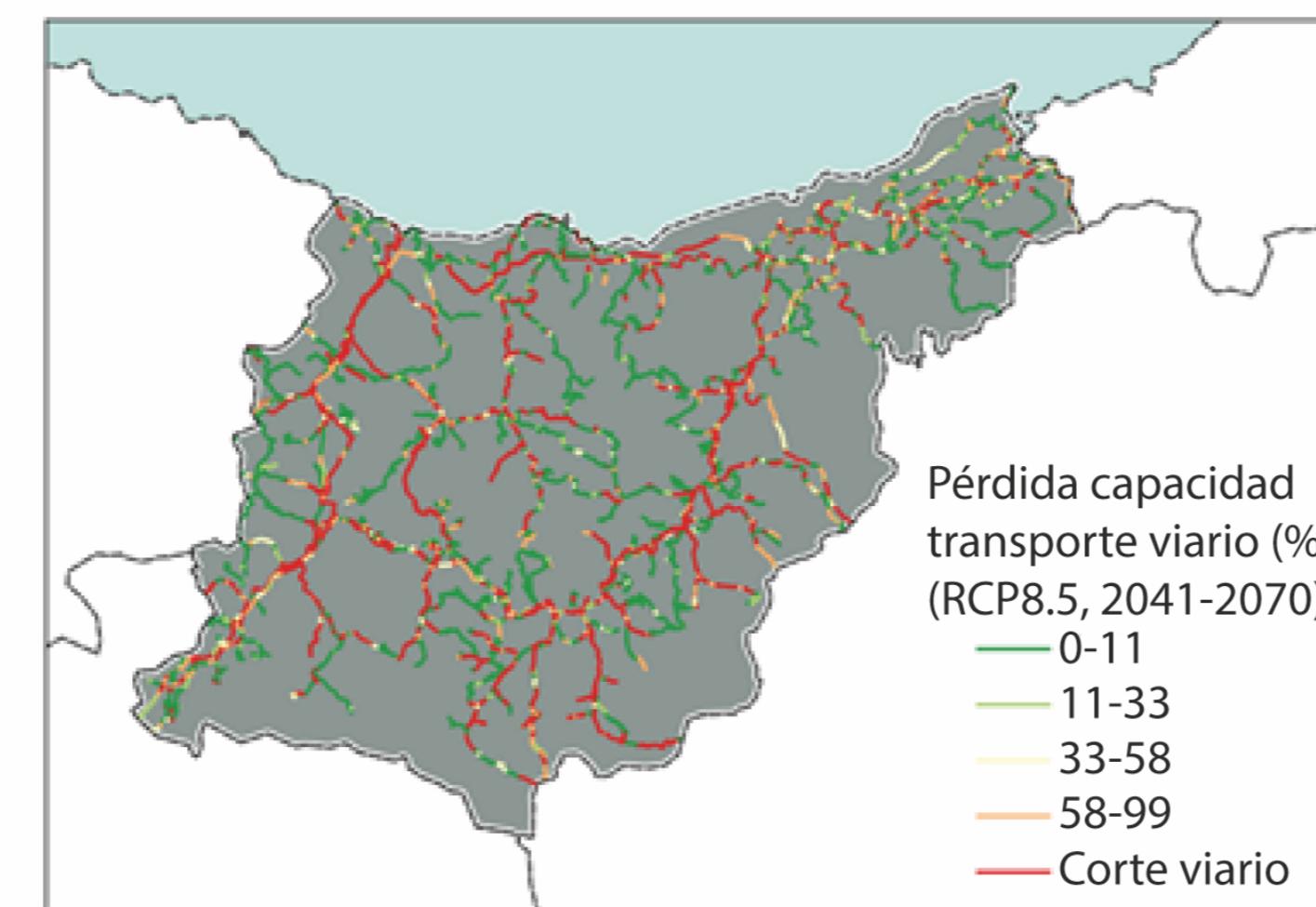
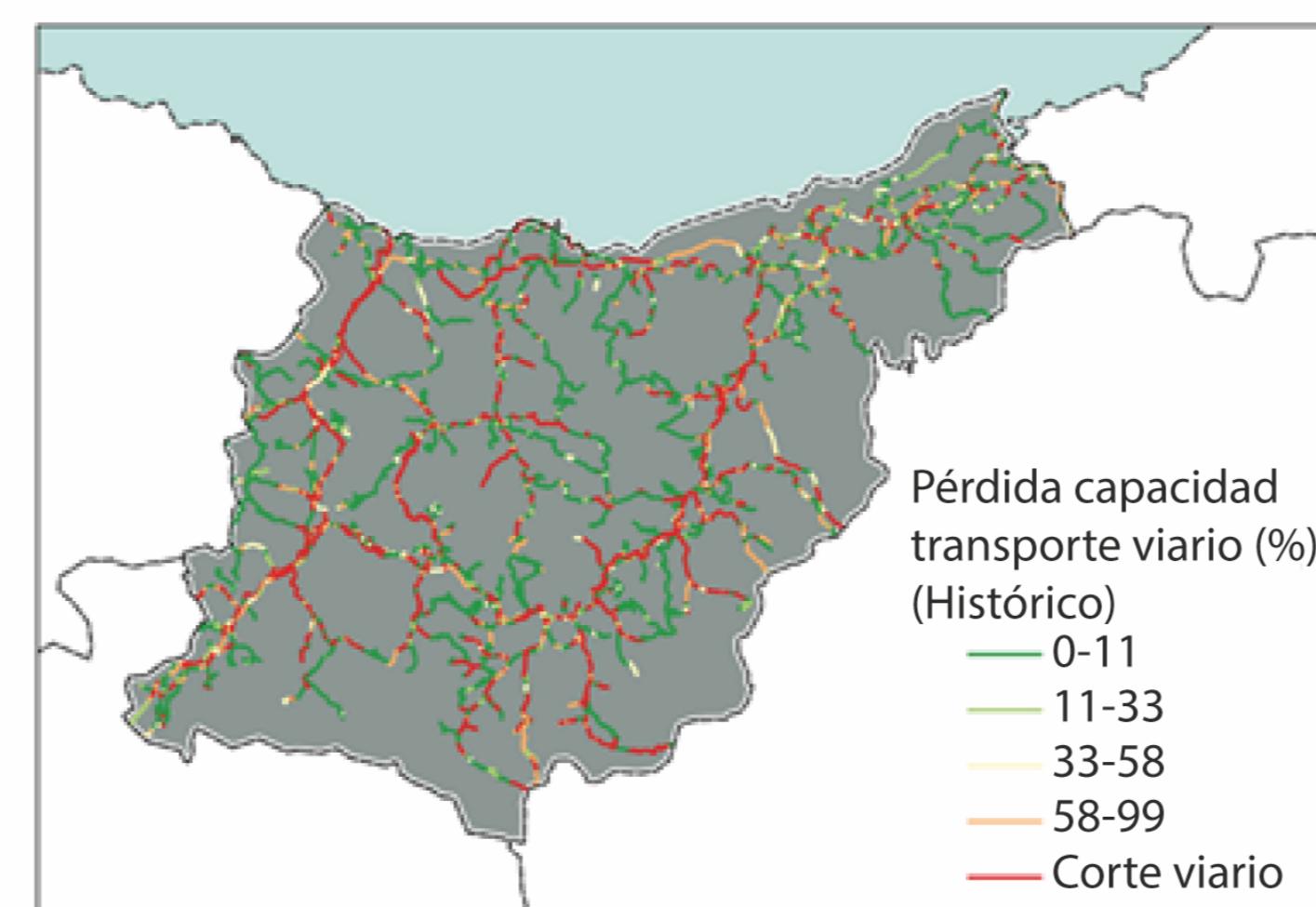
La **pérdida de la capacidad del transporte viario** se ha considerado como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición y sensibilidad de la red viaria a las inundaciones pluviales. El riesgo sobre la red viaria se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial en la pérdida de capacidad del transporte, y la vulnerabilidad de la propia infraestructura, caracterizada por unos indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de los tramos de la red viaria.

Potencial impacto: pérdida de la capacidad del transporte viario

La pérdida en la capacidad de transporte viario se representa como el cambio de la velocidad media de los vehículos que circulan por la red viaria bajo condiciones normales con respecto a la velocidad de los vehículos que circulan bajo un evento de inundación pluvial.

$$\text{Pérdida capacidad de transporte} = \frac{v_m - v_{inun}}{v_m}$$

$v_{inun} = 0,009 w^2 - 0,5529 w + 86,9448$ (Pregnolato et al., 2017)



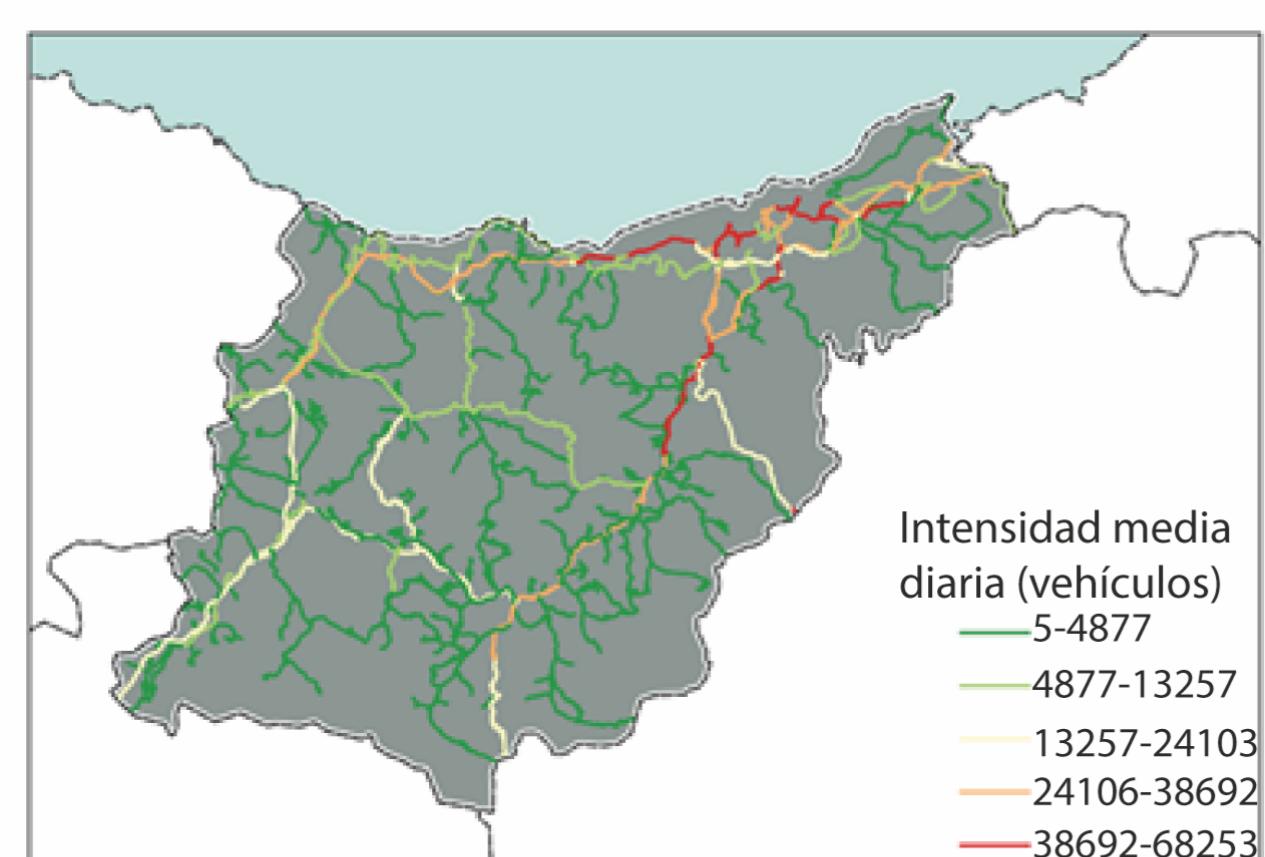
La velocidad bajo un evento de inundación se determina en función del calado de la lámina de agua del evento pluvial analizado. Se considera que por encima de un determinado calado de la lámina de agua (0,30 m sobre la vía) se producen cortes en la circulación.

Se han analizado dos escenarios de inundación pluvial, el histórico y el horizonte temporal 2041-2070 para el escenario RCP8.5.

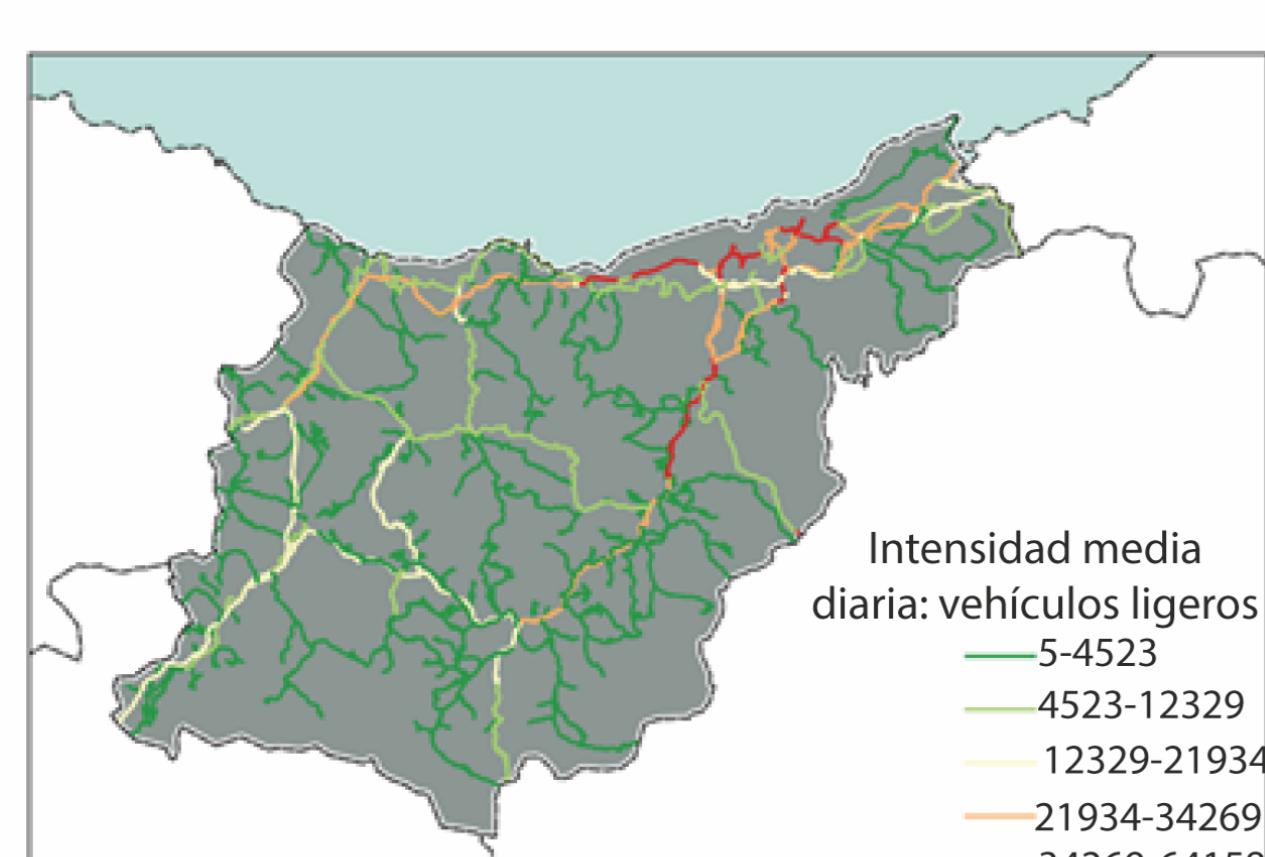
Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de la red viaria ante inundaciones pluviales

Indicadores de sensibilidad

Intensidad media diaria del tráfico: las carreteras con mayor intensidad media diaria de vehículos se considera que tiene mayor sensibilidad.

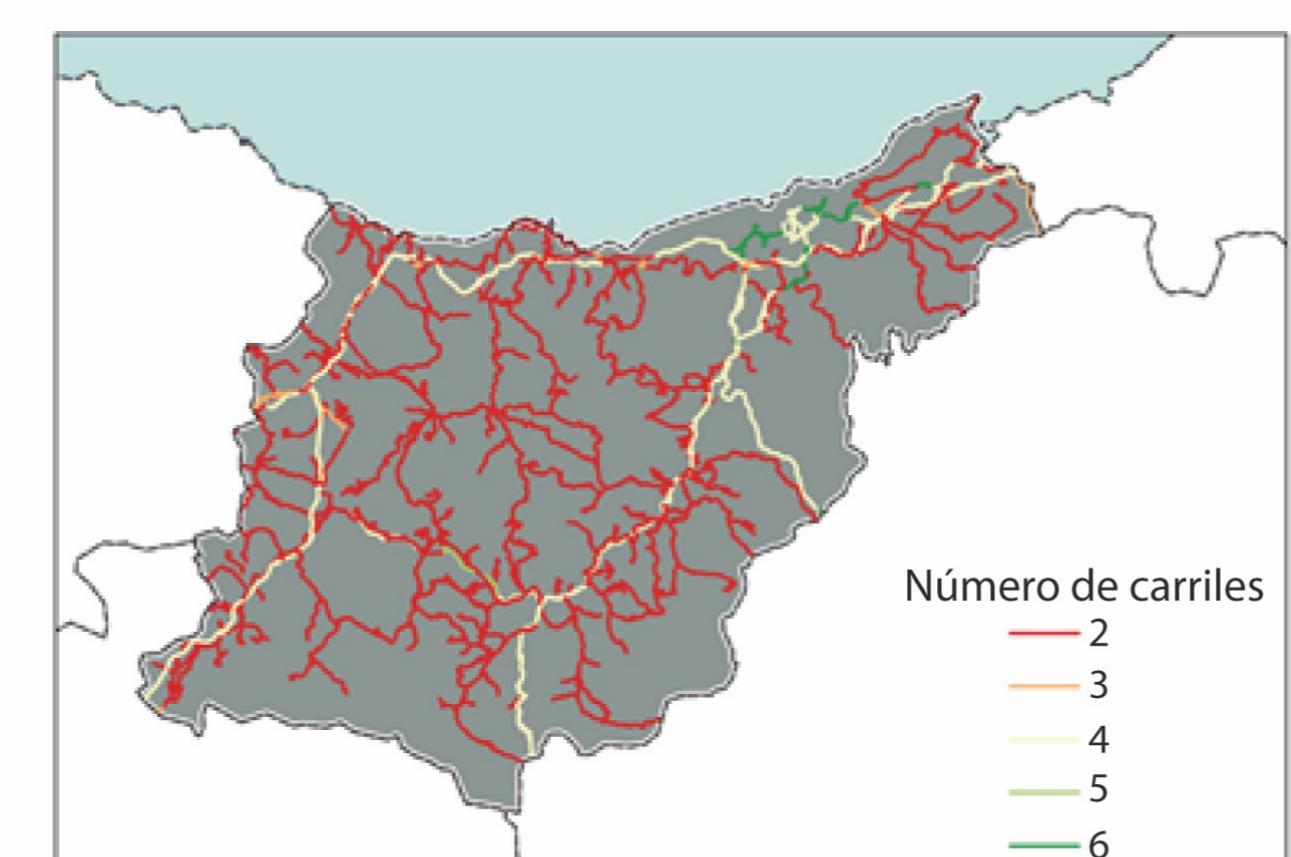


Intensidad de vehículos ligeros: las carreteras con mayor intensidad de tráfico de vehículos ligeros se consideran más sensibles.

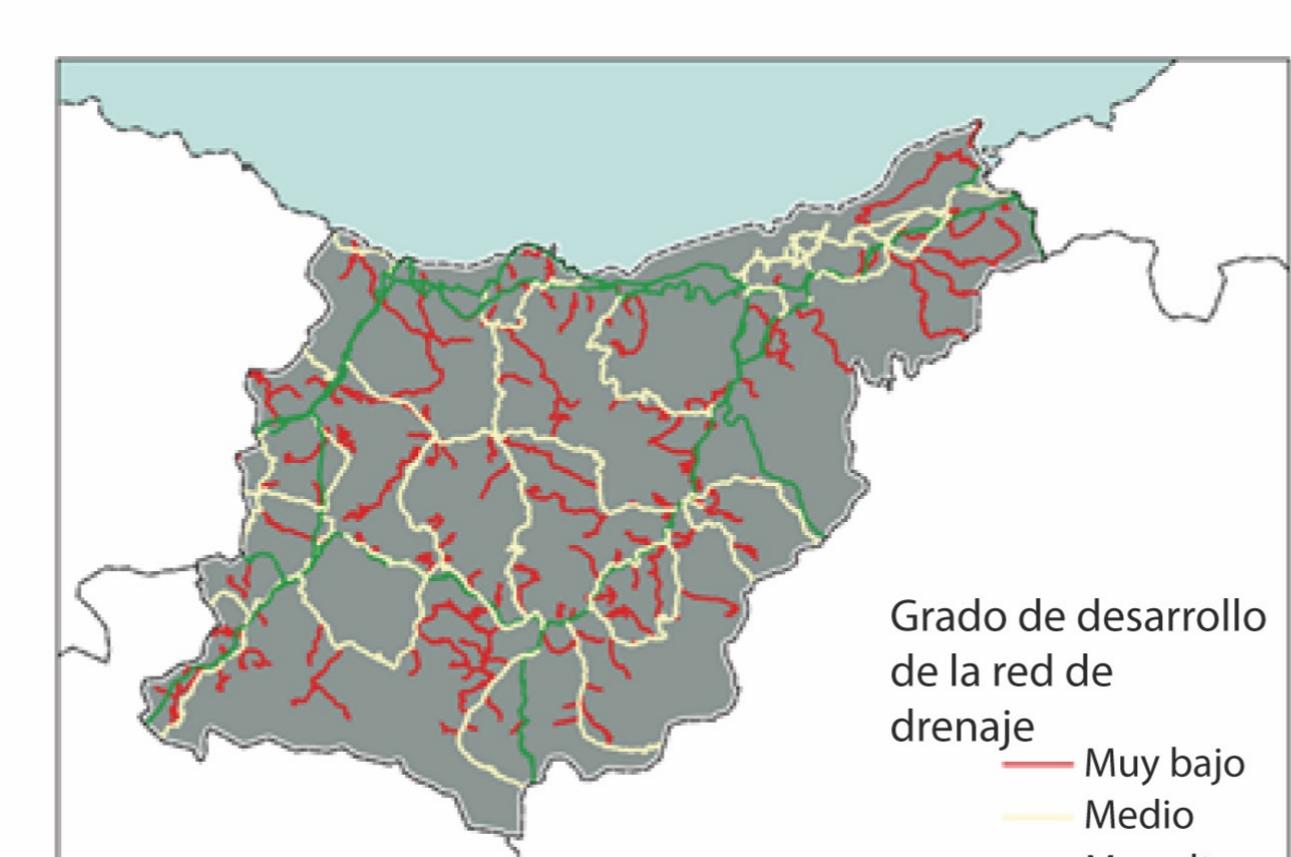


Indicadores de adaptación

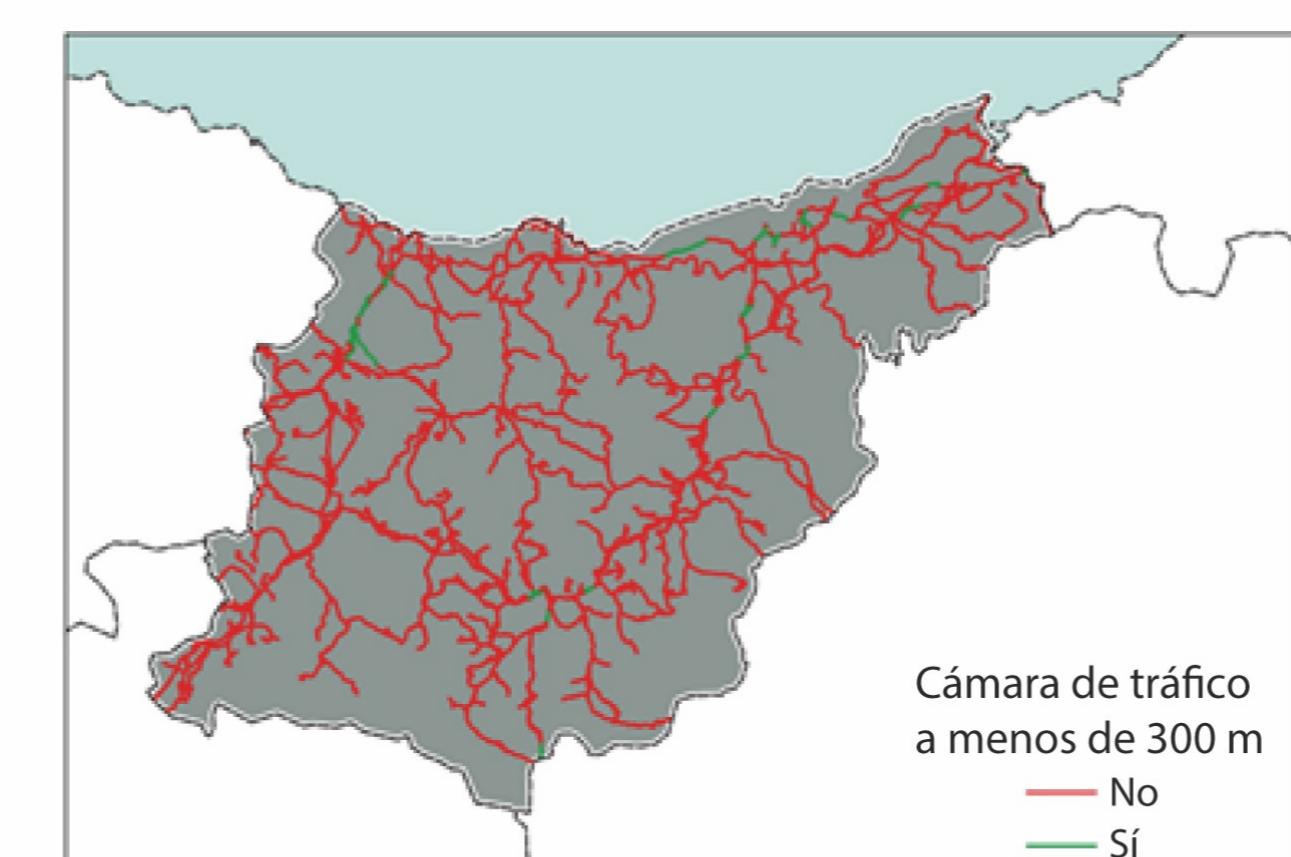
Número de carriles: mayor capacidad de adaptación para mayor número de carriles.



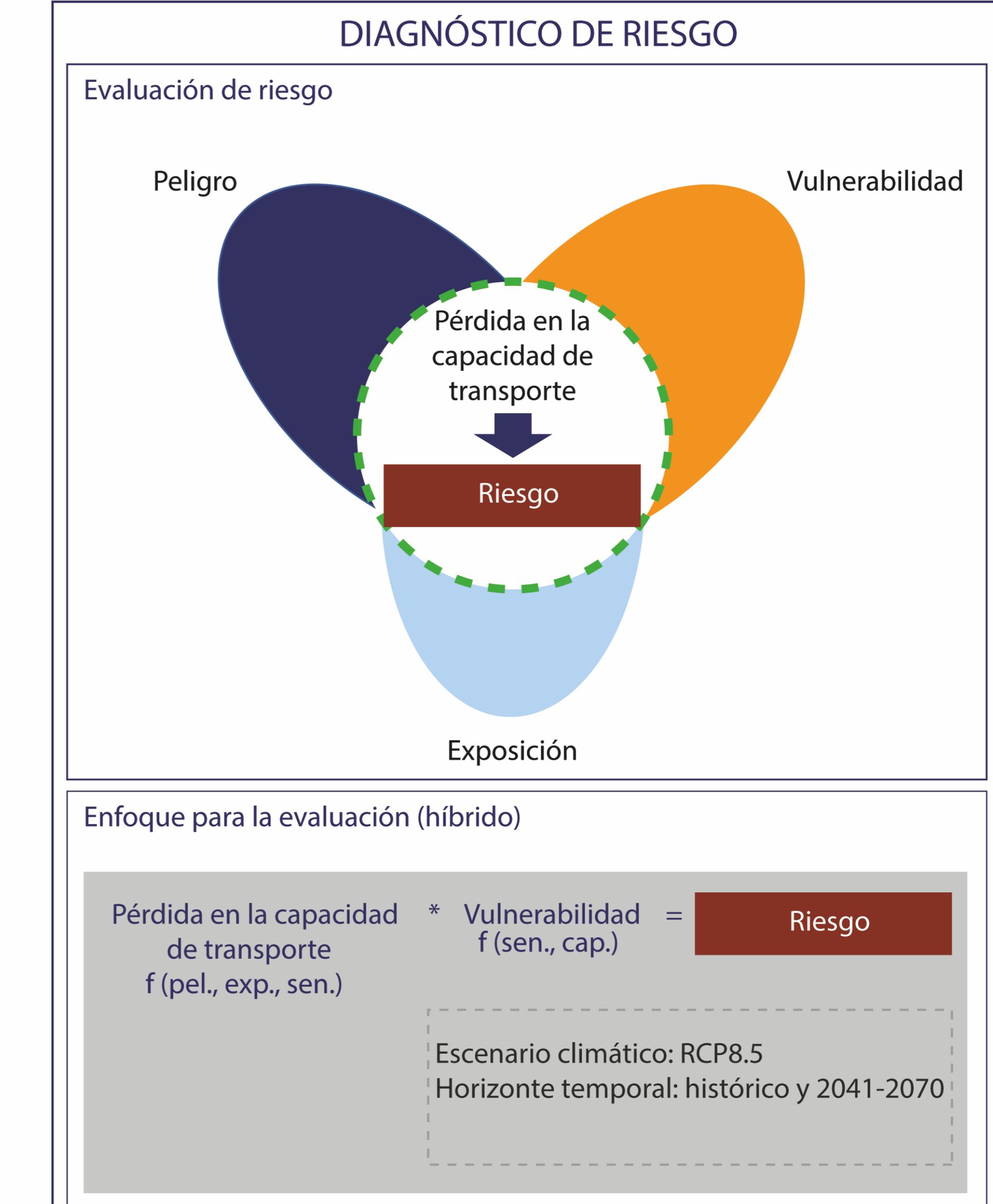
Grado de desarrollo del sistema de drenaje: mayor capacidad de adaptación para mayor desarrollo.



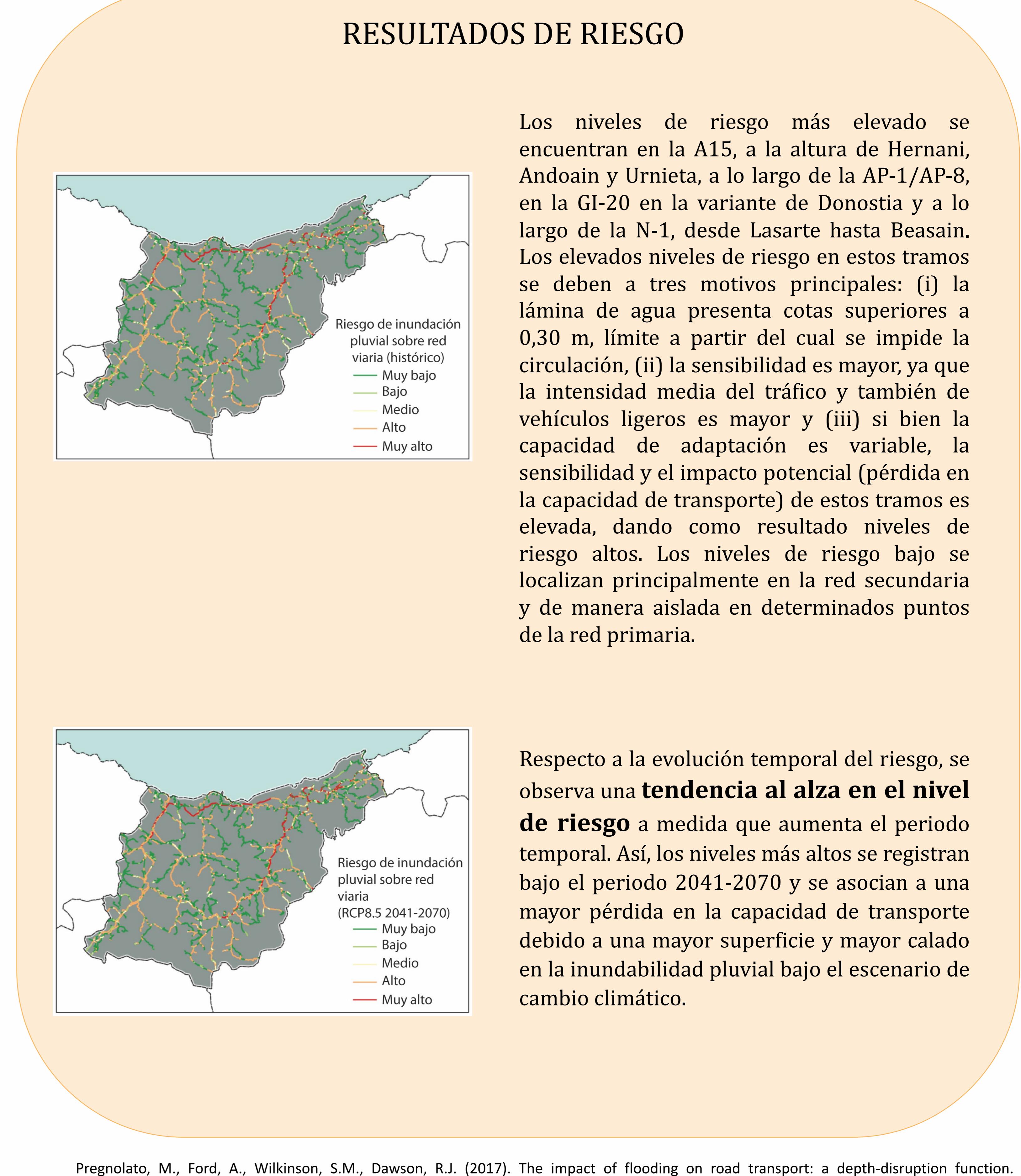
Cámaras de control de tráfico: mayor capacidad de adaptación si hay cámaras.



Superficie permeable de las zonas adyacentes a la red viaria: mayor capacidad de adaptación para la presencia de estas superficies.



RESULTADOS DE RIESGO



DESLIZAMIENTOS EN MASA SOBRE LA RED VIARIA

El riesgo se encuentra en el centro del planteamiento empleado y es entendido como una combinación de la amenaza o peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. Para el análisis del riesgo se ha empleado una metodología híbrida que combina la aproximación cuantitativa (basada en modelos de impacto o curvas de daño) del potencial impacto consecuencia de la exposición de la infraestructura analizada a un determinado impacto, y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

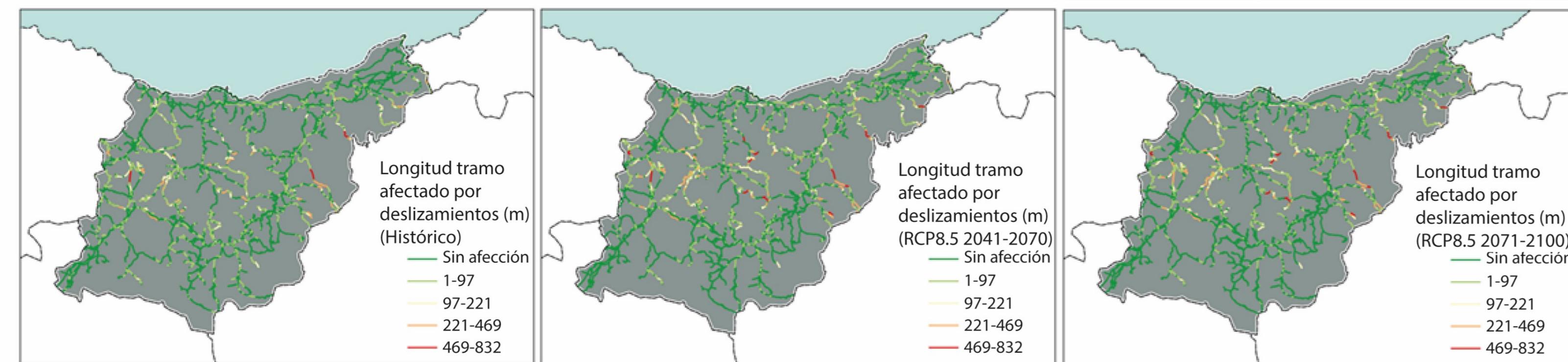
$$\text{Potencial impacto} * \text{Vulnerabilidad} = \text{Riesgo}$$

$$f(\text{pel., exp.}) \quad f(\text{sen., cap.})$$

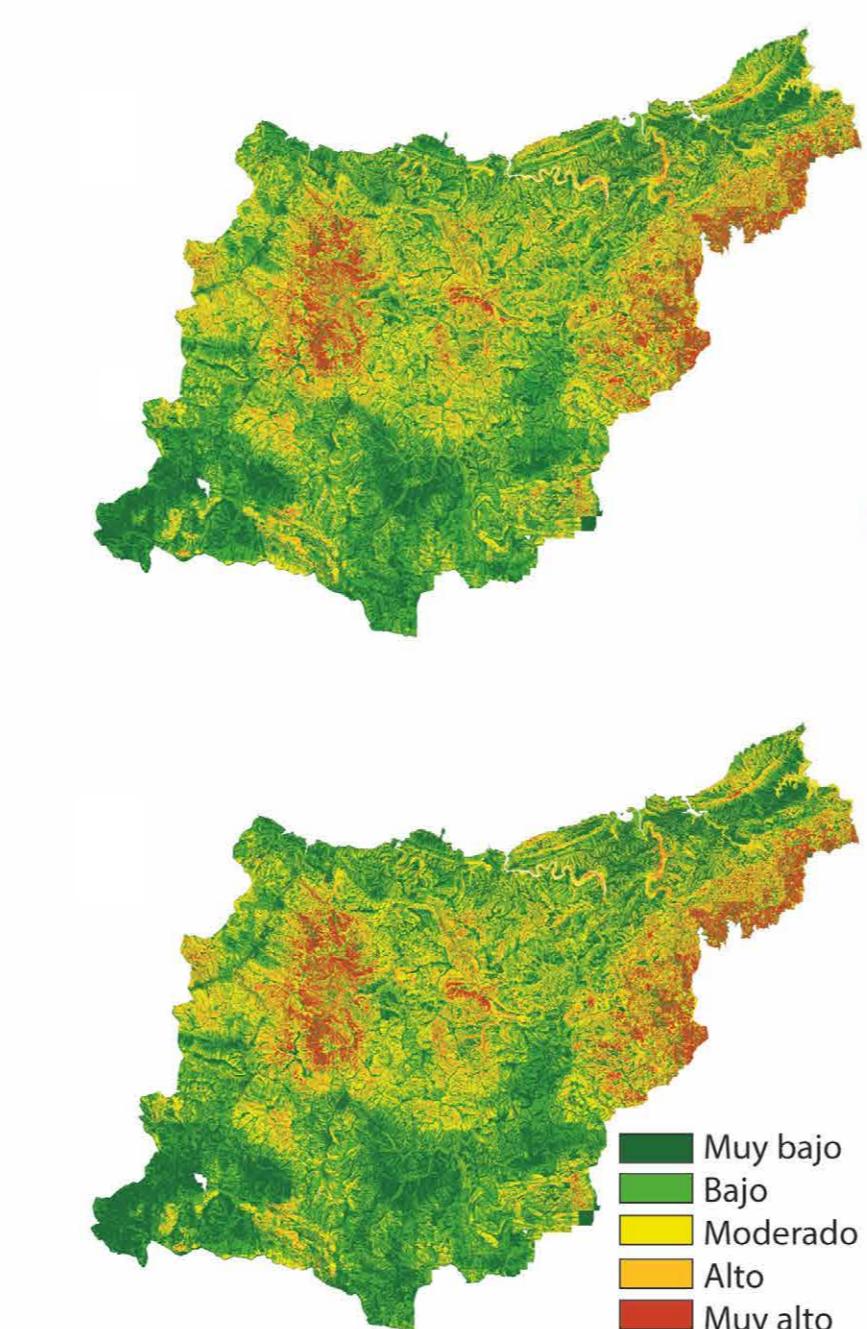
La **longitud de los tramos afectados por deslizamientos en masa** se ha considerado como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición de la red viaria a dichos deslizamientos. El riesgo sobre la red viaria se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial analizado, y la vulnerabilidad de la propia infraestructura, caracterizada por unos indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de los tramos de la red viaria.

Potencial impacto: longitud de tramos afectados por deslizamientos en masa

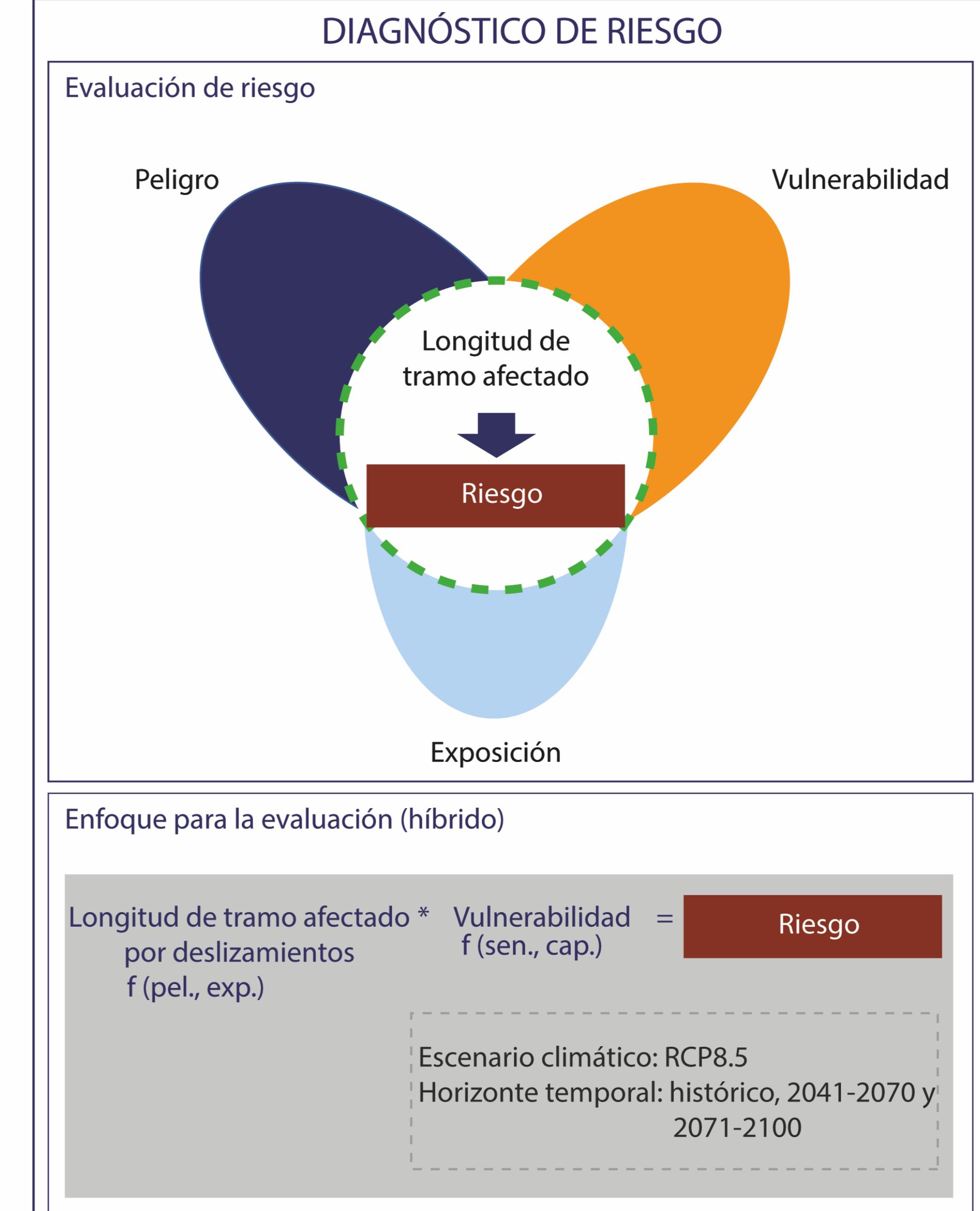
La caracterización de la longitud de los tramos de la red viaria expuestos a deslizamientos se ha realizado combinando los mapas de peligrosidad frente a deslizamientos en masa para el escenario climático RCP8,5 y tres horizontes temporales distintos (histórico, 2041-2070 y 2071-2100), con la localización de la red viaria del territorio.



La longitud de los tramos expuestos se ha determinado como la longitud de cada tramo de carretera expuesta a niveles de peligrosidad altos y muy altos. La longitud de tramo afectado por deslizamientos se incrementa en el medio plazo (2041-2070) al incrementarse la peligrosidad frente a deslizamientos, al incrementarse el factor desencadenante de los deslizamientos, la precipitación máxima acumulada en 5 días. En el largo plazo (2071-2100), sin embargo, se aprecia un ligero descenso al disminuir la proyección de precipitación extrema.



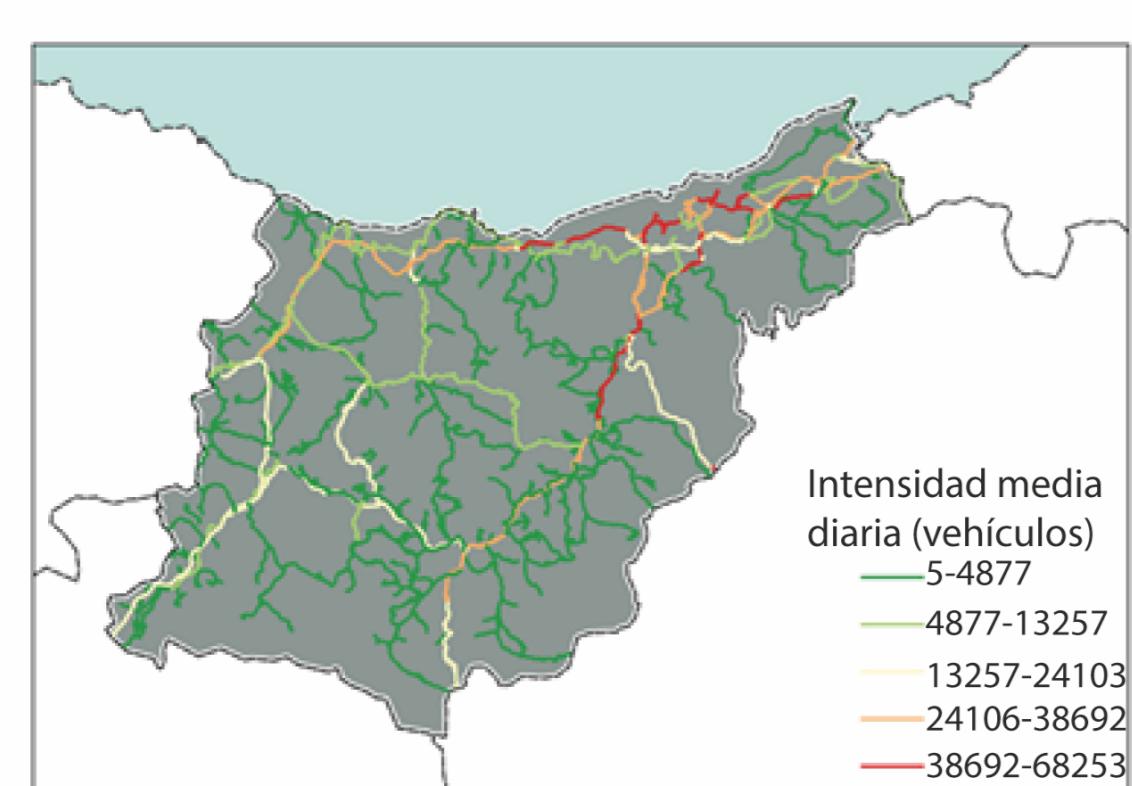
Mapas de peligrosidad frente a deslizamientos en masa para el escenario RCP8,5 y tres períodos de estudio. Fuente: DGMA-DFG (2022).



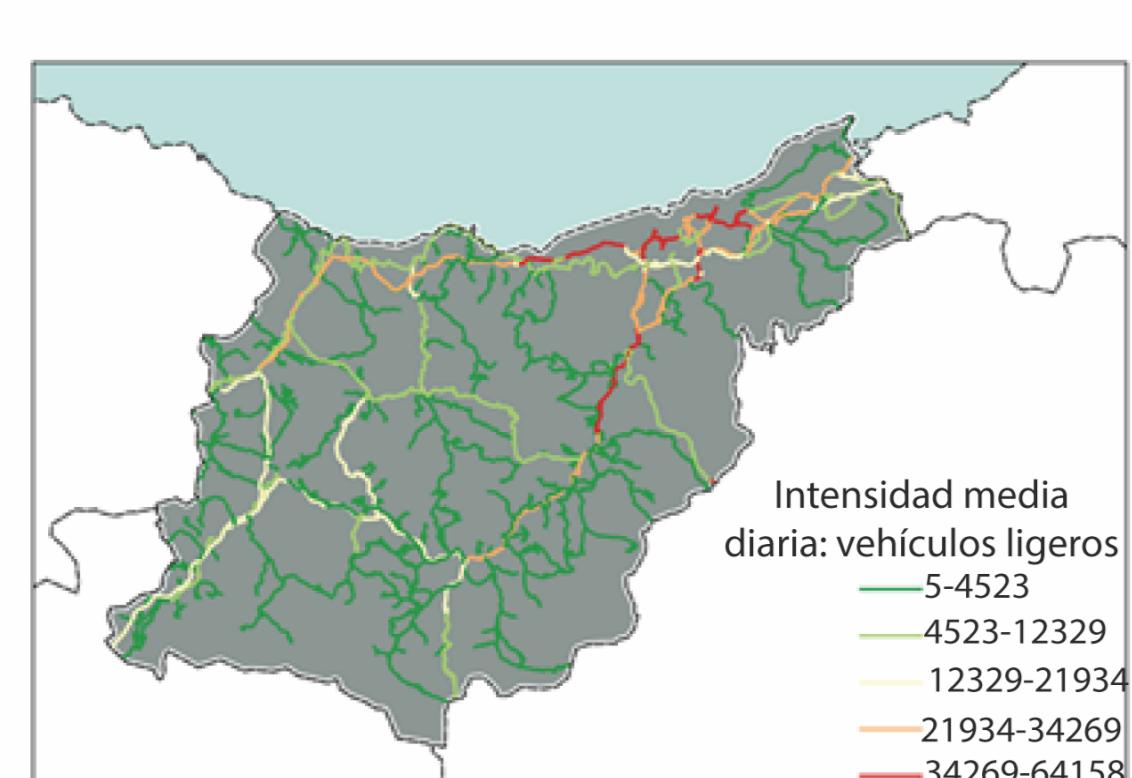
Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de la red viaria ante deslizamientos en masa

Indicadores de sensibilidad

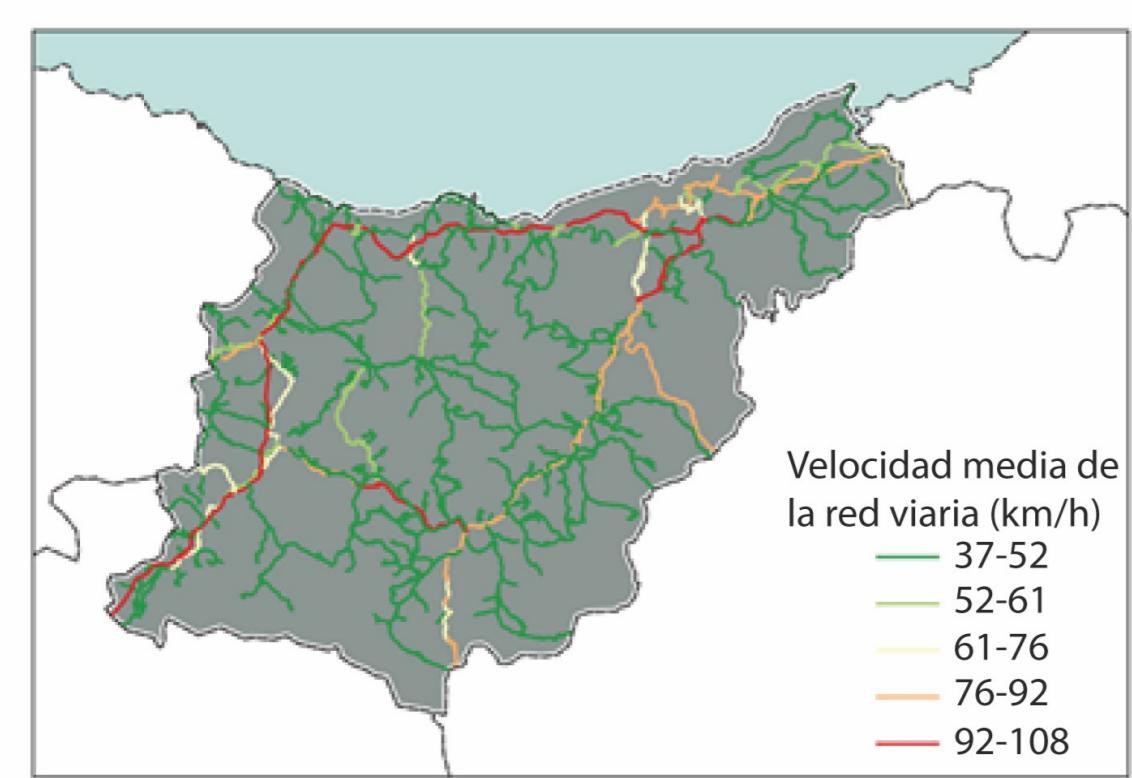
Intensidad media diaria del tráfico: las carreteras con mayor intensidad media diaria de vehículos se considera que tiene mayor sensibilidad.



Intensidad de vehículos ligeros: las carreteras con mayor intensidad tráfico de vehículos ligeros son más sensibles.

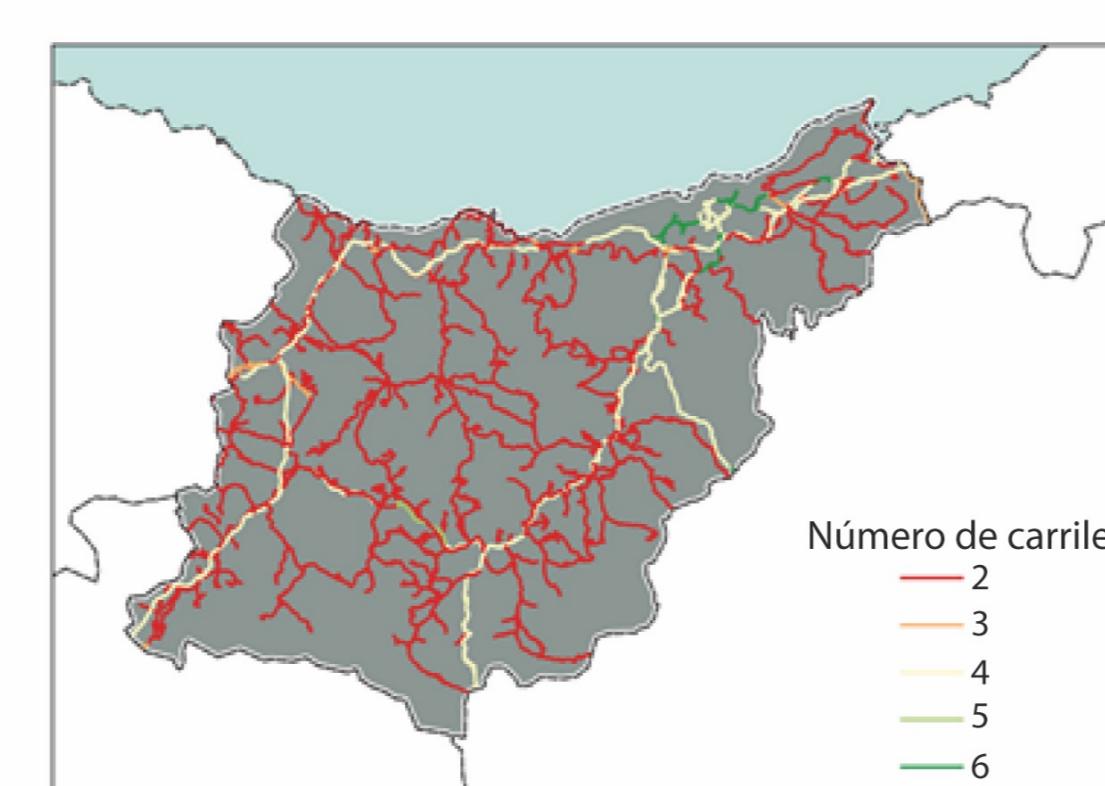


Velocidad media de los vehículos

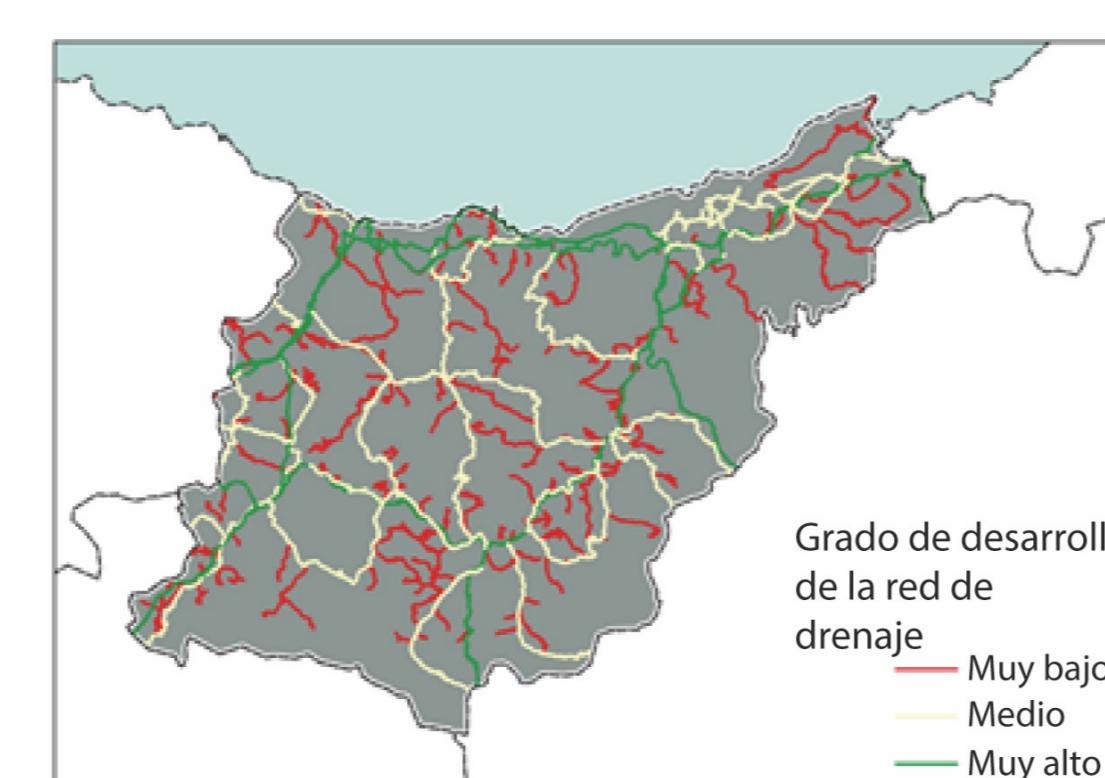


Indicadores de adaptación

Número de carriles: mayor capacidad de adaptación para mayor número de carriles.



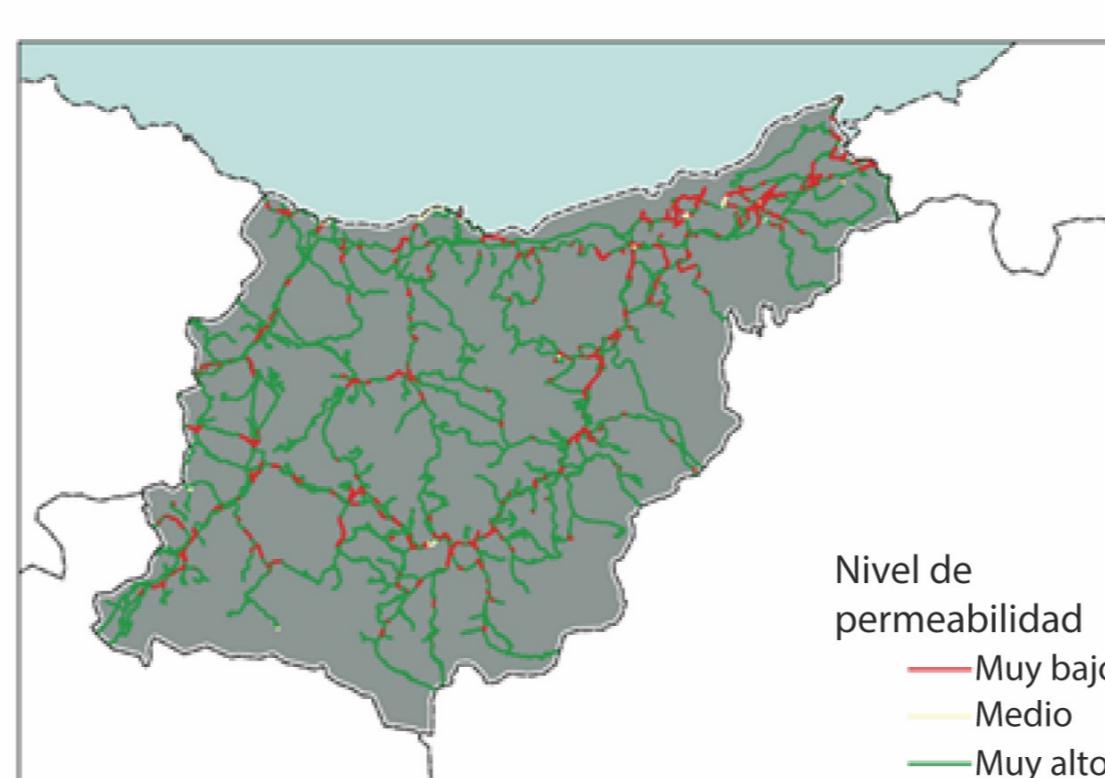
Grado de desarrollo del sistema de drenaje: mayor capacidad de adaptación para mayor desarrollo.



Cámaras de control de tráfico: mayor capacidad de adaptación si hay cámaras.

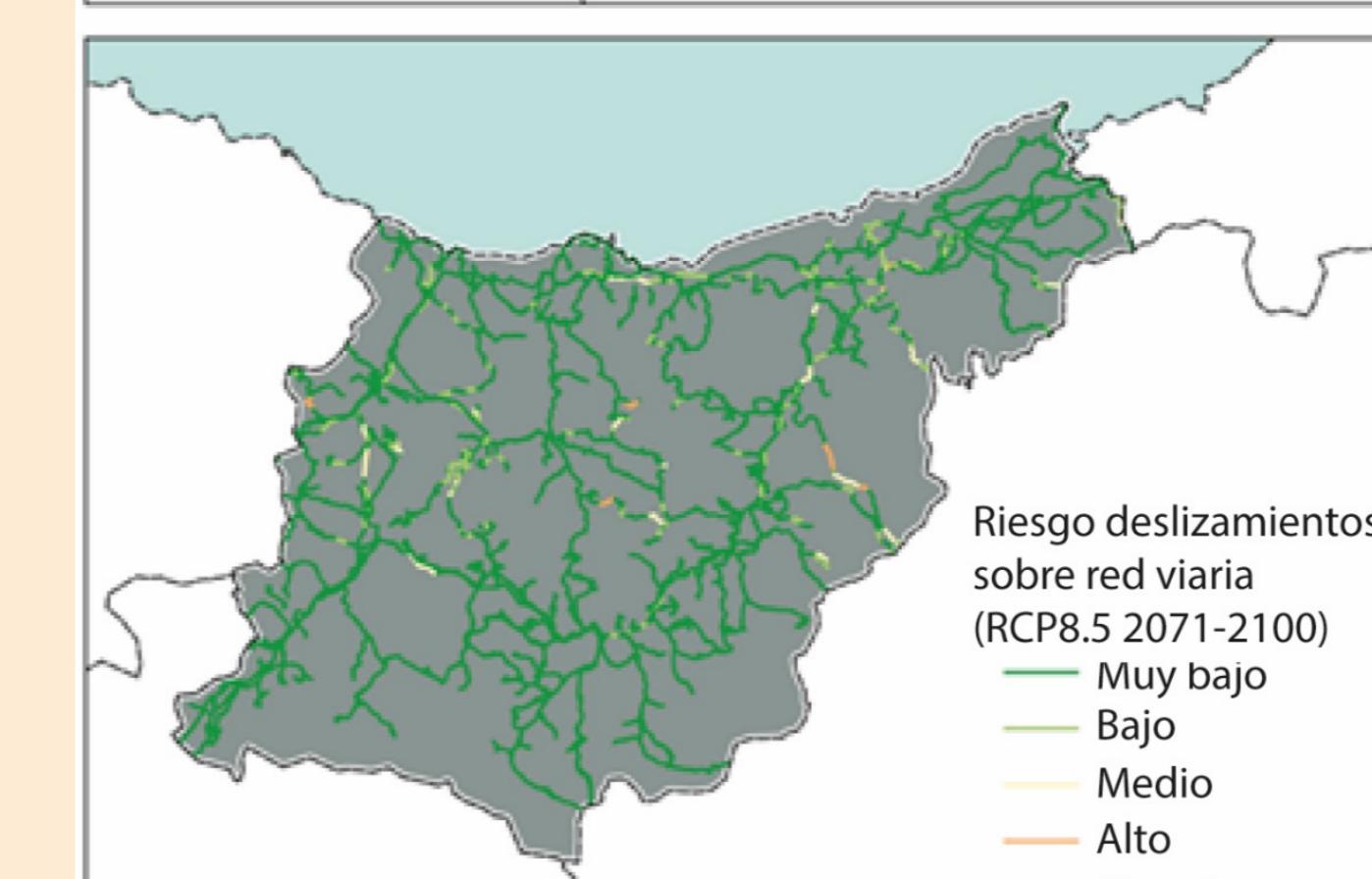
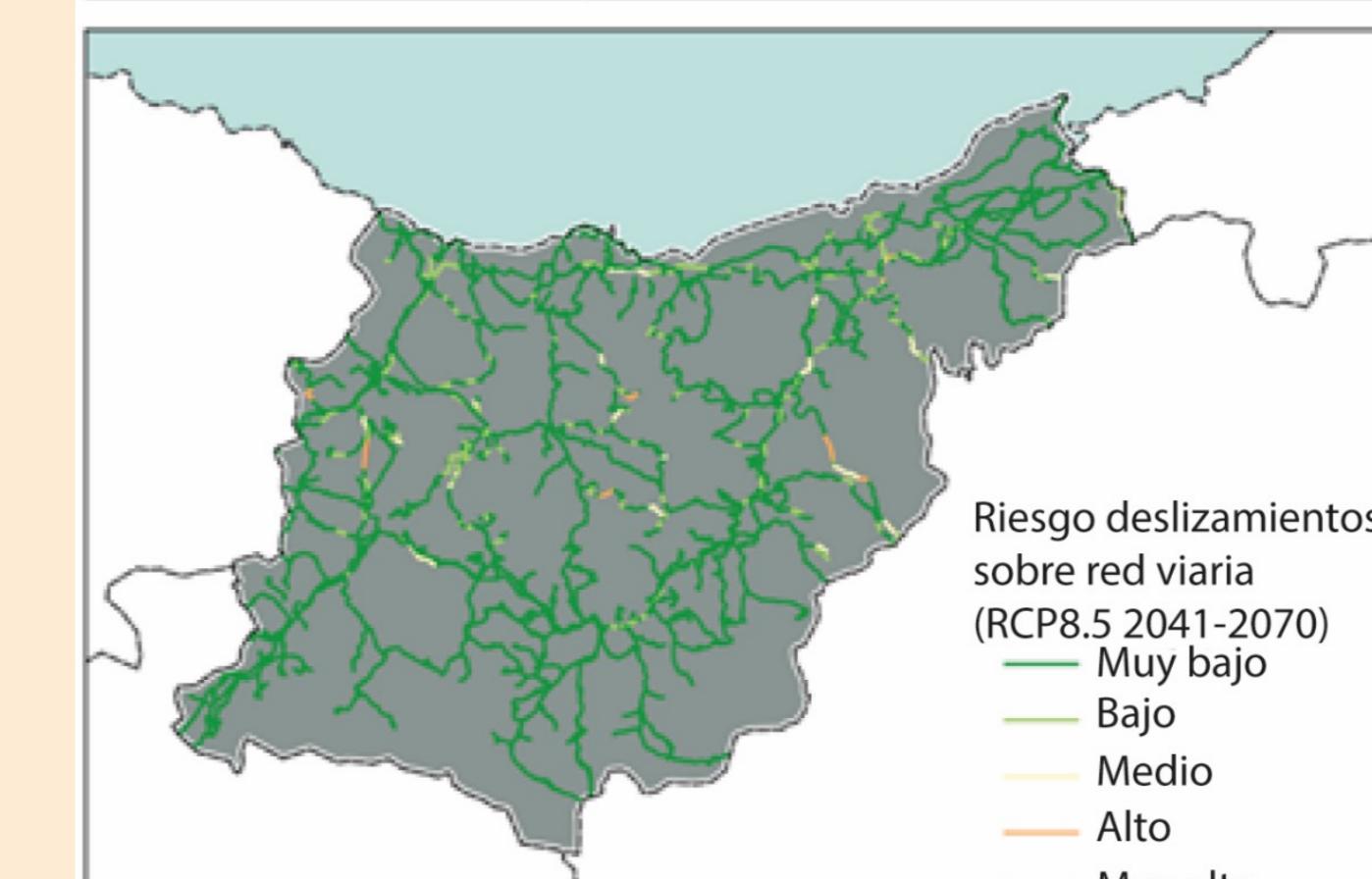


Superficie permeable de las zonas adyacentes a la red viaria: mayor capacidad de adaptación para la presencia de estas superficies.



RESULTADOS DE RIESGO

El riesgo de los deslizamientos en masa en la red viaria de Gipuzkoa presenta en el periodo histórico un **nivel de riesgo entre muy bajo y bajo en la mayor parte del territorio**. Esto se debe fundamentalmente a la baja exposición de la red viaria a niveles de peligrosidad altos y muy altos ante los deslizamientos. Hay que tener en cuenta que muchas de estas inestabilidades están relacionadas con la actividad humana.



En el medio plazo (2041-2070) los niveles de riesgo aumentan ligeramente. Esto se debe a que el factor desencadenante de los deslizamientos, la precipitación máxima acumulada en 5 días, aumenta durante este primer periodo. En la mayor parte del territorio se mantienen los niveles de riesgo bajos pero se incrementa en las áreas montañosas, donde se incrementa la peligrosidad.

En el largo plazo (2071-2100) los niveles de riesgo disminuyen ligeramente. Esto se debe a que las proyecciones para el factor desencadenante de los deslizamientos, la precipitación máxima acumulada en 5 días, disminuye ligeramente para finales de siglo.

INUNDACIONES FLUVIALES SOBRE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

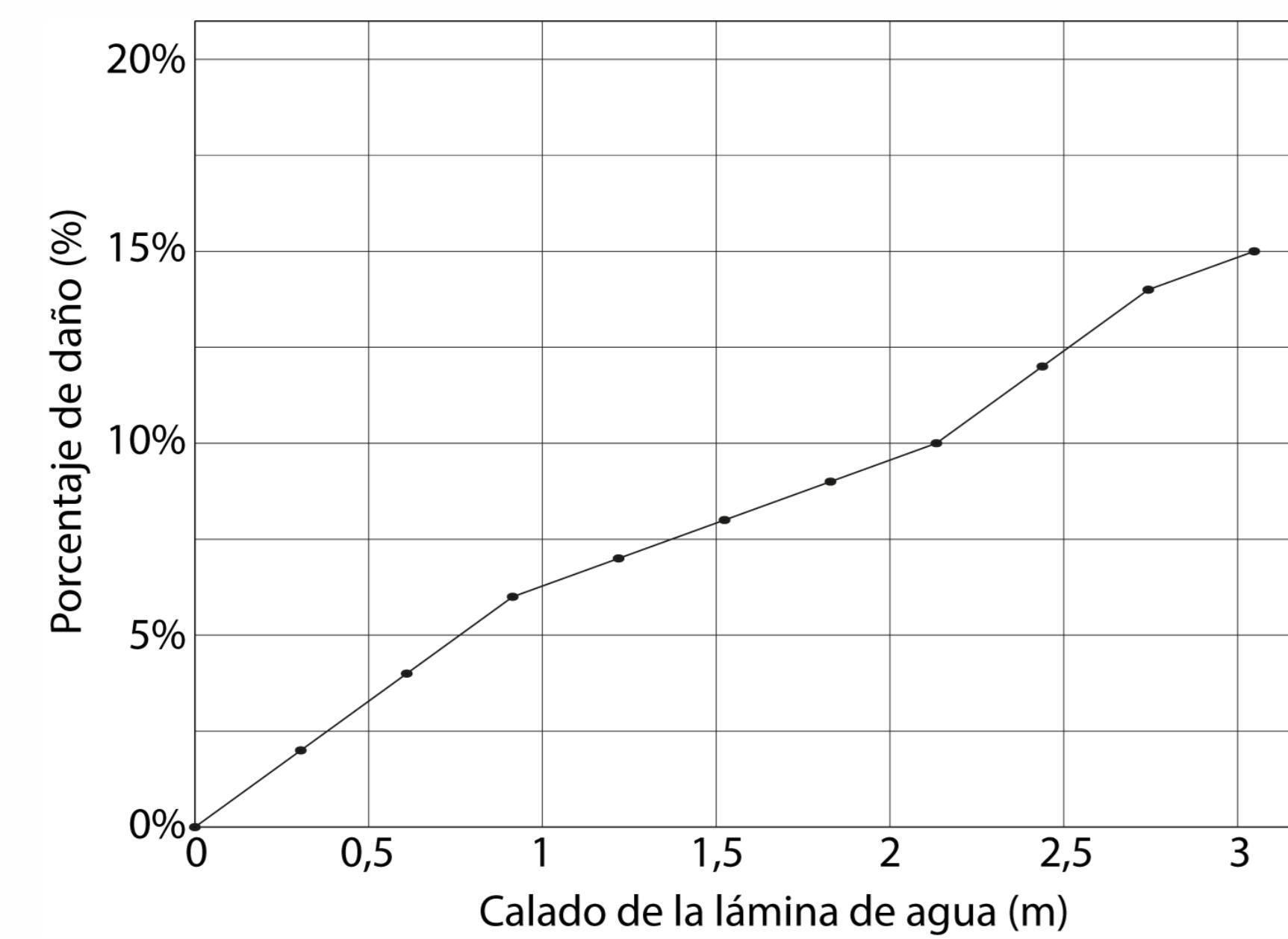
El riesgo se encuentra en el centro del planteamiento empleado y es entendido como una combinación de la amenaza o peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. Para el análisis del riesgo se ha empleado una metodología híbrida que combina la aproximación cuantitativa (basada en modelos de impacto o curvas de daño) del potencial impacto consecuencia de la exposición y sensibilidad de la infraestructura analizada a un determinado impacto, y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

$$\text{Potencial impacto} * \text{Vulnerabilidad} = \text{Riesgo}$$
$$f(\text{pel., exp., sen.}) \quad f(\text{sen., cap.})$$

El **daño físico a la infraestructura** se ha considerado como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición y sensibilidad de las subestaciones eléctricas a las inundaciones fluviales. El riesgo sobre las subestaciones eléctricas se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial analizado y la vulnerabilidad de la propia infraestructura, caracterizada por unos indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa.

Potencial impacto: daño físico de las subestaciones eléctricas

El análisis del daño físico de estas infraestructuras bajo un evento de inundación fluvial se basa en la aplicación de curvas de daño 'genéricas' que relacionan el calado de la inundación con el porcentaje de daño que podría ocasionar a la infraestructura analizada. En este caso se ha empleado las curvas propuestas por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) de EEUU.



Curva de daño para subestaciones eléctricas ante eventos de inundación basada en FEMA (2010)

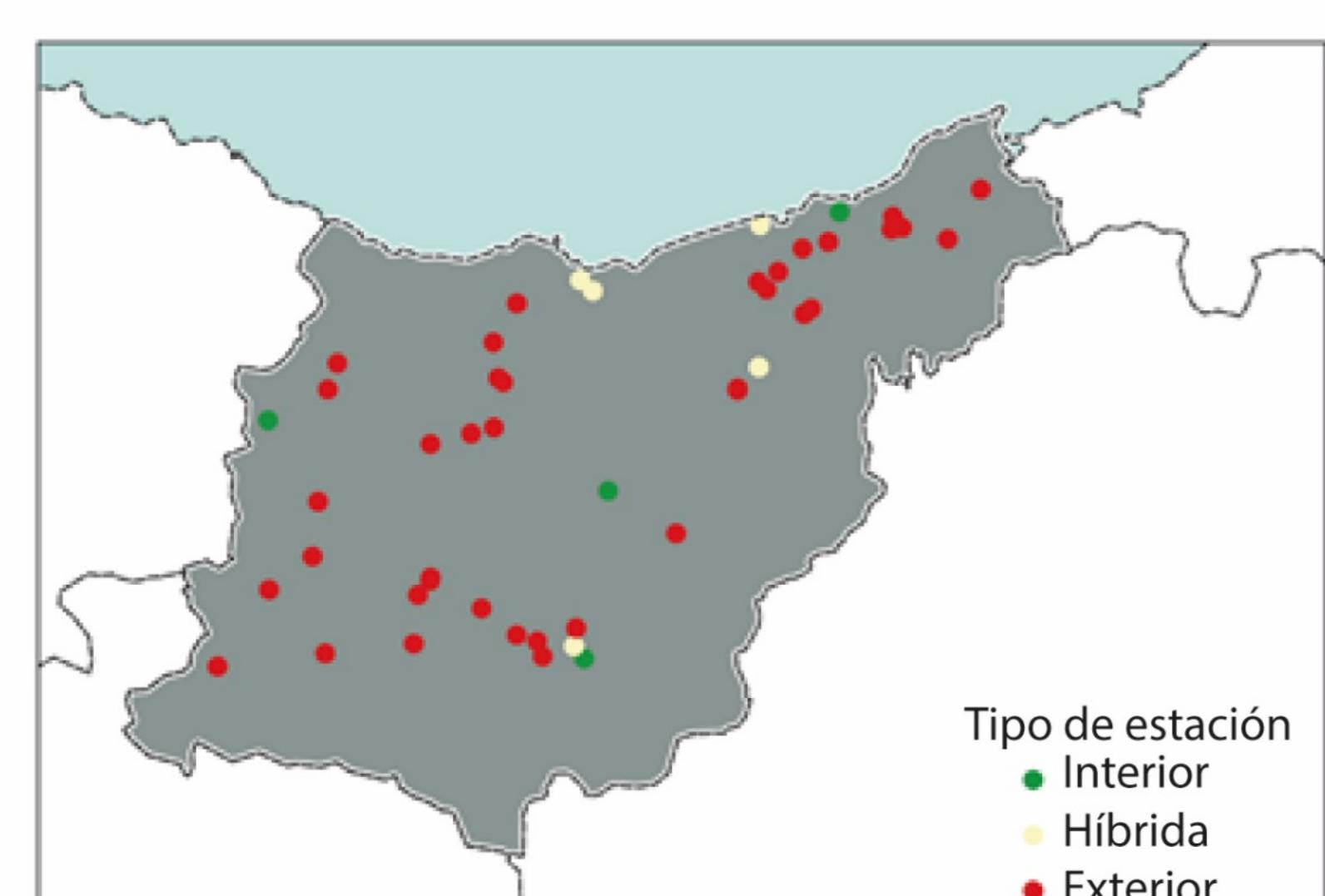
Para la caracterización del calado de la lámina de agua se ha utilizado el calado de la lámina de agua sobre el terreno de las zonas inundables para el periodo de retorno de 100 años en el escenario actual (Ura, 2018).

La mayoría de las subestaciones eléctricas no están actualmente expuestas a inundaciones fluviales con períodos de retorno de 100 años. Solamente cuatro subestaciones se encuentran expuestas a este peligro, observándose los mayores daños en la cuenca del Urola, en la zona de Azpeitia, y en la cuenca del Oria, entre Ordizia y Beasain.

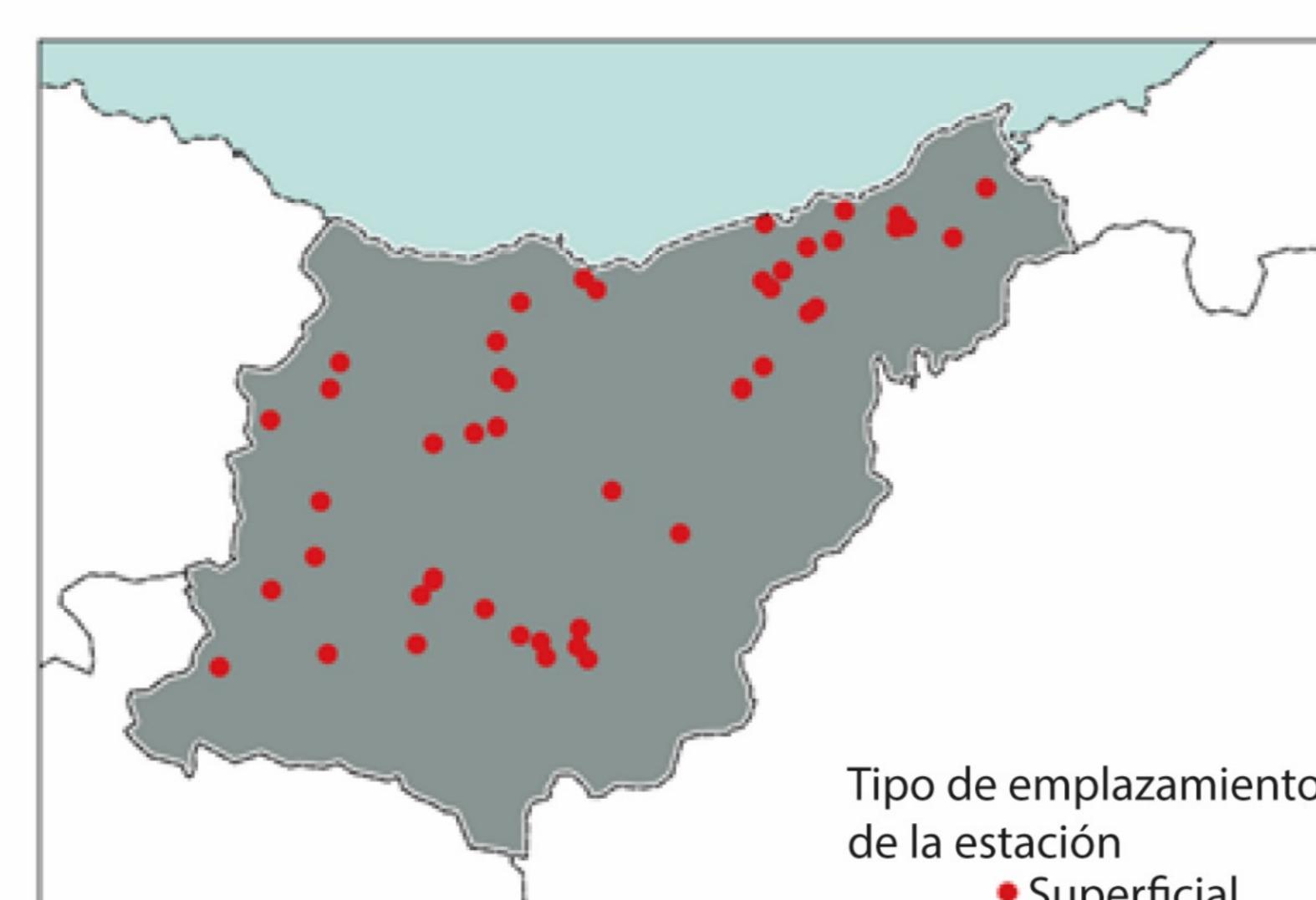
Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de las subestaciones eléctricas ante inundaciones fluviales

Indicadores de sensibilidad

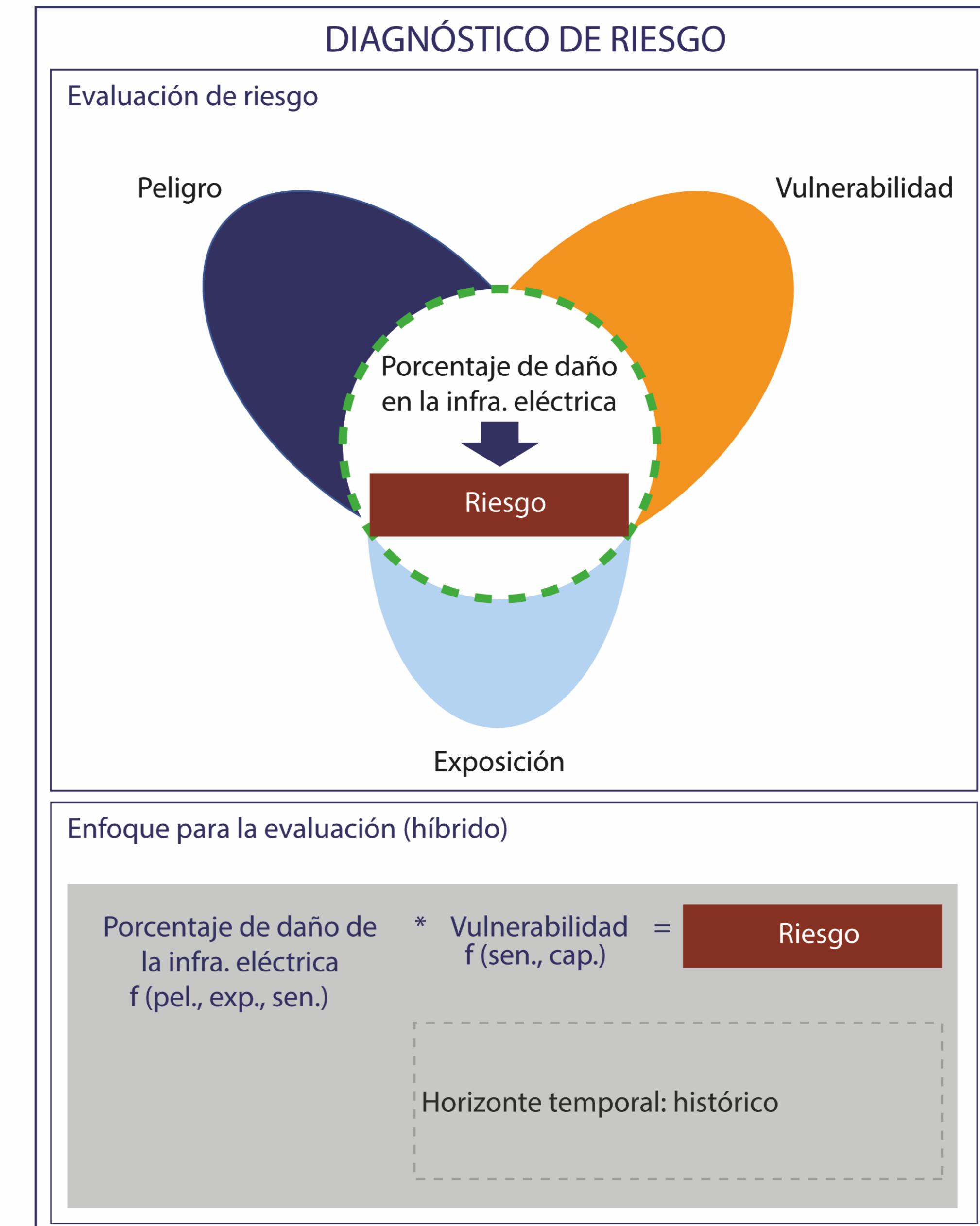
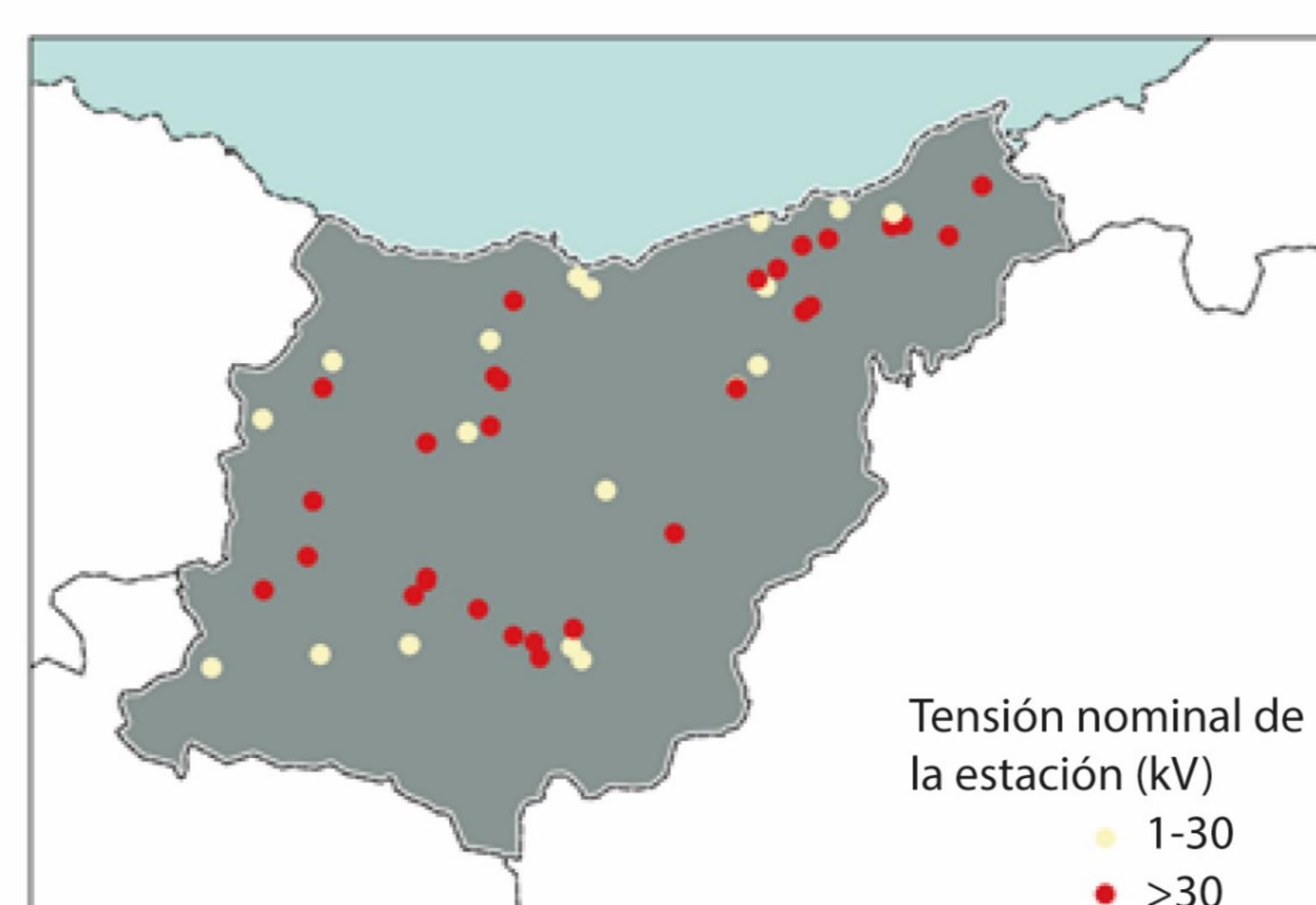
Tipo de estación: las subestaciones a la intemperie (exterior) son más sensibles a la inundación que las estaciones completamente cubiertas (interior).



Tipo de emplazamiento: los emplazamientos aéreos son más sensibles que los subterráneos.

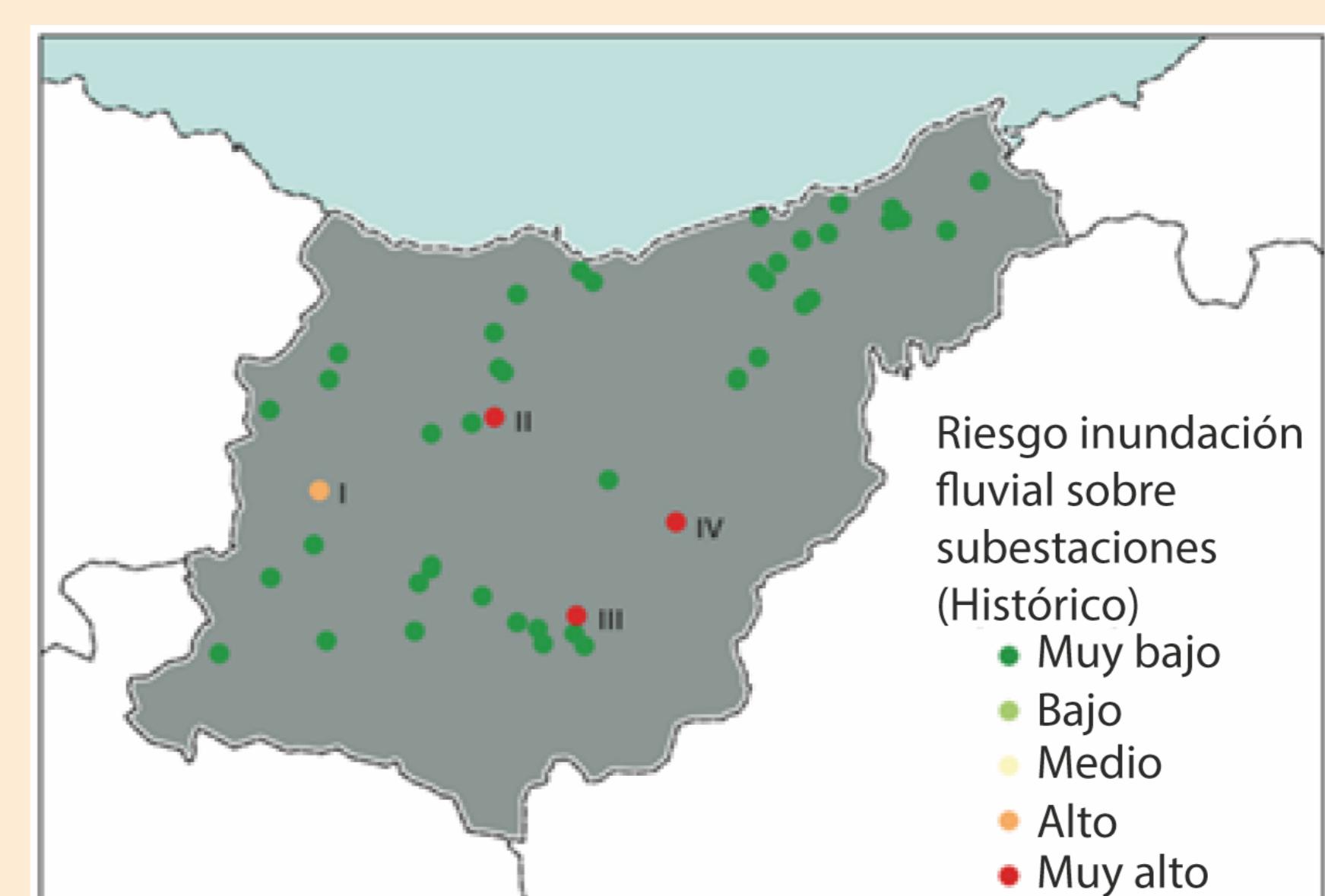


Tensión nominal: mayor sensibilidad cuanto mayor es el nivel de tensión.



RESULTADOS DE RIESGO

En las subestaciones eléctricas actualmente expuestas al peligro de inundaciones fluviales, los niveles de riesgo son entre alto y muy alto. Los niveles de riesgo más altos se observan en subestaciones en la cuenca del Urola y Oria, donde los potenciales impactos (daño físico en la instalación) y la sensibilidad de las instalaciones es mayor. En la instalación en la cuenca de Deba el nivel de riesgo es menor, al ser menor también el porcentaje de daño en los eventos de inundación.



En las próximas décadas, bajo el escenario de cambio climático, se prevé que las subestaciones eléctricas que actualmente presentan un nivel de riesgo alto y muy alto **incrementen su nivel de riesgo debido a cambios en la frecuencia del periodo de retorno de la mancha de inundación**.

Para la caracterización del riesgo futuro bajo escenarios de cambio climático no se dispone de las manchas de inundación fluvial para escenarios climáticos futuros y períodos de retorno de 100 años. Por ello, se ha llevado un enfoque alternativo en el que, para aquellas subestaciones eléctricas que en el escenario actual muestran probabilidad de daño ante inundaciones con períodos de retorno de 100 años se ha analizado el cambio en el periodo de retorno de la mancha de inundación fluvial.

TEMPERATURAS MÁXIMAS SOBRE TENDIDOS ELÉCTRICOS

El riesgo se encuentra en el centro del planteamiento empleado y es entendido como una combinación de la amenaza o peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. Para el análisis del riesgo se ha empleado una metodología híbrida que combina la aproximación cuantitativa (basada en modelos de impacto o curvas de daño) del potencial impacto consecuencia de la exposición y sensibilidad de la infraestructura analizada a un determinado impacto, y la vulnerabilidad de la propia infraestructura.

$$\text{Potencial impacto} * \text{Vulnerabilidad} = \text{Riesgo}$$
$$f(\text{pel., exp., sen.}) \quad f(\text{sen., cap.})$$

La **pérdida en la capacidad de transporte de la red eléctrica** se ha considerado como uno de los potenciales impactos resultantes de la exposición y sensibilidad de la red eléctrica a las altas temperaturas. El riesgo sobre la red eléctrica se calcula a partir de la combinación de este impacto potencial analizado y la vulnerabilidad de la propia infraestructura, caracterizada por unos indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa.

Potencial impacto: cambio en la pérdida de la capacidad de transporte eléctrico

Durante los días de calor, la infraestructura de transmisión de la electricidad pierde eficiencia debido a la resistencia adicional inducida. El rango de operación segura de las líneas de transporte y distribución de energía eléctrica se ve reducido en condiciones de alta temperatura ambiente al disminuir su capacidad de disipar el calor generado en el proceso (efecto Joule).

Para la caracterización de la pérdida de capacidad del transporte de las líneas por impacto de las temperaturas máximas, se ha aplicado un coeficiente que corrige la intensidad máxima admisible de diseño (para temperatura ambiente de 40°C) para obtener la intensidad máxima admisible para otras temperaturas. Se ha empleado el coeficiente corrector definido en la normativa vigente (UNE 21144, UNE211435) en función de las características de diseño del conductor y la temperatura ambiente, para aquellos casos en los que la temperatura máxima sobrepase los 40°C.

$$\text{Pérdida capacidad de transporte} = 1 - \sqrt{\frac{T_{\text{servicio conductor}} - T_{\text{ambiente}}}{T_{\text{servicio conductor}} - 40}}$$

Los datos de temperatura ambiente corresponden a los percentiles de la proyección de alta resolución espacial y escala temporal diaria de la temperatura máxima diaria bajo el escenario RCP8.5 (Ihobe, 2019). La pérdida de capacidad de transporte se representa como el cambio que se produce en dicha pérdida en los escenarios futuros con respecto a la observada en el escenario histórico (1971-2000).

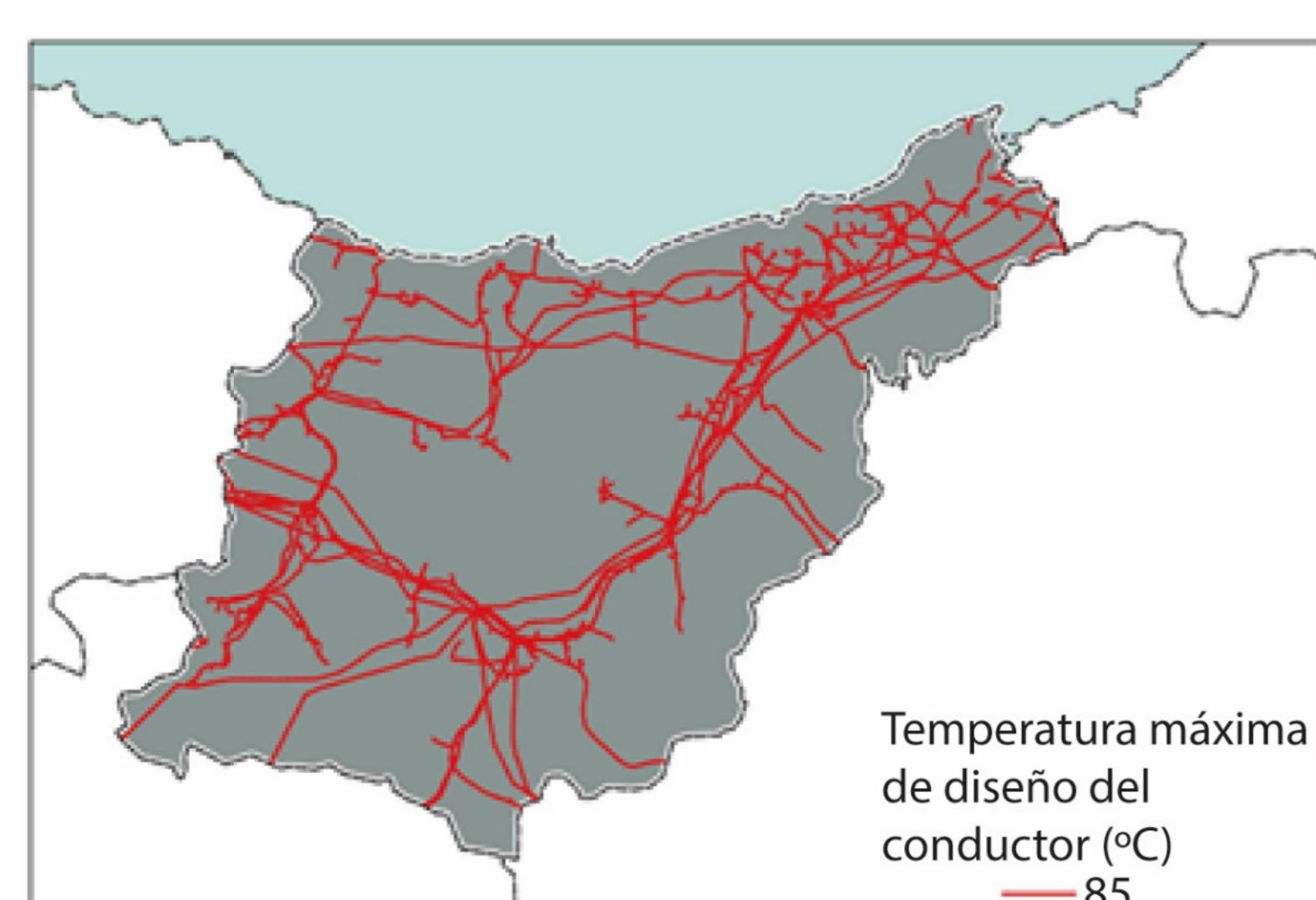
Bajo el periodo 2041-2070, gran parte de los tramos de la red eléctrica presentan una afección baja debido al bajo número de días en los que se superan los 40 °C.

Bajo el periodo 2071-2100, la peligrosidad se incrementa y, por tanto, los niveles de impacto, abarcando un mayor porcentaje de líneas.

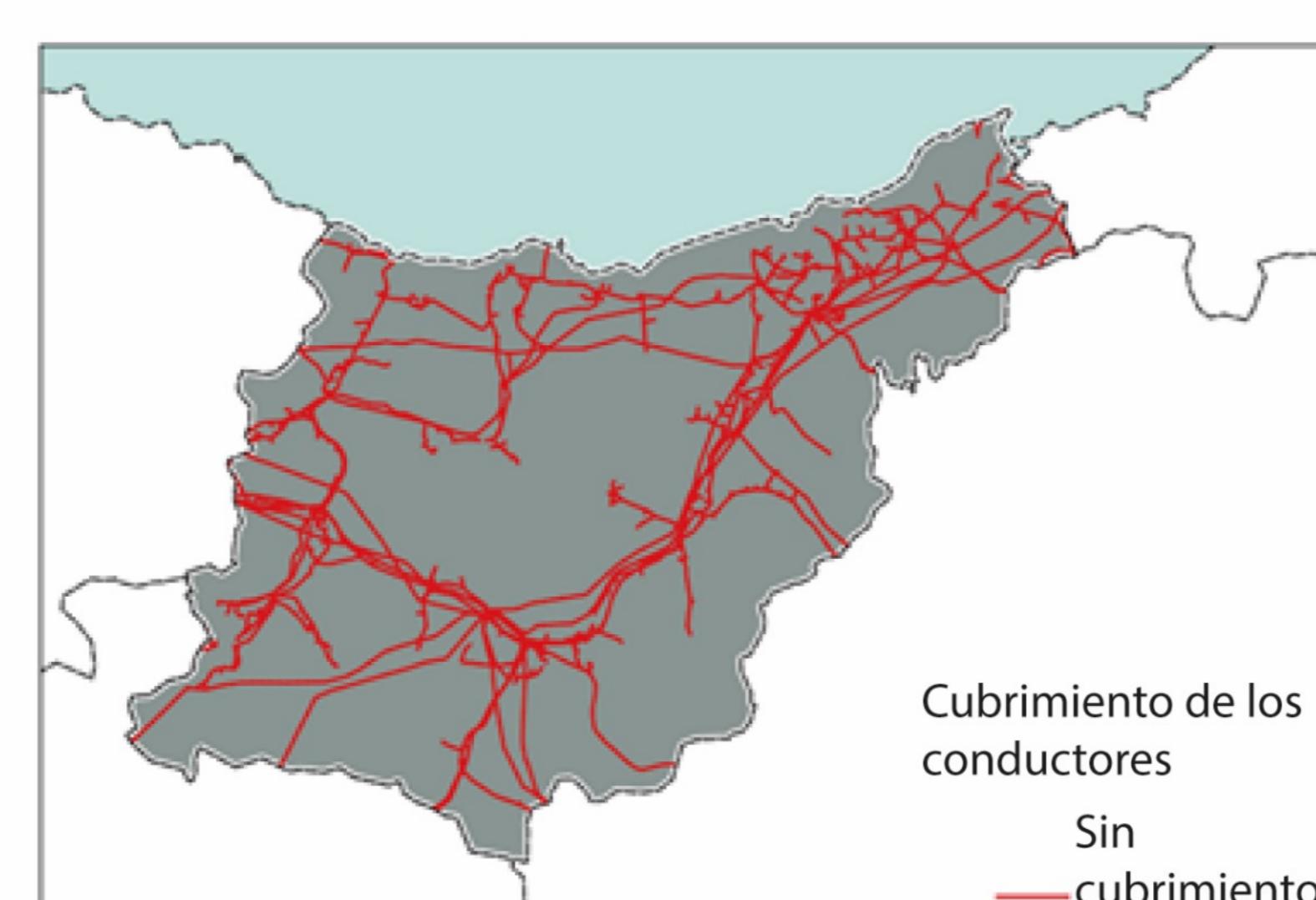
Indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de la red eléctrica ante cambios en la temperatura ambiente máxima

Indicadores de sensibilidad

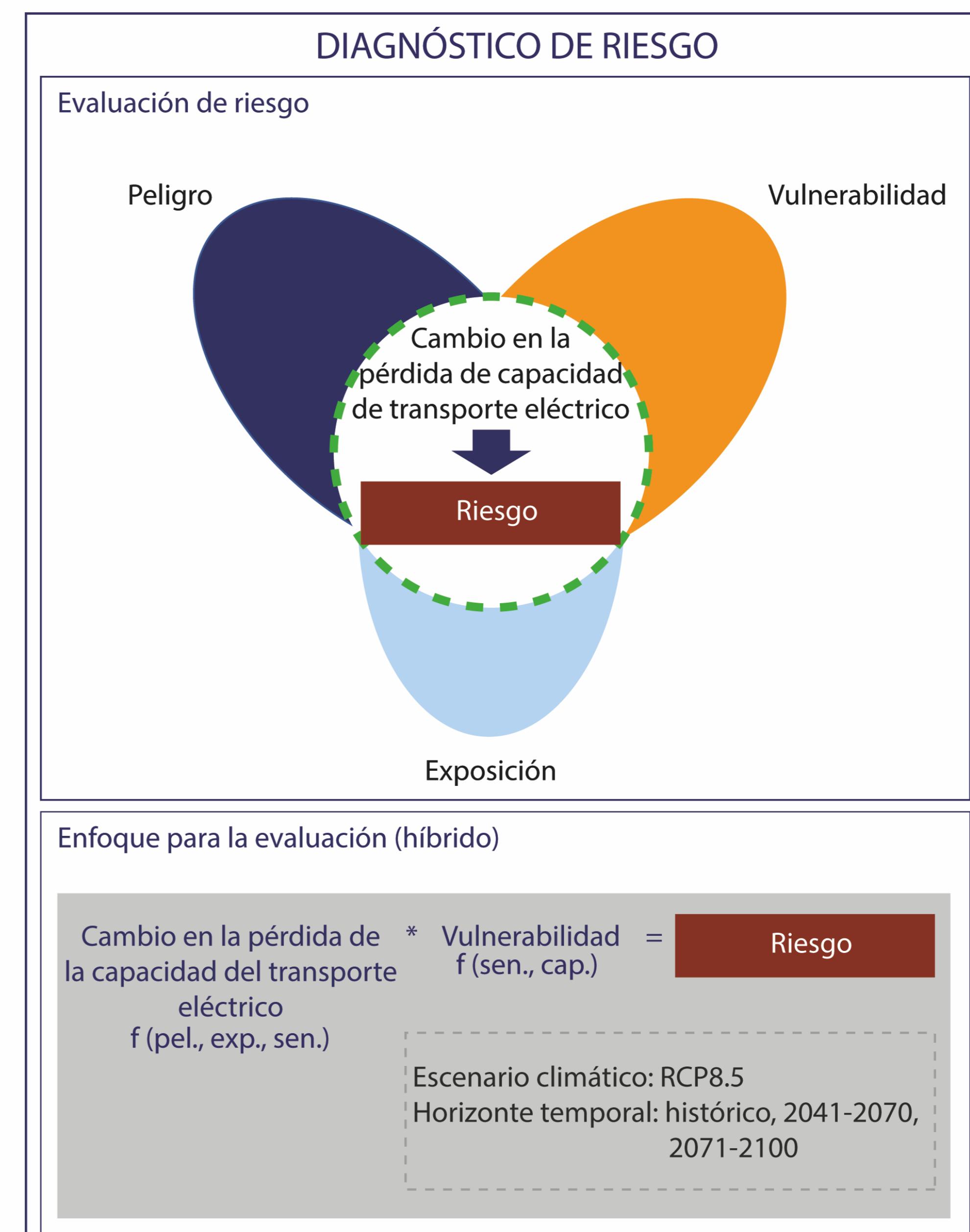
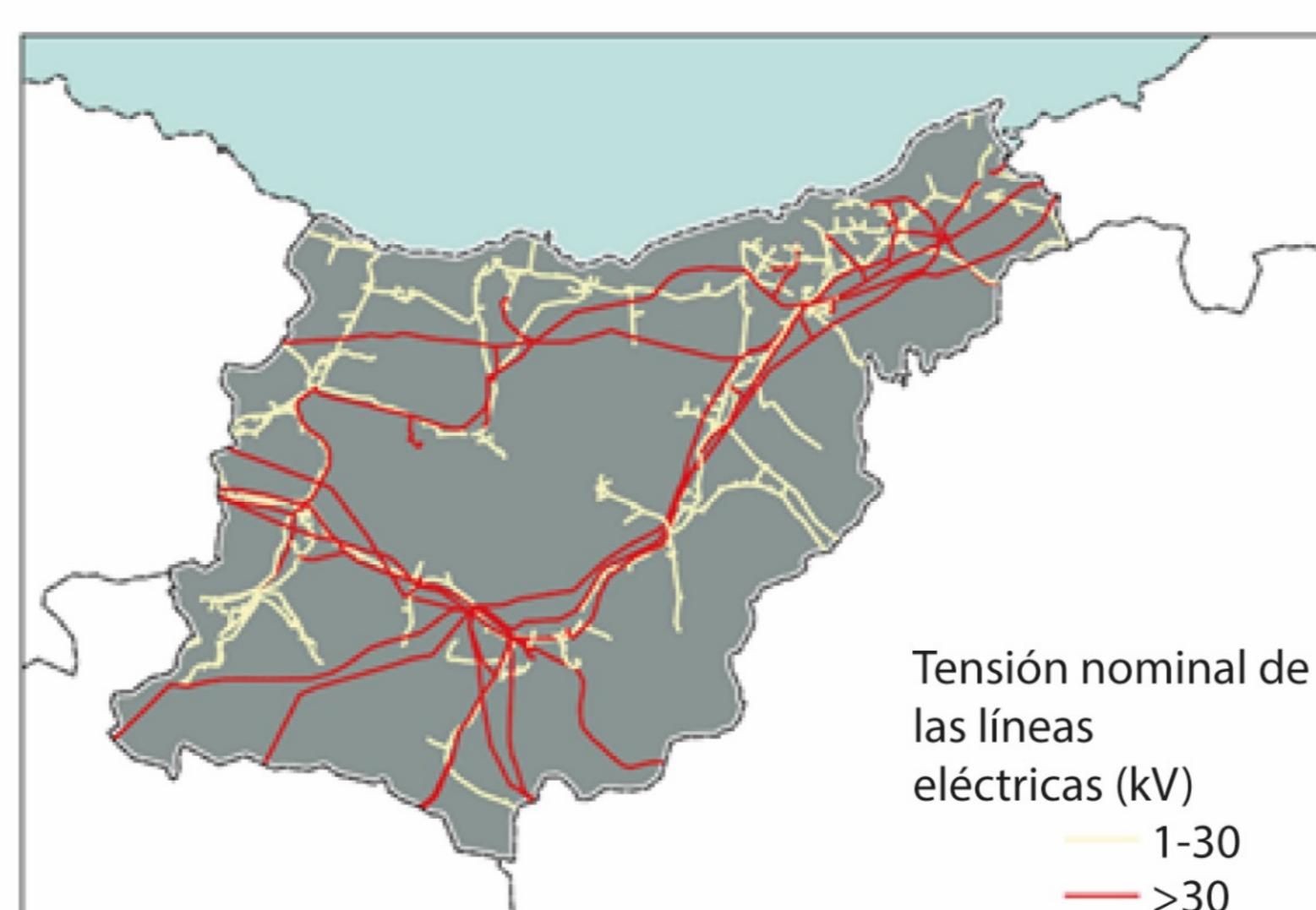
Temperatura máxima de diseño del conductor: se consideran más sensibles los conductores de mayor nivel de tensión.



Cubrimiento de los conductores: los conductores desnudos se consideran más sensibles que los conductores recubiertos por material aislante.

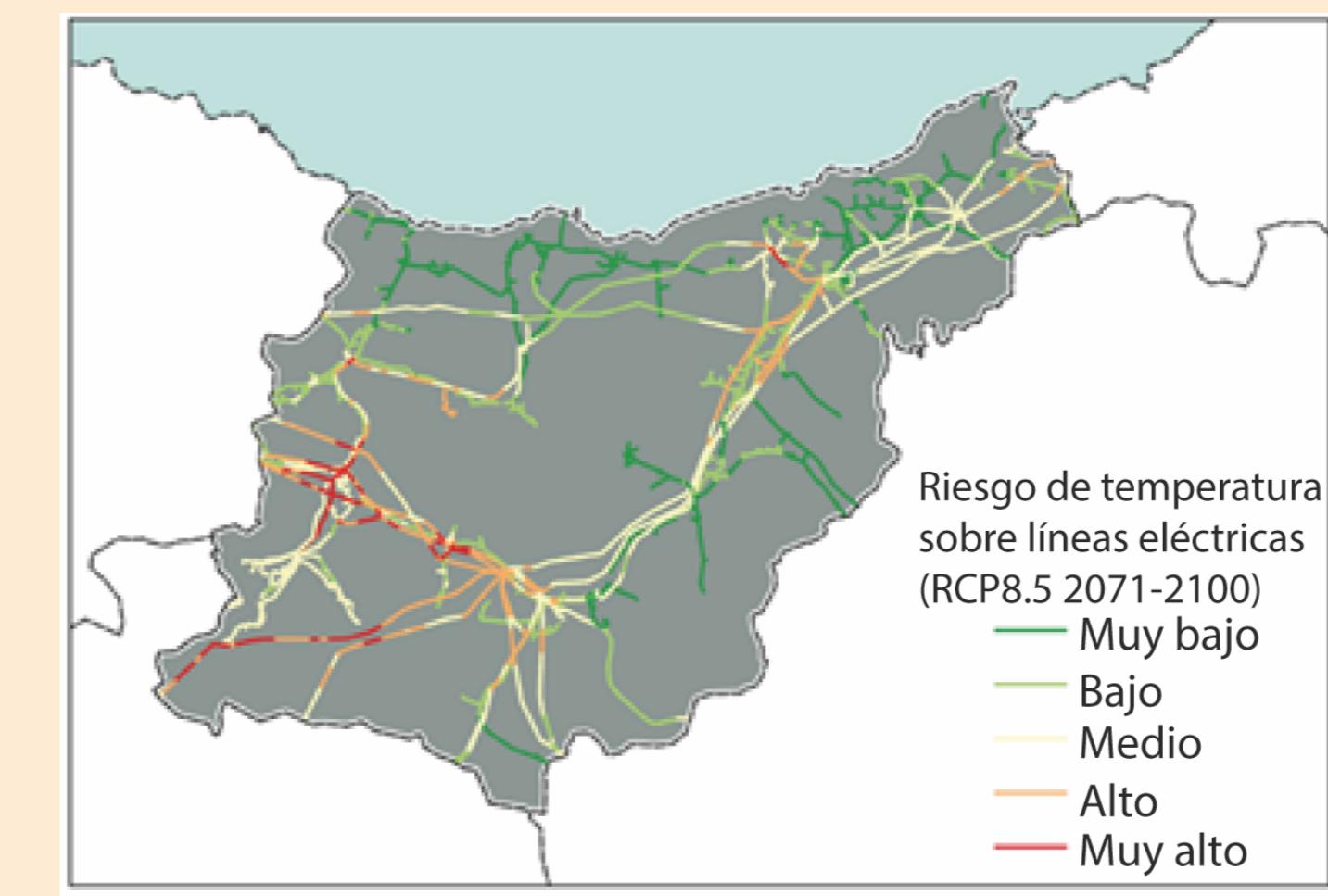
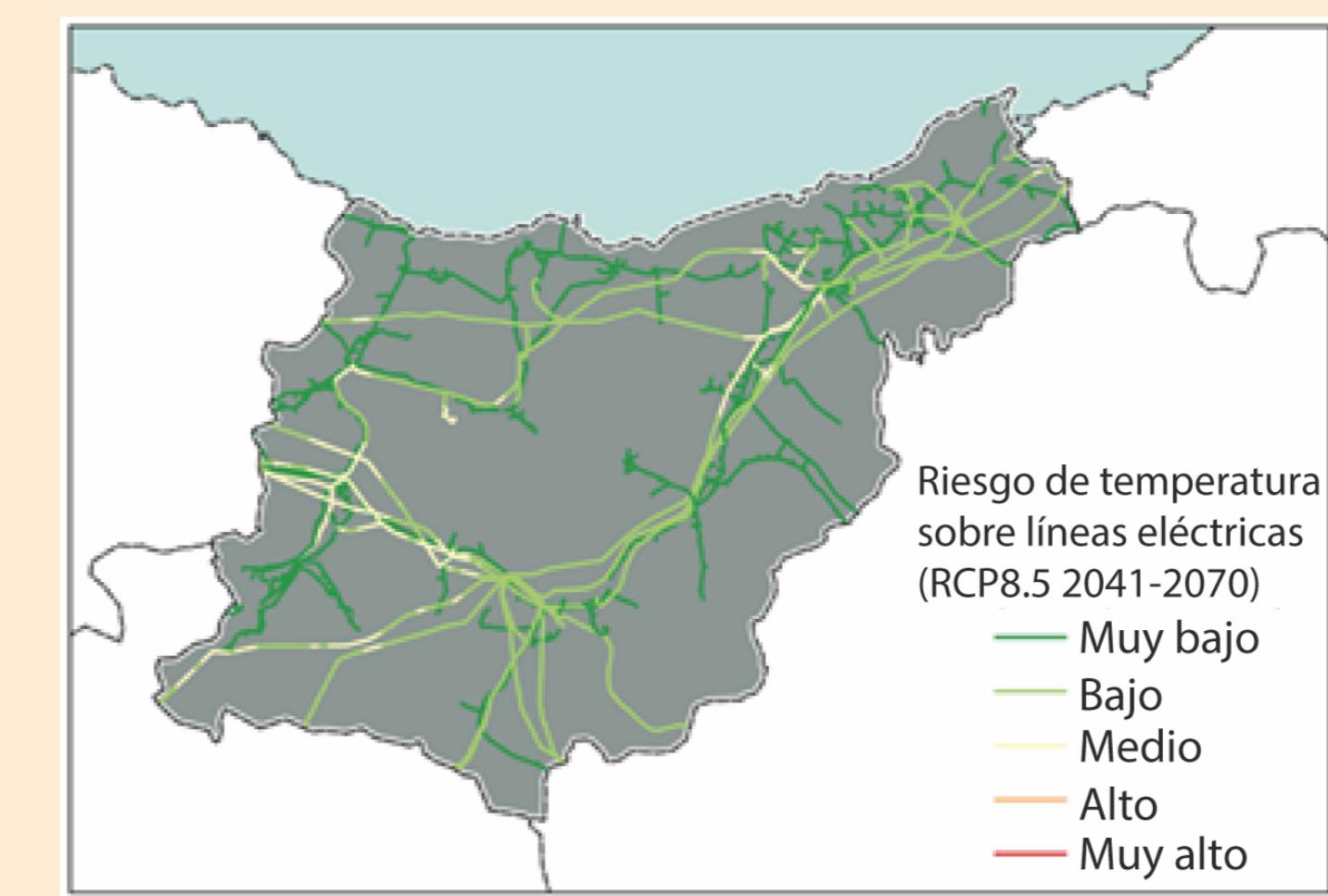


Tensión nominal: mayor sensibilidad cuanto mayor es el nivel de tensión.



RESULTADOS DE RIESGO

El nivel de **riesgo de las temperaturas máximas sobre la capacidad de transporte de las líneas eléctricas aumenta a medida que avanza el siglo** respecto a la situación histórica. En el medio plazo (2041-2070), el nivel de riesgo de las temperaturas máximas sobre la capacidad de transporte de las líneas eléctricas previsto es entre muy bajo y bajo en la mayor parte del territorio. Los mayores niveles de riesgo, niveles de bajo a medio, se da en las líneas de alta y muy alta tensión, debido a la mayor relevancia que tendría para el sistema eléctrico un fallo de las mismas, en comparación con la baja tensión. Los niveles de riesgo medio se concentran en zonas de Debagoiena y en Donostialdea, donde el impacto potencial (pérdida en la capacidad de transporte) y la sensibilidad es mayor.



Los niveles de riesgo se incrementan, de forma generalizada, en el periodo 2071-2100, agravándose principalmente en las líneas de alta y muy alta tensión. En las comarcas de Debagoiena y Donostialdea, el nivel de riesgo de las líneas de mayor tensión podría ser muy alto en el largo plazo, 2071-2100. En el resto de comarcas, también aumenta el nivel de riesgo respecto al periodo 2041-2070, pasando de un nivel de riesgo bajo a medio.

En las líneas de menor tensión, el nivel de riesgo es en general muy bajo y no se prevén cambios.