

BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO

PFM : "RENATURAIZACIÓN DE LA CIUDAD Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA MITIGACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO. CASO DE ESTUDIO EN LA BAHÍA DE PASAIA"

Grado: Máster de Eficiencia energética y sostenibilidad en industria, transporte, edificación y urbanismo

Curso: 2021 - 2022

Autor/a: Amaia Asla Urrutia

Director/a/s: Olatz Grijalba

ÍNDICE

ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN	7
3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO	9
4. METODOLOGÍA	10
4.1. Estado del arte	10
4.2. Caso de estudio: Pasaia	11
5. ESTADO DEL ARTE	12
5.1. El cambio climático	12
5.1.1. Riesgos del cambio climático	12
5.1.2. Beneficios de la adaptación a los ecosistemas	15
5.2. Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)	17
5.2.1. Concepto	17
5.2.2. Soluciones basadas en la naturaleza en Europa	18
5.2.3. Soluciones basadas en infraestructura azul	19
5.3. Estrategias mediante NBS para la mitigación de los efectos del cambio climático	20
6. CASO DE ESTUDIO: PASAIA	23
6.1. Contexto territorial	23
6.1.1. Bahía de Pasaia	23
6.1.2. Morfología urbana	24
6.1.3. Morfología natural y vegetación	26
6.2. Contexto climático	26
6.2.1. T° medias anuales	27
6.2.2. Precipitación anual	27
6.2.3. Anomalías mensuales	28
6.3. Riesgos debidos al cambio climático	29
6.3.1. Definición de escenarios	29
6.3.2. Temperaturas extremas	30
6.3.2.1. Extremos de frío y previsiones futuras	30
Heladas anuales helada	30
Temperaturas más frías del día	31
6.3.2.2. Extremos calurosos y previsiones futuras	33
Número de días de verano, cálidos y muy cálidos	33
Número de noches cálidas	34
Temperatura máxima diaria	34
Días cálidos	36
Número de olas de calor	37
6.3.3. Precipitaciones extremas	37
6.3.3.1. Indicadores de sequía. Número de días secos seguidos	37
6.3.3.2. Indicadores de precipitaciones intensas y muy intensas	37
6.3.3.3. Precipitación máxima durante 5 días seguidos	38
6.3.4. Subida del nivel del mar por marea astronómica y meteorológica	38
6.3.5. Oleaje	41
6.3.6. Inundaciones fluviales	41
6.4. Soluciones basadas en la naturaleza en Pasaia	42
6.4.1. Problemas existentes y estrategias posibles mediante SBN Pasaia	42
6.4.2. Estrategias de SBN en Pasaia	46

6.4.3. Limitaciones y otras posibles estrategias	51
7. CONCLUSIONES	52
8. BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5- 1: Las soluciones basadas en la naturaleza como concepto paraguas y la relación de las NBS con los conceptos clave existentes. [17].	18
Figura 6- 1: Distribución territorial de la Bahía de Pasaia [Elaboración propia]	23
Figura 6- 2: Panorámica de la Bahía de Pasaia [60].	24
Figura 6- 3: Imagen aérea de Errenteria. [Elaboración propia]	24
Figura 6- 4: Imagen aérea de Lezo. [Elaboración propia]	25
Figura 6- 5: Imagen aérea de Oiartzun. [Elaboración propia]	25
Figura 6- 6: Imagen aérea de Pasaia. [Elaboración propia]	26
Figura 6- 7: Histórico y anomalías de las temperaturas medias en Pasaia [62].	27
Figura 6- 8: Histórico y anomalías de las precipitaciones en Pasaia [62].	28
Figura 6- 9: Anomalías mensuales de temperatura y precipitaciones en Pasaia [62].	29
Figura 6- 10: Días en los que la temperatura máxima (Tx) está por debajo de 0°C [63].	30
Figura 6- 11: Días en los que la temperatura mínima (Tn) está por debajo de 0°C [63].	30
Figura 6- 12: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para Tn<0°C [63].	31
Figura 6- 13: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para Tx<0°C [63].	31
Figura 6- 14: Valores mínimos para la temperatura máxima [63].	32
Figura 6- 15: Valores mínimos para la temperatura mínima [63].	32
Figura 6- 16: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el valor mínimo de la T° máxima [63].	32
Figura 6- 17: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el valor mínimo de la T° mínima [63].	33
Figura 6- 18: Días en los que la temperatura máxima (Tx) está por encima de 25°C [63].	33
Figura 6- 19: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para Tx>25°C [63].	34
Figura 6- 20: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para noches en las que Tn>20°C [63].	34
Figura 6- 21: Valores máximos de la temperaturas máximas [63].	35
Figura 6- 22: Valores máximos de las temperaturas mínimas [63].	35
Figura 6- 23: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los valores máximos de las T° máximas [63].	35
Figura 6- 24: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los valores máximos de las T° mínimas [63].	36
Figura 6- 25: Número de días cálidos [63].	36
Figura 6- 26: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el número de días cálidos [63].	36
Figura 6- 27: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para las olas de calor [63].	37
Figura 6- 28: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los días secos [63].	37
Figura 6- 29: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los días de precipitaciones intensas [63].	38
Figura 6- 30: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los días de precipitaciones muy intensas [63].	38
Figura 6- 31: (Izquierda) Escenarios RCP 4.5 y 8.5 de la subida del mar en el golfo de Vizcaya. (Derecha) Zonas afectadas por la subida del nivel del mar.[64]	39
Figura 6- 32: a) Mapa actual de la Bahía de Pasaia [65]. b) Escenario RCP 4.5 de la subida del mar en la Bahía de Pasaia [65]. c) Escenario RCP 8.5 de la subida del mar en la Bahía de Pasaia [65].	40
Figura 6- 33: Perfil de corte Errenteria – Lezo [65].	40
Figura 6- 34: Perfil de elevación Pasaia San Pedro - Pasaia San Juan [65].	41
Figura 6- 35: (Izquierda) Zonas afectadas por inundaciones fluviales en la CAPV [64]. (Derecha) Zonas afectadas por inundaciones fluviales en la Bahía de Pasaia [65].	42
Figura 6- 36: Zonas afectadas por el cambio climático. [Elaboración propia]	43
Figura 6- 37: Barrios Trintxerpe y Altza [67].	46
Figura 6- 38: Pasaje San Pedro [68] y Pasaje San Juan [69]	47
Figura 6- 39: Puerto de Pasajes [70][71].	48
Figura 6- 40: Río Oiartzun [72][73].	49
Figura 6- 41: Imagen aérea de la bahía tras la implantación de las estrategias. [Elaboración propia]	50

1. RESUMEN

Durante los últimos años, el aumento del cambio climático ha provocado grandes cambios en el planeta. Dichos cambios, pueden llegar desde, desastres naturales como sequías, hasta la falta de biodiversidad. Debido a ello, se han generado grandes problemas tanto sociales como económicos que han provocado la necesidad de realizar grandes cambios en la sociedad actual.

Uno de esos cambios ha sido la generación de sistemas urbanos que se adapten a la naturaleza. Esta adaptación, cuenta con la biodiversidad y los servicios ofrecidos por la naturaleza para ayudar a los seres humanos a afrontar los procesos provocados por el cambio climático. Cuenta con una gestión sostenible, la conservación de entornos naturales y la restauración de ecosistema para su utilización para conseguir servicios necesarios y así mitigar de cierta forma el efecto del cambio climático.

La adaptación al cambio climático basada en la naturaleza es hoy en día un factor clave en el avance urbanístico de grandes ciudades europeas como Copenhague o Brno, tal y como se mencionará más adelante. Varios estudios están siendo considerados para fomentar una gestión sostenible del entorno al mismo tiempo que se genera un crecimiento de las ciudades.

En el presente trabajo, se realizará un resumen del estado de las NBS en Europa junto con una breve explicación de sus tipos y beneficios. También se analizarán los distintos riesgos que trae el cambio climático. Por último, se realizará un análisis de distintas formas de mitigar dichos riesgos mediante soluciones basadas en la naturaleza.

Tras este análisis, el objetivo de este proyecto será observar los posibles efectos del cambio climático en la Bahía de Pasajes y proponer distintas soluciones mediante soluciones basadas en la naturaleza.

Palabras clave: Infraestructura azul y verde, Soluciones basadas en la naturaleza, cambio climático.

2. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se define como el cambio en los patrones climáticos causado principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero [1]. Dichas emisiones hacen que la atmósfera de la Tierra atrape el calor, lo que ha sido el principal motor del calentamiento global. Las principales fuentes son los sistemas naturales y las actividades humanas. En cuanto a los sistemas naturales, tenemos, los bosques, los terremotos, los océanos, el permafrost, los humedales, el barro y los volcanes [2].

Por otro lado, las actividades humanas están relacionadas predominantemente con la producción de energía, las actividades industriales y las relacionadas con la silvicultura, el uso de la tierra y el cambio de uso de la tierra. Hasta el momento, las actividades antropogénicas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C por encima del nivel preindustrial y es probable que alcance 1,5 °C entre 2030 y 2052 si persisten las tasas de emisión actuales [1].

El cambio climático ya está afectando a los ecosistemas europeos y se espera que suponga nuevas amenazas para la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas en el futuro. Los efectos previstos están relacionados con el establecimiento de especies vegetales exóticas, la degradación de los hábitats la disminución de la distribución de especies autóctonas mal adaptadas al calor y la sequía, y la escasez de agua [3].

En 2018, el mundo se encontró con 315 casos de catástrofes naturales relacionadas principalmente con el clima. Aproximadamente 68,5 millones de personas se vieron afectadas y las pérdidas económicas ascendieron a 131.700 millones de dólares, de los cuales las tormentas, los alimentos, los incendios forestales y las sequías representaron aproximadamente el 93% [1].

Por lo tanto, el cambio climático también tiene un impacto significativo en la sociedad, y los efectos más considerables son en las zonas urbanas. Los principales riesgos incluyen, por ejemplo, los efectos de olas de calor y otros fenómenos extremos (por ejemplo, fuertes precipitaciones, crecidas de ríos, tormentas de viento deslizamientos de tierra, sequías, incendios forestales, avalanchas, granizo etc.), los cambios en los patrones de las enfermedades infecciosas y los impactos en la producción de alimentos y en el suministro de agua dulce [3]. Los alimentos, el agua, la salud, el ecosistema, el hábitat humano y las infraestructuras han sido identificados como los sectores más vulnerables bajo el ataque del clima. Por todo ello, en 2015, se introdujo el acuerdo de París con el objetivo principal de limitar el aumento de la temperatura global a 2 °C para 2100 y proseguir los esfuerzos para limitar el aumento a 1,5 °C [1].

La adaptación al cambio climático basada en los ecosistemas cuenta con la biodiversidad y los servicios obtenibles de los ecosistemas para ayudar a los seres humanos a afrontar y a adaptarse a dicho problema. Esta adaptación incluye una gestión sostenible, junto con la conservación y la restauración de ecosistemas para proporcionar servicios que puedan ayudar a las personas a adaptarse al cambio; contribuyendo así a reducir la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia a los riesgos climáticos al mismo tiempo que proporciona múltiples beneficios a la sociedad y al medio ambiente [4].

En resumen, el concepto de soluciones basadas en la naturaleza encarna nuevas formas de enfocar la adaptación socioecológica y la resiliencia, con igual dependencia de los ámbitos social ambiental y económico [5].

3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO

Hoy en día, la sociedad se está enfrentando a crisis globales urgentes que dependen del cambio climático y que provocarán importantes impactos a medida que pasan los años. Dichos fenómenos, mencionados anteriormente, podría tener impactos negativos en la economía, salud y bienestar humanos.

También se espera que la mayoría de los impactos del cambio climático aumenten en las próximas décadas. Esto, provocará una mayor disminución de la biodiversidad y una mayor degradación de los ecosistemas. Además, esta disminución de calidad y cantidad de los ecosistemas empeora el cambio climático. Los climas extremos, la pérdida de biodiversidad y las catástrofes naturales, se han identificado entre los mayores riesgos globales según el informe "The global risks report 2021" [6] del Foro Económico Mundial. En éste informe, se realizará una investigación sobre cómo la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas pueden proporcionar vías para apoyar la adaptación al cambio climático (ACC) y la reducción del riesgo de desastres (RRD). Trabajar con la naturaleza, implica utilizar soluciones basadas en la naturaleza (NBS), que al gestionarla de forma sostenible, puede reducir la degradación de ecosistemas y el riesgo de catástrofes [7].

El objetivo de este proyecto es observar el efecto que provocan las soluciones basadas en la naturaleza en la mitigación del cambio climático a través del análisis de otros trabajos y su aplicación a un caso de estudio.

El estado del arte, estará compuesto por diferentes apartados, que servirán de introducción al cambio climático y a los beneficios estudiados de las soluciones basadas en la naturaleza para mitigar sus efectos. De este modo, será posible realizar una lista de los usos más comunes de las SBN y así seguir al análisis del caso de estudio en la Bahía de Pasaia ya que el principal objetivo del estudio, consiste en utilizar soluciones basadas en la naturaleza como estrategias para mitigar el efecto del cambio climático en Pasaia.

4. METODOLOGÍA

La metodología seguida para realizar este trabajo se puede dividir principalmente en dos partes: el estado del arte donde se realiza un estudio bibliográfico para definir las soluciones basadas en la naturaleza y su actualidad en el ámbito de la mitigación del cambio climático; y el caso de estudio en Pasaia donde se realiza un análisis del estado de la zona y las previsiones futuras para ofrecer después una serie de estrategias que ayuden a mitigar el efecto.

4.1. ESTADO DEL ARTE

El esquema seguido para realizar el estado del arte es el siguiente:

Tabla 4- 1: Organigrama del estado del arte. [Elaboración propia]

Estado del arte					
El cambio climático		Soluciones basadas en la naturaleza			Estrategias mediante SBN para la mitigación de los efectos del cambio climático
Riesgos del cambio climático	Beneficios de la adaptación a los ecosistemas	Concepto	Soluciones basadas en la naturaleza en Europa	Soluciones basadas en infraestructura azul y verde	

Primero, se ha analizado el problema principal planteado durante el estudio, el cambio climático. Para ello, se han analizado los principales riesgos que pueden darse en las zonas costeras y después, se ha hecho un estudio bibliográfico de diferentes artículos que proponen una adaptación a los ecosistemas para mitigar el efecto de dicho problema.

Después, para analizar métodos para la adaptación mencionada, se han tratado las soluciones basadas en la naturaleza; en qué consisten, cual es su situación actual en Europa y cuáles serían las soluciones basadas en infraestructura verde y azul para su uso en el caso de estudio posterior.

Tras dicho análisis, se han enumerado diferentes estrategias y agrupado para definir cuál de los riesgos anteriormente presentados puede ser mitigado por cada una de las soluciones.

4.2. CASO DE ESTUDIO: PASAIA

Tras haber elaborado la parte más teórica del estudio, se procede al caso de estudio. Para ello, se ha dividido el análisis en _ partes como se ve a continuación:

Tabla 4- 2: Organigrama del caso de estudio en Pasaia. [Elaboración propia]

Caso de estudio: Pasaia	Contexto territorial	Bahía de Pasaia Morfología urbana Morfología natural y vegetación
	Contexto climático	Tº medias anuales Precipitación anual Anomalías mensuales
	Riesgos debidos al cambio climático	Definición de escenarios Temperaturas extremas Precipitaciones extremas Subida del nivel del mar Oleaje Inundaciones fluviales
	Soluciones basadas en la naturaleza en Pasaia	Problemas existentes y estrategias mediante SBN Estrategias de SBN en Pasaia Limitaciones y otras posibles estrategias

Primero, se ha realizado un análisis del contexto tanto territorial como climático de la zona estudiada. Se ha definido el lugar y los diferentes barrios o pueblos que lo conforman y se han observado las tendencias históricas del clima.

Tras dicho análisis, se han descrito los diferentes escenarios de previsión analizados y se ha realizado un estudio de los cambios posibles en cuanto a clima y oleaje. De este modo, se han obtenido los riesgos posibles en la zona, y utilizando la lista de estrategias realizada en el estado del arte, se han reducido las estrategias posibles en el lugar. Para completar el objetivo del estudio, se han propuesto diferentes estrategias mediante soluciones basadas en la naturaleza para cada zona afectada.

Por último, se enumeran diferentes limitaciones encontradas durante el proceso relacionadas con los datos que se pueden obtener o con la implantación de soluciones basadas en la naturaleza.

5. ESTADO DEL ARTE

5.1. EL CAMBIO CLIMÁTICO

5.1.1. Riesgos del cambio climático

En este apartado, se analizarán los mayores riesgos existentes en la CAPV debido al cambio climático.

- Recursos hídricos: Menos aporte de agua y aumento del área inundable

Se esperan reducciones en el aporte de agua en invierno y primavera entre un 6-13% y por ello, disminuye la garantía de los sistemas de abastecimiento [8]. También se esperan variaciones en el régimen hídrico lo que aumentará los efectos de la falta de agua a la salud de la población. El aumento de las precipitaciones extremas, además de provocar inundaciones, favorecerá el desencadenamiento de grandes deslizamientos y coladas de tierra [9][10]. Al mismo tiempo, aumentará el caudal de los ríos en un 20% y sus áreas inundables en un 3%. Esto, provocará pérdidas económicas de un 15% por inundación para el 2050.

Se ha analizado éste efecto en la cuenca del río Nervión; las precipitaciones máximas crecerán en un 14% hasta 2050, esto aumentará su caudal pico y su zona inundable [8].

- Calentamiento de la temperatura del agua y ascenso del nivel del mar

Para finales del s. XXI, la temperatura del mar en la costa vasca aumentará de 1,5 a 2,05 °C en los primeros 100 metros de profundidad [12]. El nivel del mar subirá entre 19 y 49 cm. Para el Golfo de Bizkaia la proyección apunta a que el agua de mar tendrá un pH próximo a 7,85 y una presión parcial de CO₂ de 700 ppm [8].

- Aumento de las temperaturas mínimas en invierno y de las máximas en verano

Para finales del s. XXI, se espera que las temperaturas mínimas extremas se incrementen entre 1 y 3 °C durante los meses de invierno. La media de las temperaturas mínimas extremas del periodo 1978-2000 fue de -2,35 °C, mientras que para el periodo 2070-2100 se prevé que sea de -1.84 °C. Es decir, estas temperaturas muestran un incremento medio de 0.51 °C [12].

El número de días helados disminuirá un 50%. Desaparición del fenómeno de 'olas de frío' (episodios de entre 7 y 19 días) a partir de 2020 [11].

Para finales del s. XXI, las temperatura máximas extremas aumentarán 3 °C durante los meses de verano. A consecuencia de los cambios, se esperan olas de calor más largas y un ligero aumento de su frecuencia. Durante el periodo 1978-2000, solo el 10% de los días de verano se inscribían en periodos de olas de calor. Sin embargo, entre los años 2020 y 2050 las olas de calor pueden suponer el 30% de los días de verano, pudiendo llegar al 50% a finales de siglo [8].

- Disminución de las lluvias entre un 15 y 20% para finales de siglo

Se prevé una disminución de las precipitaciones entre un 15 y 20% para finales de este siglo. Las precipitaciones aumentarán durante los meses de invierno entre un 5 y 20% y disminuirán en los meses de verano entre un 30 y 50%. Disminuirá la frecuencia de días de lluvia moderada y aumentará el número de días de lluvia muy intensa [11].

- Medio urbano: Las temperaturas máximas y mínimas aumentarán en las ciudades

Para el período 2071-2100, aumentarán las temperaturas máximas entre 4 y 5 °C, y las mínimas entre 3 y 4 °C en las tres capitales vascas. Se incrementará el número de días en los que se superará los 35 °C en las tres capitales, que serán en torno a 10 días por año. Las olas de calor serán más largas y calurosas.

Para el período 2071-2100, las temperaturas mínimas de Donostia-San Sebastián y Vitoria-Gasteiz subirán de 2,9 °C, mientras que en Bilbao la subida será de 3,6 °C. Los días con temperaturas inferiores a 0 °C se reducirán: en Vitoria-Gasteiz se pasará de los 30 actuales a 8,5 días; en Donostia-San Sebastián y Bilbao se pasará de los 8-9 actuales a 1 o 2 días. Habrá menos episodios de 'ola de frío' pero su duración será mayor.

Cuarenta municipios de la CAPV, en los que reside casi el 80% de la población, se verán afectados por eventos climáticos extremos: inundaciones, subida del nivel del mar y olas de calor. Ocho municipios pueden sufrir estos tres impactos: Bilbao, Donostia-San Sebastián, Getxo, Santurtzi, Erandio, Bermeo, Errenteria y Zarautz, que acogen al 34% de la población [8].

- Zonas costeras: Los mayores impactos se derivan del ascenso del nivel medio del mar

El ascenso del nivel del mar máximo proyectado para la costa vasca es de 49 cm para finales de este siglo. Este ascenso aumenta el riesgo de inundación en zonas urbanas costeras y portuarias. Los acuíferos costeros, que en ocasiones sirven de abastecimiento de las poblaciones cercanas, podrían sufrir contaminación por agua salada [12]. El área total afectada en Gipuzkoa por el ascenso del nivel medio del mar se estima en 110 hectáreas, y en 12 hectáreas en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai.

Puertos como el de Ondarroa, Deba y Zumaia se encuentran a una altura de menos de 30 cm sobre la pleamar máxima prevista para finales de siglo. Por tanto, estos puertos serían fácilmente rebasables [8].

Las playas y arenas constituyen uno de los elementos más vulnerables al ascenso del nivel del mar, que provocará un retroceso del 25% al 40% de su anchura. Las playas de Zarautz y Gaztetape (Getaria) se verían muy afectadas para su uso turístico, ya que perderían su ya escasa superficie de arena seca durante la pleamar. Destaca el impacto en la playa de Laida (Reserva de Urdaibai), que puede alcanzar 47 metros de retroceso [8].

- Ecosistemas y recursos marinos: Incremento de la temperatura del agua del mar entre 2 y 3 °C

La temperatura del agua del mar es una variable clave para la biodiversidad, los ecosistemas y recursos marinos, ya que las especies marinas están generalmente adaptadas a rangos muy específicos de temperatura [13]. La costa vasca cuenta con una flora y fauna de carácter más meridional que otras regiones próximas atlánticas, por lo que el incremento de la temperatura puede tener consecuencias más graves. Para finales

de siglo, se espera un incremento de la temperatura del agua del mar entre 2,1 y 3 °C en los estuarios vascos durante los meses de verano [8].

Un 6,5% de la superficie actual de humedales y marismas podría verse afectada por el ascenso del nivel del mar. Como consecuencia, los humedales, marismas y otras comunidades intermareales –como las praderas de fanerógamas- podrían migrar de forma natural hacia el interior, aunque en muchos casos esta migración se verá impedida por barreras artificiales y naturales [8].

La progresiva acidificación del mar provocará una reducción extrema del crecimiento en invertebrados provistos de concha -como mejillones y lapas- o de caparazón -como erizos de mar y bellotas- [13].

- Ecosistemas terrestres: Incremento de la flora alóctona e invasora, sobre todo en el Gran Bilbao

Es previsible que la flora alóctona incremente su presencia en el País Vasco, al verse favorecida por el incremento de las temperaturas. Por otro lado, una disminución de las precipitaciones estivales aumentaría la superficie de zonas sometidas a sequía estival y dificultaría el establecimiento y expansión de muchas especies alóctonas actuales, pero podría favorecer a especies de origen mediterráneo [8][13].

La comarca del Gran Bilbao es la que presenta un mayor nivel de invasión, aunque un aumento de la temperatura (sobre todo invernal) podría favorecer la expansión de algunas especies a otras comarcas.

En ecosistemas estuáricos la especie alóctona de mayor capacidad invasora es *Baccharis halimifolia*. Su presencia disminuiría al aumentar el grado de salinidad y encharcamiento y podría estar condicionada en el futuro por un cambio en la cuantía y distribución de las precipitaciones [8].

El papel de los ecosistemas terrestres como sumideros de carbono puede verse seriamente comprometido durante las próximas décadas [13].

- Recursos edáficos: Aceleración de los procesos de degradación del suelo

Los suelos están sujetos a diferentes procesos de degradación (naturales y antrópicos) como la erosión, la pérdida de materia orgánica, la contaminación, la salinización, la pérdida de biodiversidad, deslizamientos de tierras, etc. Dichos procesos podrían verse acelerados por el cambio climático, ya que la temperatura, la precipitación, así como las propiedades químicas de la atmósfera inciden directamente en los procesos relacionados con el suelo [13].

- Recursos agrarios: El cambio climático tendrá efectos contrapuestos según los distintos cultivos

El incremento en la temperatura del aire, la concentración de CO₂, una menor disponibilidad de agua al disminuir las precipitaciones, así como los cambios en la temperatura del aire y del suelo tendrá efectos contrapuestos, pudiendo ser beneficiosos o dañinos para los diferentes sistemas agrarios. Se prevén cambios en los ciclos productivos de los cultivos, con variaciones de las épocas de floración y maduración de los frutos [14].

Se dará un incremento del rendimiento de ciertos cultivos, como el trigo de invierno y la vid. En el caso de la vid, el aumento de la temperatura conllevará una menor acidez

total, lo que afectará negativamente a la calidad de los vinos. Los vinos tendrán mayor grado alcohólico con elevado PH, menor acidez total y menos aroma.

Se prevé un descenso de la capacidad de carga de los pastos de montaña, ofreciendo menor cantidad de hierba pero de mejor calidad y de mayor aprovechamiento por parte del ganado ovino. Sin embargo, la menor cantidad de hierba perjudicará especialmente al ganado vacuno [14][8].

- Recursos forestales: "Mediterraneización" de los ecosistemas forestales vascos

La variación prevista en las precipitaciones y el aumento térmico podrían, a priori, facilitar la 'mediterraneización' de los ecosistemas forestales del País Vasco, comportando cambios en la composición específica de los mismos [15].

Las predicciones muestran un impacto significativo en tres especies representativas de las masas forestales vascas: roble común (*Quercus robur*), haya común (*Fagus sylvatica*) y pino insigne (*Pinus radiata*). Se espera la desaparición casi total de sus nichos para el año 2080 y un desplazamiento progresivo de los mismos hacia el norte de Europa a lo largo del presente siglo [8].

El aumento de episodios extremos (tormentas, vendavales, ciclogénesis explosivas, etc.) incrementarán de manera significativa el volumen anual de madera dañada por perturbaciones naturales.

El equilibrio entre las plagas de insectos y sus enemigos naturales se verá afectado. El aumento de la temperatura favorecerá, en general, el desarrollo de los insectos y su supervivencia durante el invierno.

Las masas forestales desempeñan un papel esencial como sumideros de carbono y regulan la permeabilidad del suelo. Por tanto, las políticas forestales tendrán que tener en cuenta las condiciones ambientales del futuro inmediato para que los bosques sigan siendo grandes sumideros de CO₂ y contribuyan a recoger el agua de la lluvia [15].

- Salud: Olas de calor y episodios respiratorios

El aumento de las temperaturas supondrá un empeoramiento de la calidad del aire, especialmente en los meses de verano, lo que tendrá un impacto negativo sobre la salud. Se producirá un aumento de la morbilidad por olas de calor y un aumento de los episodios agudos respiratorios, especialmente de las alergias. Se trata de dos problemas que se verán agravados por el progresivo envejecimiento de la población [13].

El impacto sobre la salud conlleva un impacto económico derivado del aumento de las inversiones en materia de dependencia y del mayor gasto en necesidades médicas y hospitalarias [13].

5.1.2. Beneficios de la adaptación a los ecosistemas

El clima de la Tierra tal y como se ha mencionado anteriormente, está cambiando. La gestión medioambiental en un clima cambiante será muy compleja debido a la mayor escasez y a la mayor competencia por los recursos naturales, como el agua. Estos nuevos retos alteran el papel de los gestores y planificadores de recursos naturales. Tendrán que incorporar la planificación del uso del suelo con los organismos azul-verde para diseñar un entorno compatible con el clima futuro previsto [16].

Las ciudades, responsables de más del 70% de las emisiones mundiales de CO₂, contribuyen en gran medida al cambio climático. Conscientes de ello, los planes de adaptación y mitigación del cambio climático en las ciudades se desarrollan cada vez más para avanzar en la mejora de la resiliencia climática [17]. El uso creativo de la Infraestructura Azul-Verde es una de las acciones más prometedoras para la adaptación a las circunstancias humanas y ambientales que cambian rápidamente. Sobre todo, el desarrollo de este importante concepto puede ser un componente clave para:

- Mitigar los impactos climáticos observados y probables en el futuro
- Asegurar el agua para el desarrollo regional y agrícola
- Crear puestos de trabajo para zonas urbanas/regionales.

Los múltiples beneficios de la adopción de la BGI abarcarán tanto a escala local/regional como global/internacional. He aquí algunos beneficios de los BGI:

- Pueden ser un motor para la biodiversidad gracias a que mejora la conectividad terrestre y asegura las ecologías marinas.
- Proporciona almacenamiento de aguas subterráneas, estabilidad para los sistemas hídricos, mejora de la calidad del agua, y la purificación del agua, es un servicio de red muy vital relacionado con el agua.
- Mitiga el impacto del cambio climático y mejora los sistemas de gestión del agua, por lo que es una herramienta muy importante para diseñar regiones resistentes y mejorar la flexibilidad y adaptabilidad de las infraestructuras.
- Asegura el espacio para las actividades sociales, de ejercicio y recreativas, de este modo, suele mejorar la salud física y mental de las personas; por lo tanto, también puede ahorrar costes sanitarios.
- Vinculan a las personas con la naturaleza, y pueden apoyar la relación de los seres humanos con la naturaleza, ya que vinculan a las personas con las formas, características o procesos naturales
- Disminuyen los efectos del calentamiento global, moderan la temperatura y proporcionan ventilación.
- Mejora el uso del espacio abierto/protegido para la reunión de las familias y las actividades de grupo, y por lo tanto, proporciona colaboración social.
- Disminuye los costes financieros de las aguas pluviales de forma integral y a largo plazo.
- Enriquece el crédito de una región, ya que da pistas sobre la habitabilidad y el atractivo general de una región

Mejora el atractivo estético y social del entorno y de este modo, aumentará el valor de las propiedades (terrenos y edificios) [18].

5.2. SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SBN)

5.2.1. Concepto

Las soluciones basadas en la naturaleza (NBS) fueron descritas por primera vez en el informe final del Grupo de Expertos de Horizonte 2020. La Comisión Europea define las NBS como "soluciones inspiradas y apoyadas por la naturaleza, que son rentables, proporcionan simultáneamente beneficios ambientales, sociales y económicos y ayudan a crear resiliencia. Tales soluciones aportan más, y más diversa, naturaleza y características y procesos naturales en las ciudades, los paisajes terrestres y marinos, a través de intervenciones adaptadas localmente, eficientes en cuanto a recursos y sistémicas" [19]. Esta definición incluye la idea de que las NBS deben beneficiar a la biodiversidad y apoyar la prestación de una serie de servicios de los ecosistemas.

Asimismo, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) define las NBS como "acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar los ecosistemas naturales o modificados, que abordan los retos de la sociedad de forma eficaz y de forma adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad" [20].

El concepto de NBS, como describían Escobedo et al. (2019) [21], es la evolución de términos utilizados anteriormente para expresar ideas similares: silvicultura urbana (UF); infraestructura verde y azul (GI, BI); y servicios de los ecosistemas (ESS).

Eisenberg et al. (2020) [22] y Ruangpan et al. (2020) [23] identifican otros conceptos y prácticas que pueden incluirse ampliamente en el ámbito de las ENB: la adaptación basada en los ecosistemas (EbA), la reducción del riesgo de desastres basada en los ecosistemas (Eco-DRR), la infraestructura azul-verde (BGI), el desarrollo de bajo impacto (LID), las mejores prácticas de gestión (BMP), diseño urbano sensible al agua (WSUD), sistemas de drenaje urbanos sostenibles (SuD) y la ingeniería ecológica (EE).

Con respecto a las NBS, estos conceptos existentes son aplicables en las dimensiones estratégica, de planificación y de rendimiento (Figura 5- 1)

Se han podido ver recientemente muchas iniciativas que utilizan tecnologías e infraestructuras resistentes al clima; pero, cada vez es más reconocido el papel de los mismos ecosistemas. Un ecosistema sano puede proporcionar agua potable, un buen hábitat, alimentos y materias primas, barreras contra desastres... Por otro lado, los ecosistemas son más baratos de mantener que las tecnologías y a menudo, son más eficaces. Además, ecosistemas como bosques, humedales o arrecifes están más preparados para adaptarse al cambio climático y soportar fenómenos meteorológicos extremos [4].

Por lo tanto, la adaptación al cambio climático basada en los ecosistemas ofrece un medio de adaptación al alcance de todos y que puede integrarse en la adaptación basada en la comunidad [4].

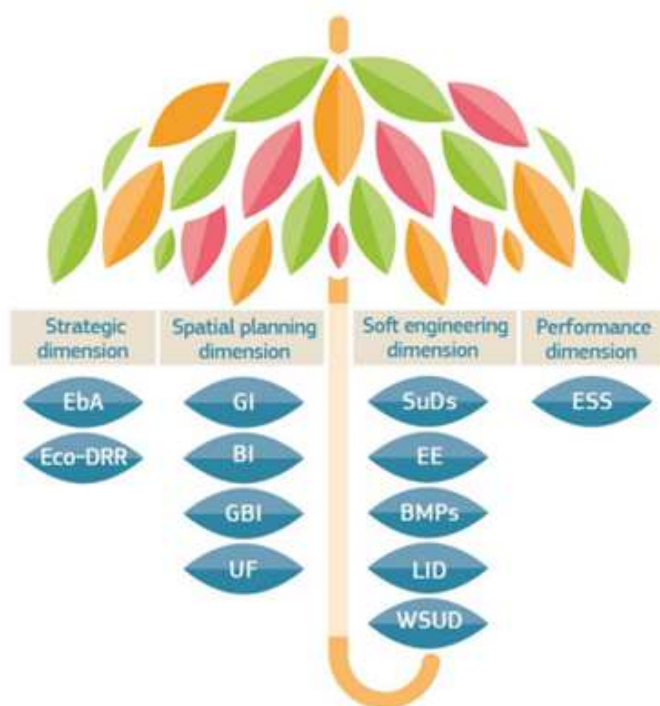


Figura 5- 1: Las soluciones basadas en la naturaleza como concepto paraguas y la relación de las NBS con los conceptos clave existentes. EbA = adaptación basada en los ecosistemas; Eco-DRR = reducción del riesgo de desastres basada en los ecosistemas; GI = infraestructura verde; BI = infraestructura de pistas; GBI = infraestructura verde-azul; UF = silvicultura urbana; SuDs = sistemas de drenaje urbano sostenible; EE = ingeniería ecológica; BMPs = mejores prácticas de gestión; LID = diseño de bajo impacto; WSUD = diseño urbano sensible al agua; ESS = servicios ecosistémicos [21].

5.2.2. Soluciones basadas en la naturaleza en Europa

La mayoría de los impactos del cambio climático se espera que aumenten en las próximas décadas en toda Europa, basándose en los cambios previstos en el clima y en la evolución socioeconómica [24]. Con la aceleración del cambio climático, la gravedad y la frecuencia de los peligros múltiples están aumentando en Europa [25]. Al mismo tiempo, la biodiversidad mundial está disminuyendo y los ecosistemas se están degradando debido al aumento de las actividades humanas [26][27], lo que socava la prestación de servicios de los ecosistemas, fundamentales para la salud y el bienestar humanos. La disminución de la calidad y la cantidad de los servicios de los ecosistemas, a su vez, agrava el cambio climático, que ya es el tercer motor mundial de la pérdida de biodiversidad [27].

Recientemente, a escala europea, se han puesto en marcha iniciativas de investigación e innovación para abordar los retos y las opciones de NbS, en relación con la adaptación al cambio climático y la reducción del riesgo de desastres, incluyendo varios proyectos de investigación de Horizonte 2020. Faivre et al. (2017) [28] muestran que las NbS para la ACC y la RRD pueden proporcionar múltiples beneficios (por ejemplo, protección de los ecosistemas, mitigación del cambio climático, salud y bienestar humanos) y pueden ser medidas rentables.

La definición de la Comisión Europea de las NbS las reconoce como: soluciones a los retos de la sociedad que se inspiran y apoyan en la naturaleza, que son rentables, proporcionan simultáneamente beneficios ambientales, sociales y económicos y

contribuyen a aumentar la resiliencia. Estas soluciones aportan más y más diversa naturaleza y características y procesos naturales a las ciudades, los paisajes terrestres y marinos, a través de intervenciones adaptadas localmente, eficientes en cuanto a recursos y sistémicas. Las soluciones basadas en la naturaleza deben beneficiar a la biodiversidad y apoyar la prestación de una serie de servicios ecosistémicos [28].

Las NbS abarcan un amplio abanico de acciones, como la protección y gestión de los ecosistemas naturales y seminaturales, la incorporación de BGI en las zonas urbanas y la aplicación de los principios basados en los ecosistemas a los sistemas agrícolas [29]. El concepto se basa en el enfoque ecosistémico: el conocimiento de que los ecosistemas naturales y gestionados de forma saludable producen una amplia gama de servicios de los que depende el bienestar humano, desde el almacenamiento de carbono, el control de las inundaciones y la estabilización de las costas y laderas hasta el suministro de aire y agua limpios, alimentos, combustible, medicinas y recursos genéticos.

Se considera que las personas y la sociedad no son solo beneficiarios pasivos de los beneficios de la naturaleza, sino actores clave que pueden proteger, gestionar o restaurar proactivamente los ecosistemas naturales como una contribución decidida y significativa para abordar los principales retos de la sociedad. El concepto de NbS surgió en la década de 2000 como una forma de promover la naturaleza para ayudar a afrontar los retos asociados al cambio climático, y fue apoyado y ampliado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) [30].

5.2.3. Soluciones basadas en infraestructura azul

La adaptación basada en ecosistemas, tiene una gran variedad de actividades de gestión de ellos. Aunque, existe poca experiencia en la integración de los SUDS en las zonas urbanas existentes y a mayor escala, abarcando cuencas de alcantarillado o ciudades enteras [31].

La infraestructura azul puede realizarse a distintas escalas, desde iniciativas a escala de los edificios, a la escala de los recintos o a las características regionales. Independientemente de la escala, estos sistemas suelen tener las siguientes características en común:

- Vegetación, que proporciona un entorno agradable y un hábitat.
- Suelo, con un volumen adecuado, contenido de nutrientes y características de drenaje.
- Una conexión con el suministro de agua de lluvia, aguas pluviales o agua reciclada, con una frecuencia y cantidad suficiente para mantener la vegetación y la salud del suelo.

Estos son algunos ejemplos de implementación de infraestructura azul:

- Aprovechamiento de cuencas y llanuras fluviales, acuíferos y su vegetación para proporcionar servicios de almacenamiento de agua y regulación de inundaciones.[4]
- Restauración de hábitats costeros como manglares. Éstas prácticas pueden ser medidas eficaces contra tormentas, intrusión salina y erosión costera.[4]

- Los huertos de cultivo. Son lechos de jardín diseñados para capturar, retener y tratar las aguas pluviales a medida que se filtran a través del antes de que se descargue en la base del sistema, ya sea en los en los suelos circundantes o en la red local de aguas pluviales .
- Pantanos. Son canales abiertos poco profundos y con vegetación que transportan y tratan las aguas pluviales. La vegetación puede variar desde el césped cortado hasta los juncos.
- Los estanques y los lagos son masas de agua abiertas diseñadas para retener agua de forma permanente. Pueden ser alimentados por un suministro de aguas pluviales o de agua reciclada. La vegetación puede incluirse alrededor del borde o en secciones poco profundas.
- Los humedales son masas de agua con mucha vegetación. Estos sistemas pueden ser elementos naturales del paisaje o pueden construirse para tratar las aguas pluviales. Pueden aparecer como sistemas naturales o integrarse como elementos de borde duro en zonas urbanas [32].
- Recogida de aguas pluviales. Una correcta recogida de agua de lluvia, mediante depósitos individuales o comunitarios recogiendo el agua de los tejados, los arroyos temporales y otras fuentes de fácil acceso, puede dar lugar a un agua de alta calidad con poca necesidad de de tratamiento, pero depende obviamente de las condiciones climáticas estacionales y es una fuente que puede ser particularmente vulnerable al cambio climático. China ha desarrollado la recogida de agua de lluvia en la provincia de Gansu y es importante en el noreste de Tailandia [33].

Uno de los mayores retos de las zonas urbanas hoy en día, es la gestión de aguas pluviales. Este proceso comprende tanto retos como potencialidades. Por un lado, los retos de reducir los riesgos de inundación a la luz de la densificación urbana y de los eventos de lluvia más intensos que se prevén como resultado del cambio climático. Por otro, las potencialidades de utilizar el agua como un recurso para el suministro, la recreación y la promoción de la identidad espacial [34]. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) tratan de imitar el ciclo natural del agua mediante la retención, infiltración y transpiración de las aguas pluviales en el entorno urbano y pueden crear potencialmente una sinergia con otros objetivos de desarrollo urbano [35].

5.3. ESTRATEGIAS MEDIANTE NBS PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En la siguiente tabla se pueden observar los principales efectos del cambio climático relacionados con el agua, y algunas de las estrategias posibles para mitigar sus efectos mediante el uso de Soluciones Basadas en la Naturaleza:

Tabla 5- 1: Riesgos del cambio climático y estrategias para la mitigación de su efecto [Elaboración propia].

Riesgo	Ejemplo de problema	Estrategias
Sequía	Riesgo de reducción de la disponibilidad de recursos hídricos para uso doméstico y en el sector servicios. Riesgo de reducción de la disponibilidad de recursos hídricos, por incremento la intensidad y frecuencia de las sequías, para usos agrícolas e industriales. Riesgo de aumento de la superficie de zonas áridas y semiáridas por desertificación.	Recogida de aguas pluviales [36]
		Zonas inundables [39]
		Restauración-recuperación de humedales [40][41][42]
		Construcción de humedales artificiales [43][44]
		Espacios verdes (aumentar bio-retención e infiltración) [38]
Exceso de agua	Riesgo de incremento de inundaciones fluviales y pluviales.	Restauración de riberas (incluyendo corredores de ribera) [45][46]
		Revegetación (incluyendo reforestación y conversión forestal) [47][48]
		Restauración de riberas (incluyendo corredores de ribera) [45][46]
		Reconexión de ríos y llanuras de inundación [39]
		Establecimiento de desviaciones de inundaciones [39]
		Restauración-recuperación de humedales [40][41][42]
		Espacios verdes (aumentar bio-retención e infiltración) [38]
Contaminación de agua	Riesgo de incremento de la eutrofización (por exceso de nitrógeno y fósforo) y/o deterioro de la calidad del agua.	Pavimentos permeables [37]
		Restauración-recuperación de humedales [40][41][42]
Temperaturas extremas	Riesgo de olas de calor o frío por las situaciones extremas del clima	Revegetación (incluyendo reforestación y conversión forestal) [47][48]
		Espacios verdes (aumentar bio-retención e infiltración) [38]
Subida del nivel del mar y eventos marinos extremos	Riesgo en las viviendas, infraestructuras industriales, energéticas y detransporte y servicios en las zonas costeras Eventos meteorológicos extremos Inundaciones costeras por aumento del nivel del mar Intrusión salina en ríos y acuíferos o la subida del nivel freático.	Restauración de riberas (incluyendo corredores de ribera) [45][46]
		Restauración de humedales, manglares y marismas como zonas de protección frente eventos extremos, retenedoras de sedimentos y para potenciar su valor ecológico. [40][41][42]
		Arrecifes artificiales para aumentar la biodiversidad y disminuir la energía del oleaje. [49][50][51]
		Restauración de vegetación en dunas para estabilizarlas, retener arena y mitigar la erosión costera. [52]

6. CASO DE ESTUDIO: PASAIA

En esta sección se analizará el estado actual de la bahía de Pasaia. Para ello, se realizará un diagnóstico del estado actual del lugar, historia y problemática actual de mareas e inundaciones. Después se analizarán los daños que podrá crear la subida del nivel del mar: cuánto subirá, en cuanto tiempo y cómo afectará a la zona.

6.1. CONTEXTO TERRITORIAL

6.1.1. Bahía de Pasaia

La Bahía de Pasaia se encuentra comprendida en el área metropolitana de Donostia, siendo un territorio con un urbanizado continuo constituido por diferentes municipios: Donostia, Pasaia, Rentería y Lezo [53]. Siendo un accidente natural resultado de la desembocadura del río Oiartzun, ofrece a la zona unas condiciones excepcionales en un mar tan bravío como es el mar Cantábrico en el Golfo de Bizkaia [54].



Figura 6- 1: Distribución territorial de la Bahía de Pasaia [Elaboración propia].

La bahía tiene una superficie de 100km² sobre el que se asienta una población de 92504 habitantes en 2021 [55][56][57][58][59]. Es un territorio densamente poblado que ha dejado el puerto en una posición central.

El puerto, que cuenta con una superficie de 77,44 ha de los términos municipales de Pasaia, Erretereria y Lezo, se trata de un puerto natural, aislado del oleaje del mar Cantábrico y comunicado con este mediante un estrecho canal natural [54]. En su parte más ancha, dicho canal no supera los 80m y tiene una forma bastante sinuosa. A sus dos lados, la ría la protegen el monte Ulía (oeste) y Jaizkibel (este).



Figura 6- 2: Panorámica de la Bahía de Pasaia [60].

Los municipios que rodean la bahía de Pasaia, conforman una de las zonas más problemáticas de toda Euskadi desde el punto de vista demográfico, infraestructural, estructural y social [53]. En este caso, el estudio estará relacionado con uno de los problemas que más se tratan en todo el mundo: el cambio climático. Al estar este territorio tan relacionado con el mar, la subida del nivel provocada por el calentamiento global tendrá un efecto directo en esta zona.

6.1.2. Morfología urbana

Algunos de los problemas que presenta la Bahía de Pasaia en cuanto a la morfología urbana, son por ejemplo las grandes superficies que atraviesan las infraestructuras de comunicación como la A-8, N-1 o las vías de tren. La contaminación de aguas también supone un importante problema junto con la acumulación de sedimentos debido a la estructura de puerto “confinado” y una baja tasa de renovación. Todo ello, unido al ruido que conlleva, hace de la bahía de Pasaia un lugar que tiene tanto, necesidades como oportunidades de cambio [54].

Estos problemas provocaron en sus habitantes una tendencia a buscar vivienda en zonas más alejadas de la bahía por razones tanto infraestructurales como económicas. Esto produjo entre los años 50 y 60, que esta zona se convirtiera en un lugar con menor poder adquisitivo, que soporta mayor precariedad laboral y con un gran crecimiento por un fuerte movimiento de población inmigrante [54].

Errenteria, barrio del valle de Oiartzun, tiene por límite una fábrica (La Papelera). Aquí se puede ver como la fábrica ha llevado a la ciudad a crecer en otras direcciones teniendo como tión de fondo La Papelera, las vías de tren y el río, que ayudan a crear el límite.



Figura 6- 3: Imagen aérea de Errenteria. [Elaboración propia]

En el caso de Lezo, el pueblo presenta una estructura más común; es una ciudad que ha crecido en torno a la calle mayor y que termina en una plaza cerca de la iglesia.



Figura 6- 4: Imagen aérea de Lezo. [Elaboración propia]

Oiartzun, la ciudad que da el nombre al valle y al río, está formado por viviendas unifamiliares en grupos de distinto nivel económico. También tiene zonas más rurales conformadas con caseríos dispersos. Sus fábricas se encuentran junto al municipio de Errenteria, al norte.



Figura 6- 5: Imagen aérea de Oiartzun. [Elaboración propia]

Pasaia, por último se conforma de 4 núcleos urbanos, repartidos por toda la bahía: Trintxerpe, Antxo, Pasai San Pedro y Pasai Donibane o San Juan. Los dos últimos se encuentran a ambos lados de la entrada del mar, con muy poco margen de cambio. Trintxerpe y Antxo, son las zonas más pobladas y “nuevas” del municipio. La industria, las fábricas, los astilleros y los talleres son un rasgo distintivo de Pasaia.



Figura 6- 6: Imagen aérea de Pasaia. [Elaboración propia]

6.1.3. Morfología natural y vegetación

La Bahía de Pasaia, es una entrada de mar natural formada por la desembocadura del río Oiartzun. Aunque se han mencionado varios núcleos urbanos, es importante recordar que la Bahía está completamente rodeada de zonas montañosas; está incluso formada en parte por las estribaciones montañosas de los Pirineos [54].

EL lugar se caracteriza por colinas y montañas de escasa altimetría, alrededor de 200 – 300 m. Dichas montañas, se cortan sobre el mar con acantilados abruptos. Es apreciable como la masa de agua rodeada de tierra contrasta con los verdes de la zona de Ulia y Jaizkibel anteriormente mencionados; todo ello, debido a la poca transformación que ha sufrido el canal de acceso a la bahía. La desembocadura del río Oiartzun le da continuación a la bahía. Las zonas de mayor altimetría apenas llegan a los 500m y se encuentran en la zona más interior de la bahía [54].

La vegetación que predomina en la zona no se diferencia de la vegetación más común en esta zona de la península, ya que, está formada de bosque caducifolio, hayas, robles y plantaciones forestales. En las zonas más bajas de la bahía se encuentran los centros urbanos con pequeñas zonas de prados de siega y césped y otras zonas de cultivo cerca de los escasos caseríos con usos económicos agrícolas y forestales [54].

6.2. CONTEXTO CLIMÁTICO

Al igual que su cercano vecino Donostia/ San Sebastián, la bahía de Pasaia, debido a su cercanía al mar, presenta un clima de tipo templado oceánico. Este, se caracteriza por suaves temperaturas, humedad relativa elevada, gran nubosidad y abundantes lluvias a

lo largo de todo el año. Por ello, la característica principal de las precipitaciones de esta zona es su persistencia [54][61].

Se analizará si las series temporales de las variables meteorológicas de la Bahía de Pasaia tienen tendencias crecientes, decrecientes o no presentan ninguna tendencia significativa. Para ello, se utilizarán los datos de la estación meteorológica de Igeldo, la más cercana a la zona estudiada.

6.2.1. Tº medias anuales

La siguiente figura muestra las variaciones de temperatura habidas en la zona de Pasaia de 1979 hasta 2022. El gráfico superior muestra una estimación de la temperatura media anual para la región de Igeldo. La línea azul discontinua es la tendencia linear del cambio climático. En la parte inferior, el gráfico muestra las denominadas "franjas de calentamiento". Cada franja de color representa la temperatura media de un año: azul para los años más fríos y rojo para los más cálidos.

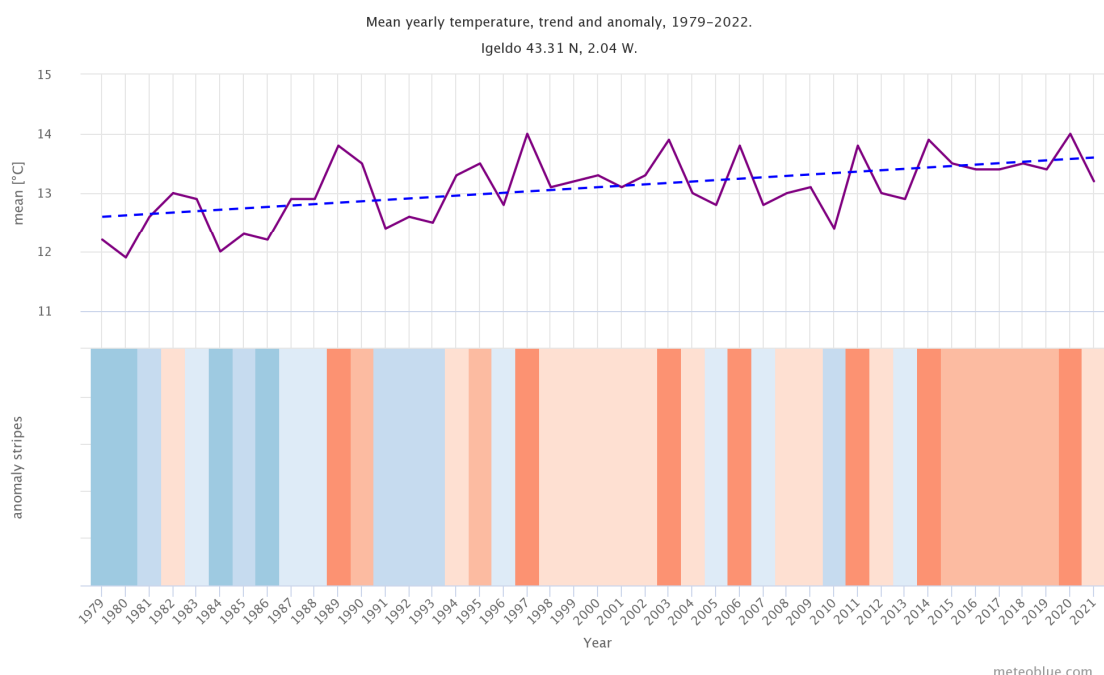


Figura 6- 7: Histórico y anomalías de las temperaturas medias en Pasaia [62].

La línea de tendencia muestra una tendencia positiva, lo que supone que ha habido un incremento de la temperatura a lo largo de los años. Este incremento es de alrededor de 1ºC.

En cuanto a las franjas inferiores, se observa un cambio importante. Las temperaturas de los primeros años son más bajas que las actuales, las cuales empiezan a cambiar alrededor de 1994. Aún así, los últimos 10 años muestran también una elevación notable de las temperaturas.

6.2.2. Precipitación anual

En el caso de las precipitaciones anuales, no se observa una tendencia clara. Las precipitaciones oscilan alrededor de los 1432.6mm anuales. En la siguiente figura se pueden ver estos datos.

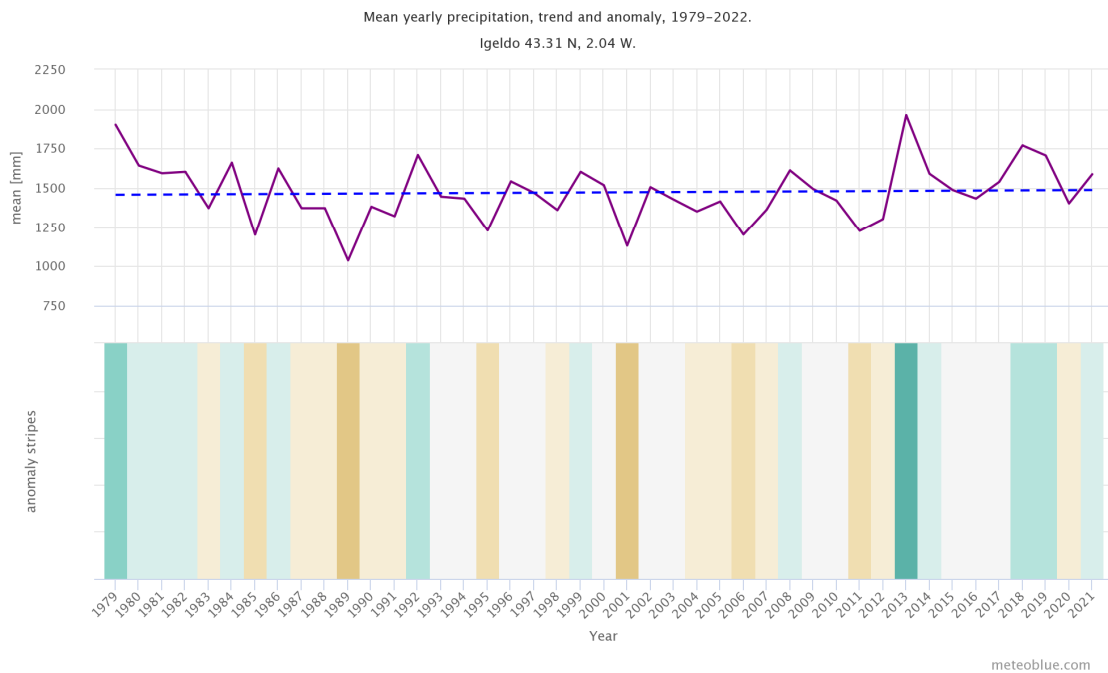


Figura 6- 8: Histórico y anomalías de las precipitaciones en Pasaia [62].

El gráfico superior muestra una estimación de la precipitación total media para la región de Igeldo. La línea azul discontinua es la tendencia lineal del cambio climático. Dicha línea tiene una tendencia creciente muy poco visible en los 40 años estudiados.

En la parte inferior, el gráfico muestra las denominadas "fajas de precipitación". Cada faja de color representa la precipitación total de un año: verde para los años más húmedos y marrón para los más secos. Al igual que en el caso anterior, debido a la tendencia creciente, estas franjas se acercan más al color azul en los últimos años. Aún así, este cambio es más lento que el cambio de temperatura.

6.2.3. Anomalías mensuales

Los siguientes gráficos muestran las anomalías mensuales de temperatura y precipitación en la zona estudiada.

El gráfico superior muestra la anomalía de la temperatura para cada mes desde 1979 hasta ahora. Teniendo en cuenta que la media de temperatura se ha sacado entre los 30 años de 1980 a 2010, se muestran de color rojo los meses más cálidos que la media y en azul los más fríos.

En el gráfico inferior, se ha sacado la misma media para calcular las anomalías de precipitaciones mensualmente. Por lo tanto, se muestran en azul los meses con más precipitación que la media obtenida y en marrón los que tuvieron menor nivel de precipitación.

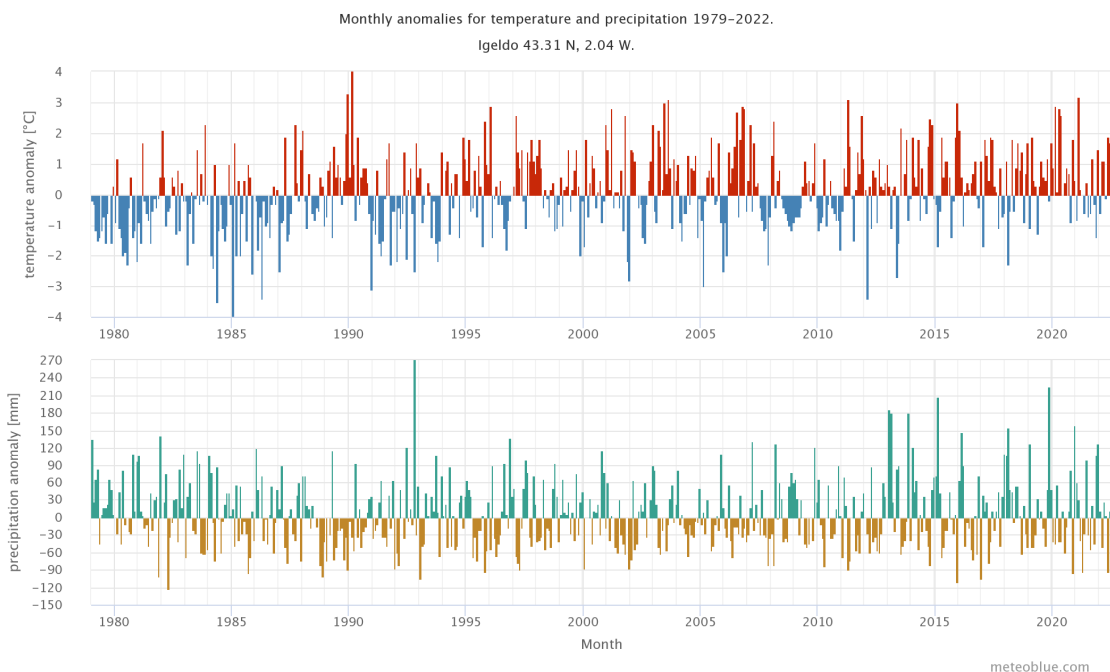


Figura 6- 9: Anomalías mensuales de temperatura y precipitaciones en Pasaia [62].

Al igual que en los casos anteriores, se observa un visible crecimiento de las temperaturas para el gráfico de arriba, ya que tiende a haber más meses de color rojo que azules.

En el caso del gráfico inferior, el cambio no es tan visible, ya que aunque haya más precipitaciones, la cantidad de meses húmedos y secos durante el año son bastante similares.

6.3. RIESGOS DEBIDOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

En ésta sección se realizará un estudio para analizar los mayores efectos del cambio climático en Euskadi. Para ello, primero se definirán ciertas magnitudes para poder entender el contexto de los datos aportados.

6.3.1. Definición de escenarios

Dado que el cambio climático es un problema que afecta a todo el mundo, para poder definir sus efectos, se han creado varios escenarios (RCP-Representative Concentration Pathways) en función del forzamiento radiativo total en el año 2100 en relación con 1750.

Existen 4 escenarios definidos, RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5. En este caso se ha trabajado solo con dos de los escenarios posibles:

- El escenario RCP 4.5. En este caso, se considera un escenario con unas emisiones de GEI parecidas a las actuales con pequeñas reducciones.
- El escenario RCP 8.5. En este caso, las emisiones GEI sufren un importante aumento; es decir, sería la continuación de la línea actual sin reducción de emisiones.

6.3.2. Temperaturas extremas

Primero, se analizarán los extremos de temperatura durante los años y sus previsiones a futuro.

6.3.2.1. Extremos de frío y previsiones futuras

Heladas anuales helada

Para calcular los días de helada habidos durante los años se han observado los gráficos que muestran los días en los que la temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) han estado por debajo de los 0°C.

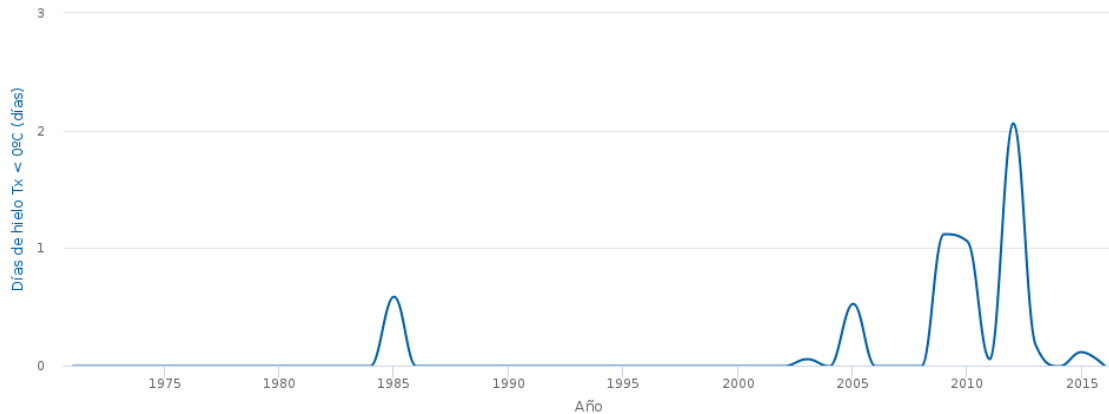


Figura 6- 10: Días en los que la temperatura máxima (Tx) está por debajo de 0°C [63].

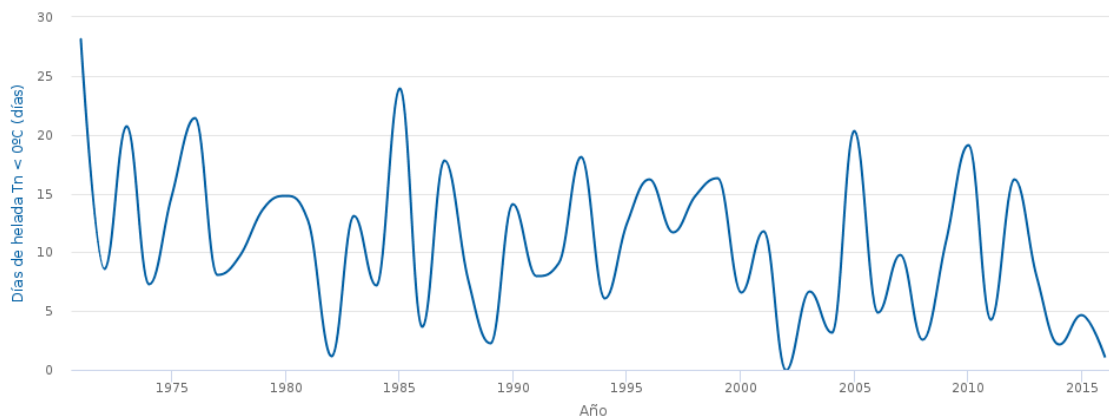


Figura 6- 11: Días en los que la temperatura mínima (Tn) está por debajo de 0°C [63].

En dichas imágenes se observa en el caso de las temperaturas máximas, que en los últimos años éste hecho ha aumentado. Aún así, los valores son bastante bajos. Por lo tanto, observando los datos de las temperaturas mínimas inferiores a 0 (Fig_), que mantienen una tendencia descendente, se puede decir que los días de helada están disminuyendo.

Los escenarios RCP 4.5 y 8.5 muestran lo siguiente:

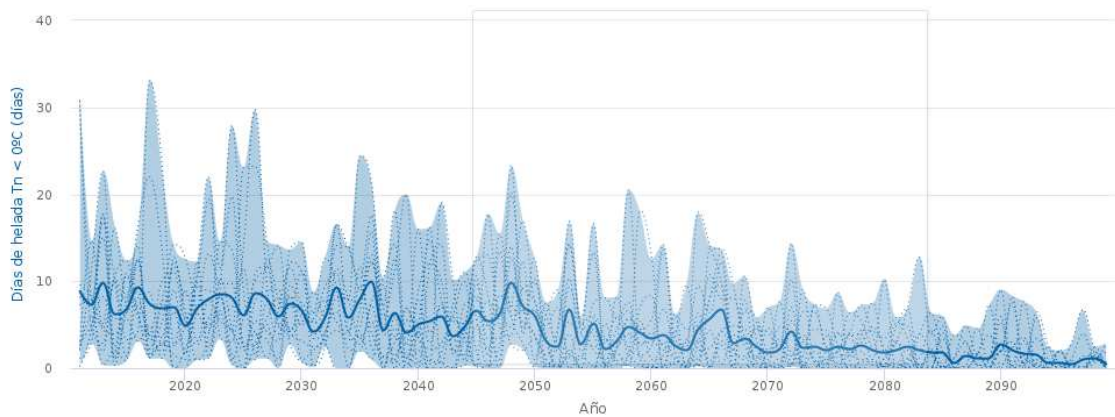


Figura 6- 12: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para $T_n < 0^{\circ}\text{C}$ [63].

En el caso de los días de helada, la tendencia negativa es perfectamente visible, llegando a disminuir desde alrededor de 10 días al año en 2010, hasta casi ninguno en 2100.

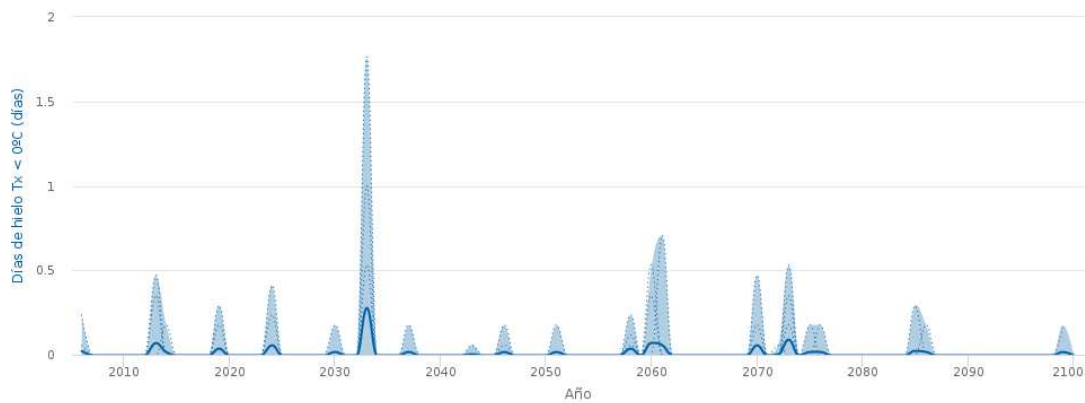


Figura 6- 13: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para $T_x < 0^{\circ}\text{C}$ [63].

En el caso de los días de hielo, el gráfico es bastante similar al de los días de hielo actuales. Se mantiene constantemente alrededor de 0 y se eleva a menos de 0.5 cada cierto tiempo. Este periodo va aumentando mientras pasan los años y los días de hielo que al inicio son alrededor de cada 5 años, al final ocurren cada 10 años.

Temperaturas más frías del día

El valor mínimo de las temperaturas máximas ha sufrido un incremento notable, tal y como se puede ver en la figura siguiente. El mayor incremento ha ocurrido en los últimos 10 años. El mínimo de temperaturas mínimas también se ha visto incrementado llegando a superar los 0°C en los últimos años.



Figura 6- 14: Valores mínimos para la temperatura máxima [63].

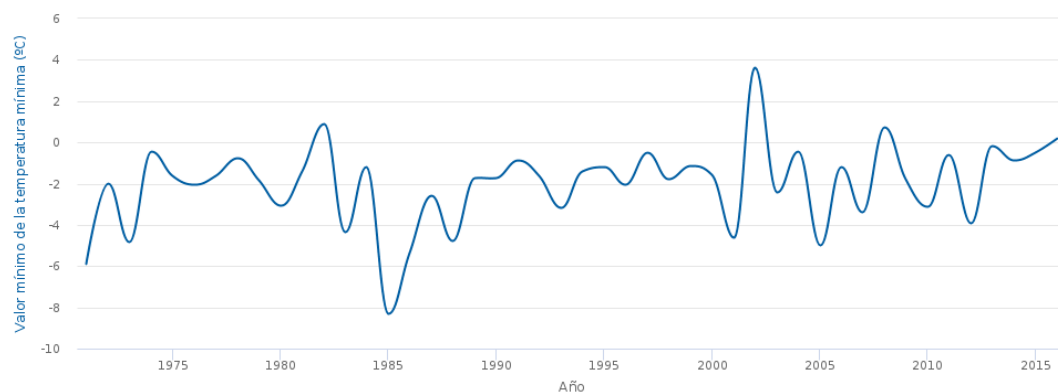


Figura 6- 15: Valores mínimos para la temperatura mínima [63].

Según las proyecciones futuras, se espera que haya un incremento en el valor mínimo de las temperaturas máximas de entre 2 y 4 °C. En el caso de las mínimas para las temperaturas mínimas, sin embargo, el incremento no es tan notable.

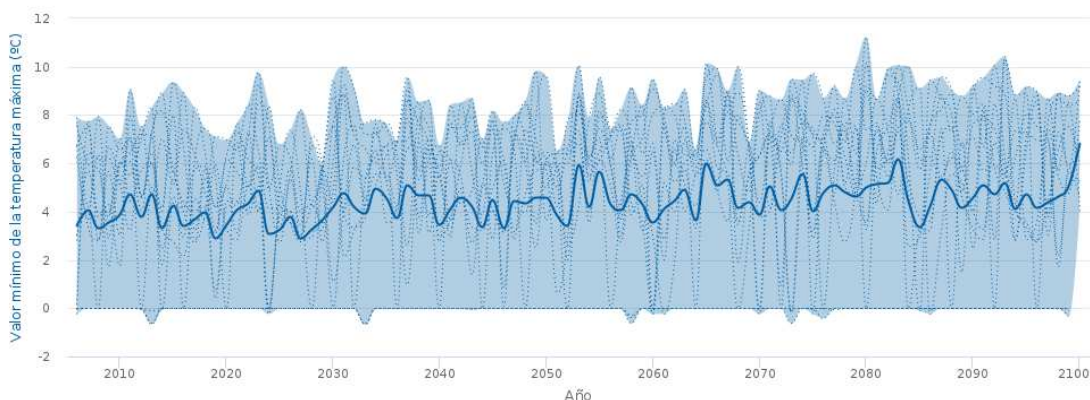


Figura 6- 16: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el valor mínimo de la T° máxima [63].

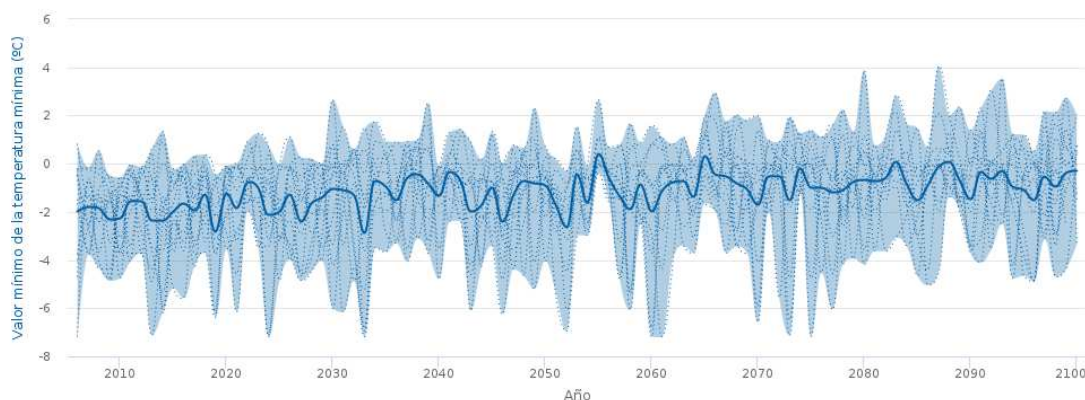


Figura 6- 17: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el valor mínimo de la T° mínima [63].

6.3.2.2. Extremos calurosos y previsiones futuras

Número de días de verano, cálidos y muy cálidos

Parece que hay una tendencia creciente del número de días de verano, aunque de forma poco significativa. En el periodo actual hay unos 3 días más de verano que en el periodo de referencia.

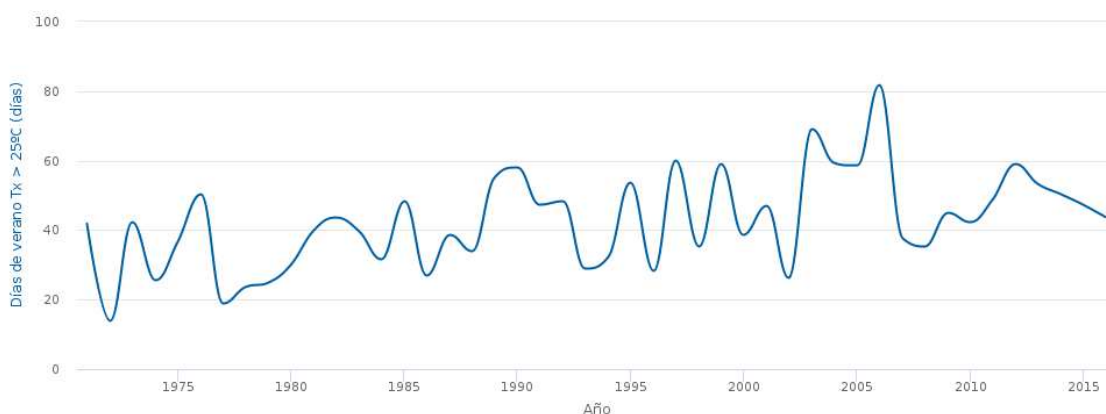


Figura 6- 18: Días en los que la temperatura máxima (Tx) está por encima de 25°C [63].

Para el futuro se espera también que haya incremento en el número de días cuando la temperatura máxima supera los 25 °C. Los datos obtenidos sitúan un aumento de entre 30 y 35 días más de verano aproximadamente.

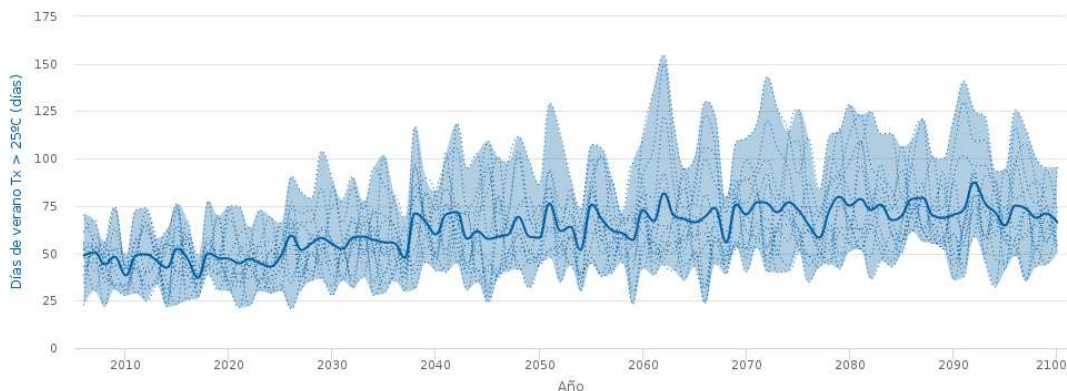


Figura 6- 19: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para Tx>25°C [63].

Número de noches cálidas

En los últimos 30 años no se ha detectado una tendencia clara con respecto al número de noches cálidas. Sin embargo, las proyecciones futuras de temperatura sí muestran un incremento para finales de siglo de entre 5 y 15 noches más al año con temperaturas mínimas superiores a 20 °C.

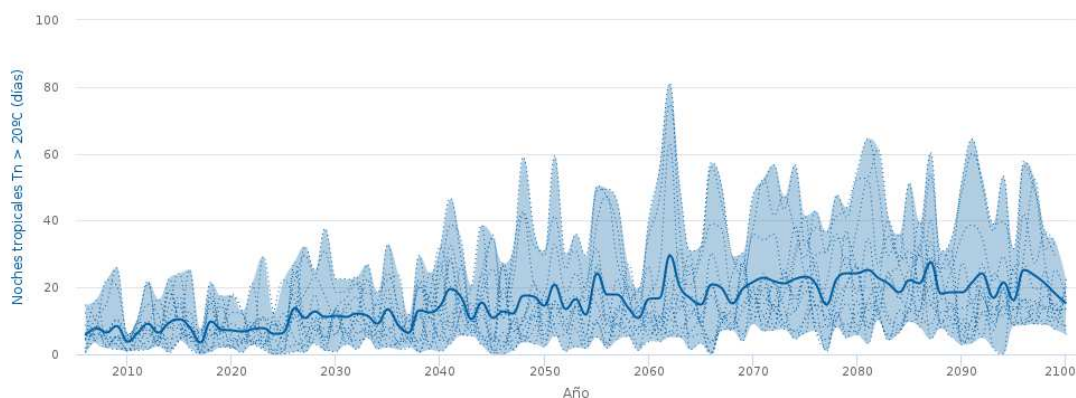


Figura 6- 20: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para noches en las que Tn>20°C [63].

Temperatura máxima diaria

La temperatura mínima diaria no presenta una tendencia significativa. Sin embargo, la temperatura máxima más alta se ha ido incrementando levemente en los últimos años. Esto ha provocado que las temperaturas diarias se eleven y se hayan tenido días un poco más calurosos.

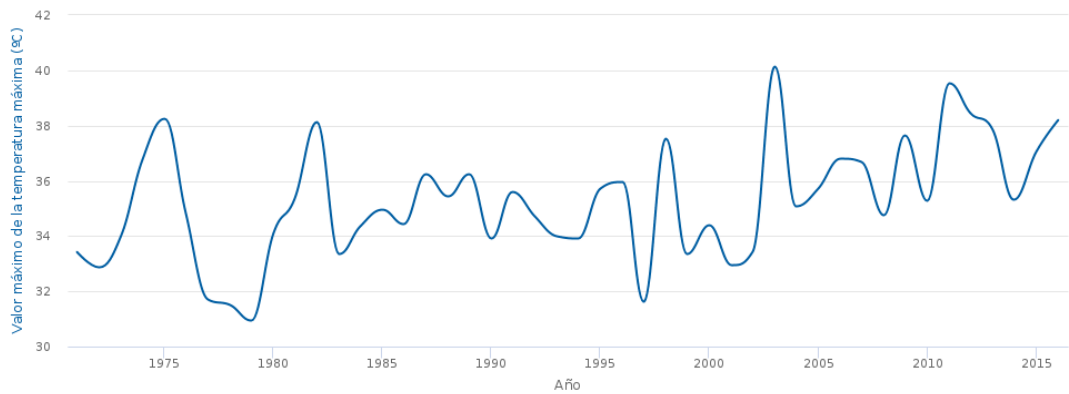


Figura 6- 21: Valores máximos de la temperaturas máximas [63].

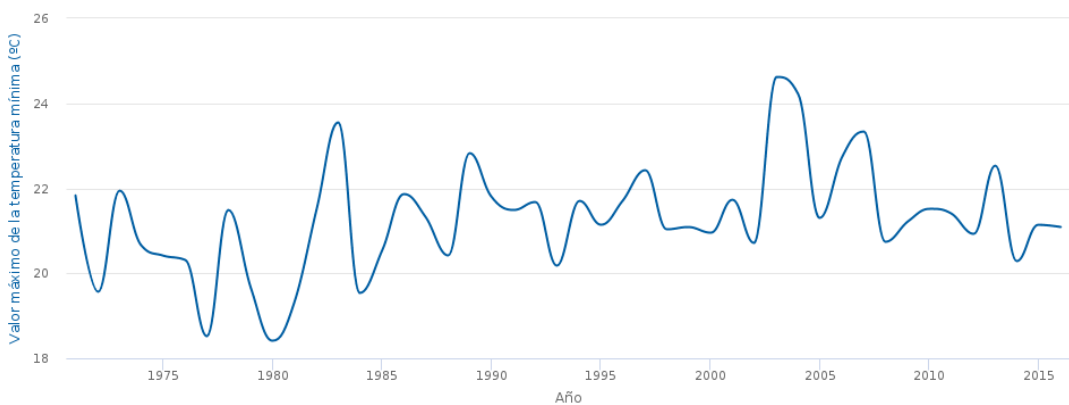


Figura 6- 22: Valores máximos de las temperaturas mínimas [63].

Según las proyecciones, el valor máximo de la temperatura mínima se espera que se incremente unos 1°C para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente. Con respecto al valor máximo de la temperatura máxima, se espera para finales de siglo haya un incremento ligero (2°C).

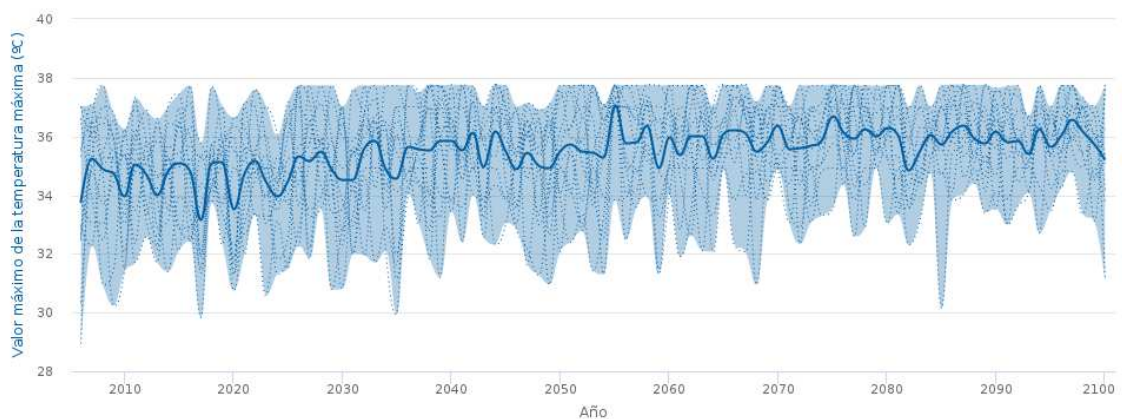


Figura 6- 23: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los valores máximos de las T° máximas [63].

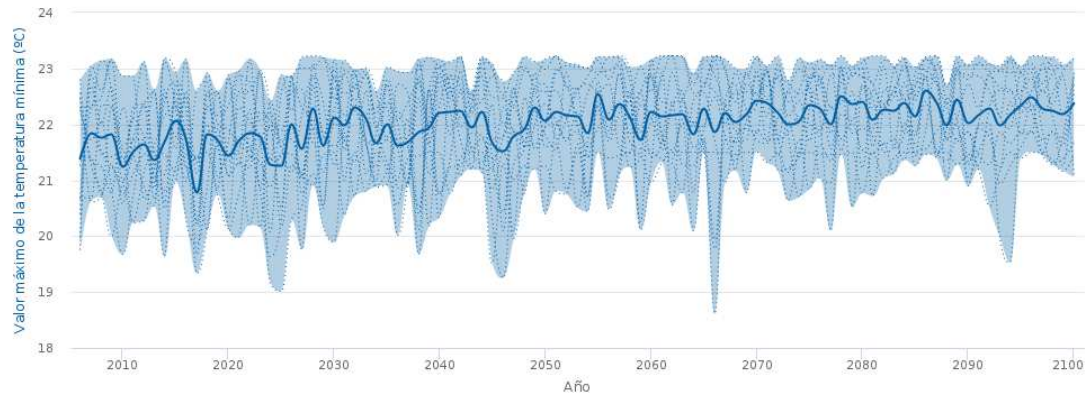


Figura 6- 24: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los valores máximos de las T° mínimas [63].

Días cálidos

Los días calurosos (días en los que la temperatura no supera el percentil 90) también se han visto incrementados a lo largo de los años de forma significativa, tal y como demuestra la pendiente de la gráfica TX90p.

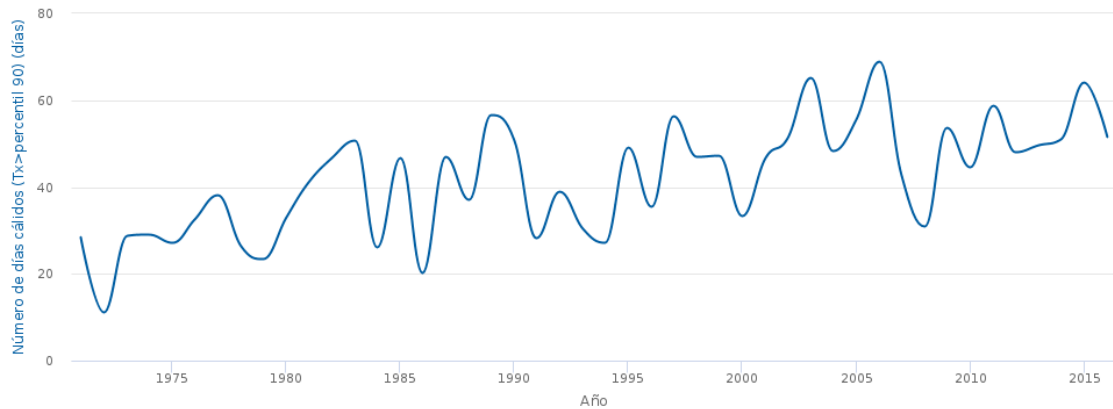


Figura 6- 25: Número de días cálidos [63].

Para finales de siglo se espera que siga la tendencia de incremento siendo la media de aumento alrededor de 20 días.

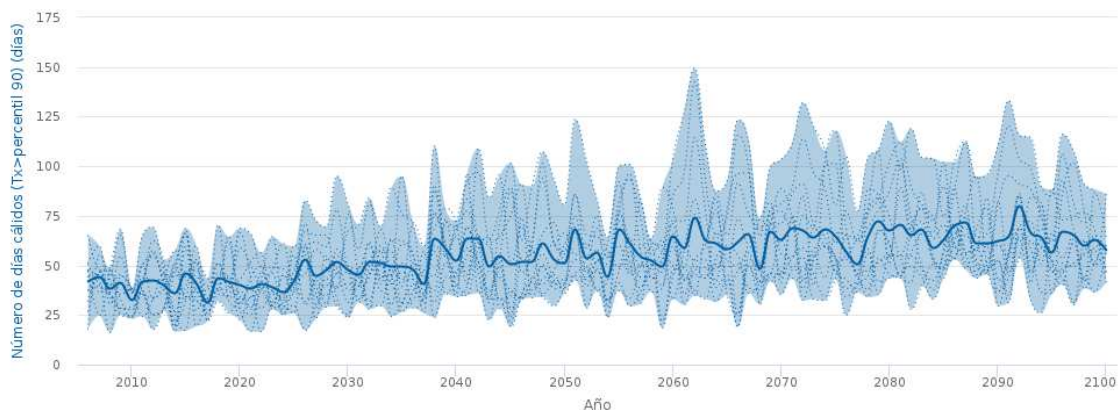


Figura 6- 26: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el número de días cálidos [63].

Número de olas de calor

Los días de ola de calor en los últimos años no muestran un aumento significativo, aunque en los últimos 20 años, ha habido más días de olas de calor que anteriormente. En cuanto a las previsiones a futuro, si se observa un crecimiento paulatino de los días de ola de calor.

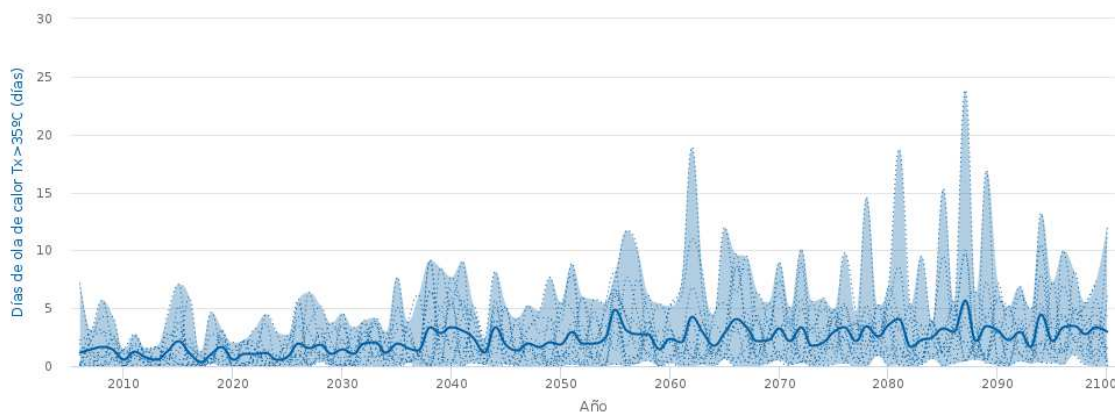


Figura 6- 27: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para las olas de calor [63].

6.3.3. Precipitaciones extremas

Al igual que en el apartado anterior, se analizarán las previsiones a futuro de la precipitaciones más extremas.

6.3.3.1. Indicadores de sequía. Número de días secos seguidos

El histórico del número máximo de días secos consecutivos, no muestra una clara tendencia. Sin embargo, al observar las previsiones a futuro, su crecimiento lento pero constante es más notable.

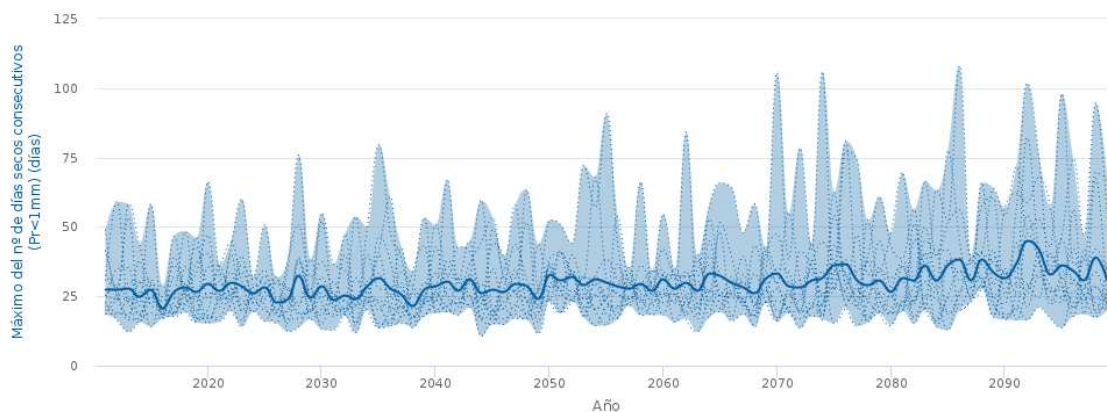


Figura 6- 28: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los días secos [63].

6.3.3.2. Indicadores de precipitaciones intensas y muy intensas

El histórico de precipitaciones intensas no muestra una tendencia significativa al igual que en el caso de las previsiones a futuro, que muestran una tendencia bastante constante; con un mínimo aumento de un 1%.

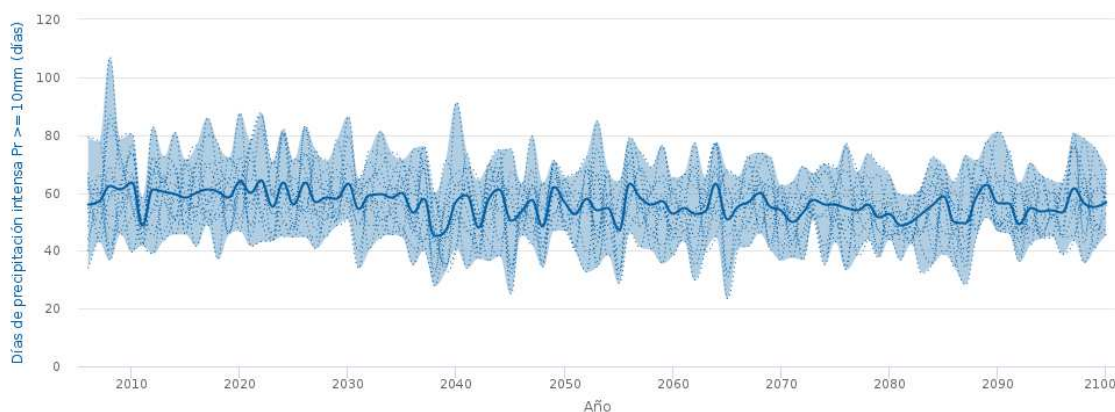


Figura 6- 29: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los días de precipitaciones intensas [63].

Lo mismo ocurre en el caso de las precipitaciones muy intensas, las cuales no tienen una tendencia significativa en el caso de los años pasados, y sufre una muy ligera elevación en el caso de las previsiones futuras.

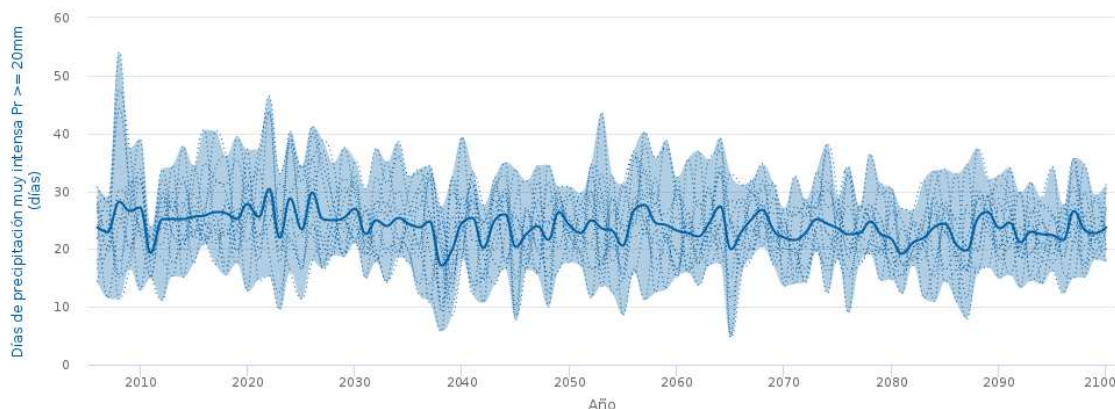


Figura 6- 30: Escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los días de precipitaciones muy intensas [63].

6.3.3.3. Precipitación máxima durante 5 días seguidos

No se observa tendencia alguna en la serie histórica. Dada la amplia incertidumbre asociada a las proyecciones futuras, no se puede afirmar que se esperen cambios significativos para finales de siglo.

6.3.4. Subida del nivel del mar por marea astronómica y meteorológica

Los escenarios estudiados muestran una tendencia positiva para el año 2100. Sin embargo, las diferencias entre uno y otro son bastante claras en el periodo 2080-2100.

Para el escenario RCP 4.5 la subida estimada del nivel del mar en la costa de la CAPV, de acuerdo con la publicación anteriormente citada y con el siguiente gráfico, un incremento del nivel del mar de 0,49 m.

Para el año 2100 y dentro del escenario RCP 8.5 se propone un incremento del nivel del mar de 80 cm [64].

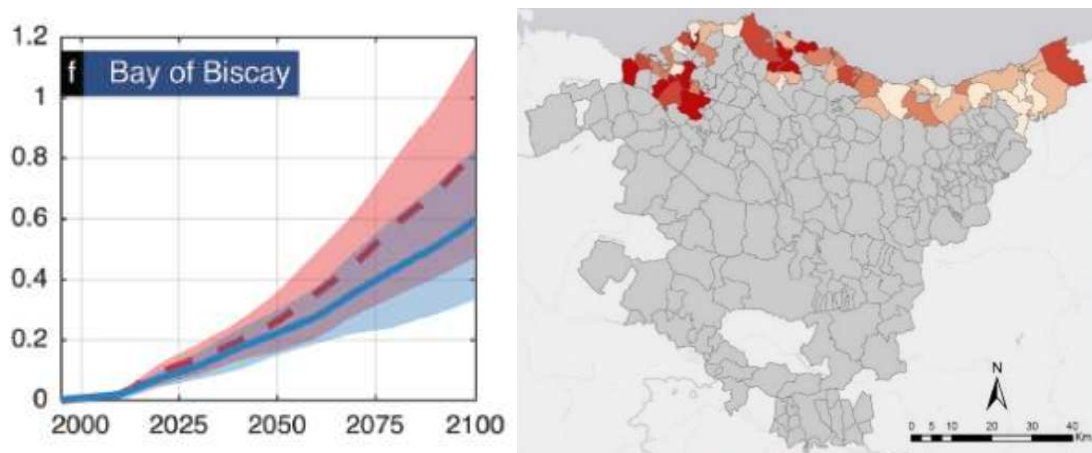


Figura 6- 31: (Izquierda) Escenarios RCP 4.5 y 8.5 de la subida del mar en el golfo de Vizcaya. (Derecha) Zonas afectadas por la subida del nivel del mar.[64]

De acuerdo con estos datos, las cotas que alcanzaría el mar durante la máxima pleamar viva equinoccial serían [64]:

- Máxima Pleamar viva equinoccial actual: 2,69 m.
- Máxima Pleamar viva equinoccial Escenarios RCP 4.5 y 8.5 año 2045: 2,86 m.
- Máxima Pleamar viva equinoccial Escenario RCP 4.5 año 2100: 3,18 m.
- Máxima Pleamar viva equinoccial Escenario RCP 8.5 año 2100: 3,49 m.

Cabe mencionar, que la frecuencia y duración de estos sucesos se incrementará con el tiempo. Por lo tanto, estos sucesos que actualmente se dan pocas veces, aumentarán su frecuencia durante el año; dificultando así, la recuperación de los daños posibles.

Otro efecto a tener en cuenta en el análisis de la subida del nivel del mar, es la subida de nivel por marea meteorológica. Se prevé en ambos escenarios un aumento constante en todos los casos de 17cm. Por lo tanto, las cotas del nivel del mar quedarían [64]:

- Máxima Pleamar Meteorológica actual: 2,91 m.
- Máxima Pleamar Meteorológica Escenarios RCP 4.5 y 8.5 año 2045: 3,08 m.
- Máxima Pleamar viva Meteorológica Escenario RCP 4.5 año 2100: 3,40 m.
- Máxima Pleamar viva Meteorológica Escenario RCP 8.5 año 2100: 3,71 m.

En las siguientes imágenes se puede observar el efecto de la subida del nivel del mar en la Bahía de Pasaia:

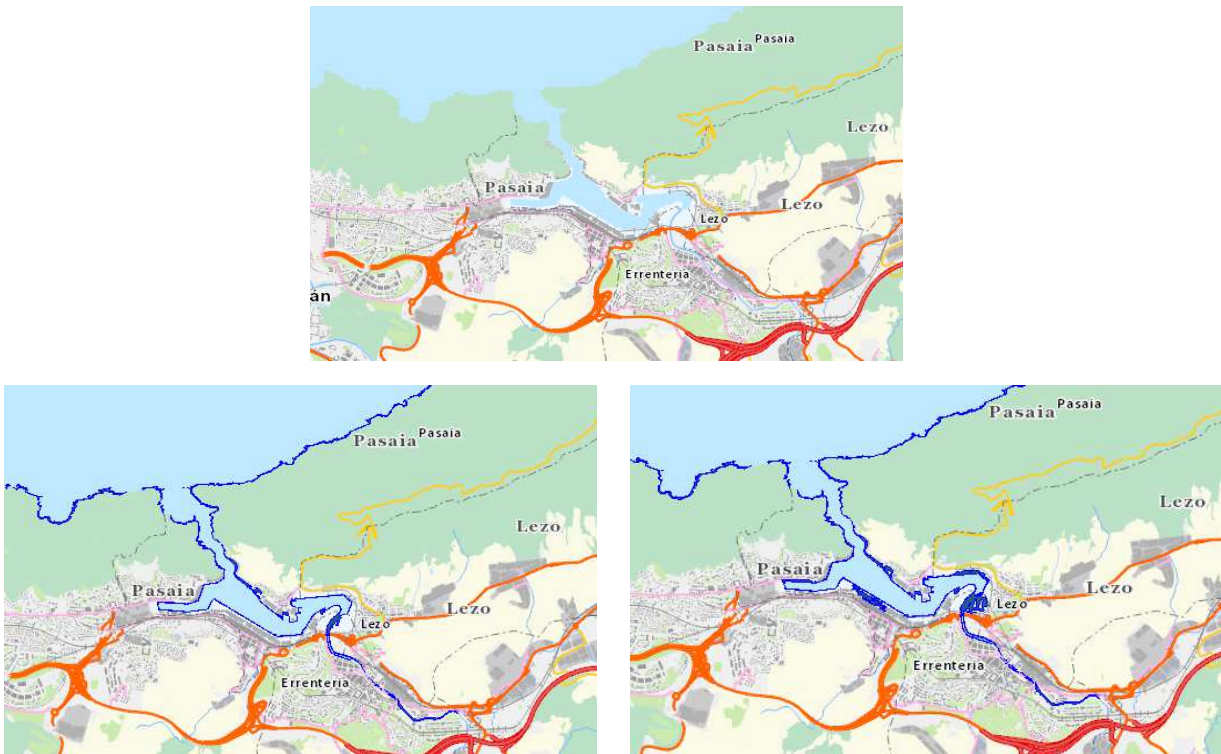


Figura 6- 32: a) Mapa actual de la Bahía de Pasaia [65]. b) Escenario RCP 4.5 de la subida del mar en la Bahía de Pasaia [65]. c) Escenario RCP 8.5 de la subida del mar en la Bahía de Pasaia [65].

En la primera imagen (arriba), se puede ver el mapa de la zona en la actualidad. Las imágenes inferiores muestran el efecto de la subida del nivel del mar para el año 2100 en la Bahía de Pasaia para los escenarios RCP 4.5 (derecha) y RCP 8.5 (izquierda).

Toda la zona sufrirá el efecto según estos escenarios. Sin embargo, es visible un mayor efecto en la zona de la desembocadura del río. Esto ocurre, debido a que la estructura de la zona portuaria, tiene una elevación mayor sobre el nivel del mar que en esa zona de la bahía.

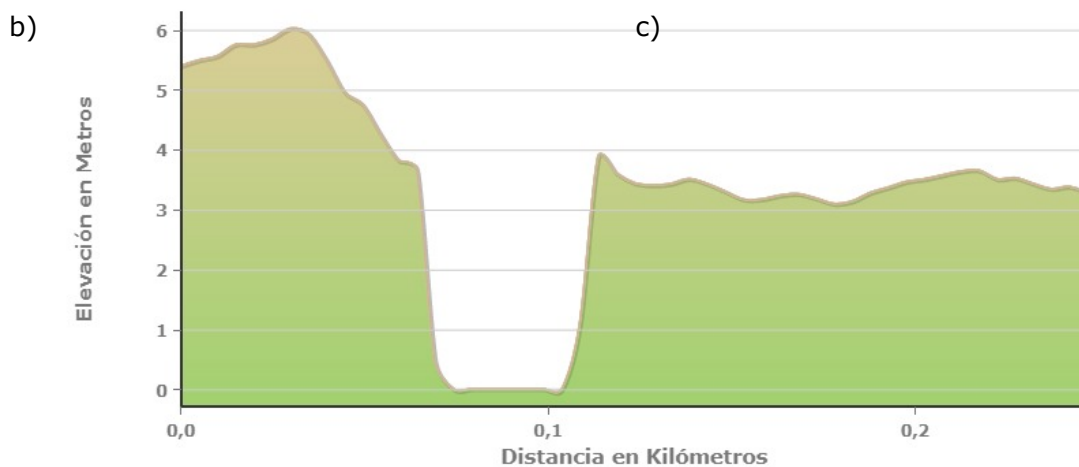


Figura 6- 33: Perfil de corte Errenteria - Lezo [65].

En la imagen anterior se observa el perfil de elevación de la zona de desembocadura entre Errenteria (derecha) hasta Lezo (izquierda). Se puede ver cómo en el caso de Lezo, se mantiene la elevación en unos 3m; lo cual, está por debajo de los casos de máxima pleamar.



Figura 6- 34: Perfil de elevación Pasaia San Pedro - Pasaia San Juan [65].

En el caso del puerto (imagen superior), la altura, también está sobre los 3-4m. Sin embargo, la zona dañada es menor, porque el alrededor se eleva rápidamente a grandes alturas.

6.3.5. Oleaje

Una de las mayores amenazas en los sistemas costeros es el oleaje, debido a la erosión que ocasiona y la capacidad de inundar zonas amplias. En este caso, la Bahía de Pasaia se encuentra bastante refugiada de este riesgo; ya que, la entrada a la Bahía se realiza mediante un canal y este consigue parar su efecto.

Sin embargo, la previsión de los escenarios RCP 4.5 y 8.5, predicen un crecimiento considerable tanto de las olas como de los temporales. Por lo tanto, es recomendable mantener la seguridad en el canal de entrada [64].

6.3.6. Inundaciones fluviales

Las inundaciones fluviales, afectan en diferentes zonas de la CAPV. En este caso, ya se ha visto en el apartado 6.3.4, gran parte del agua se acumulaba entre Renteria y Lezo. Pero, en la siguiente imagen puede verse, como por las inundaciones fluviales el área en riesgo aumenta adentrándose más en los pueblos.

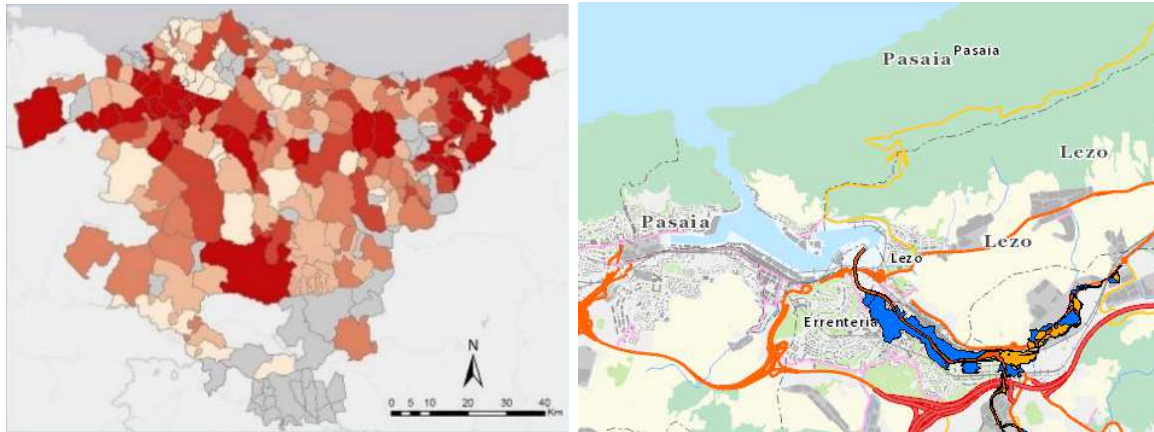


Figura 6- 35: (Izquierda) Zonas afectadas por inundaciones fluviales en la CAPV [64]. (Derecha) Zonas afectadas por inundaciones fluviales en la Bahía de Pasaia [65].

Según lo previsto, en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, se mantienen constantes los caudales de avenida actuales. Parece que no va a haber variación en éstos, ya que el posible aumento de la precipitación torrencial se verá compensado por la mayor capacidad de retención de los suelos naturales debido al aumento de la temperatura [64].

Sin embargo, es necesario tener en cuenta las lluvias intensas o tormentas urbanas que se caracterizan por su gran intensidad y su corta duración. Este efecto producirá incrementos de caudales en las zonas urbanas como la anteriormente mencionada, lo que puede ocasionar inundaciones.

6.4. SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA EN PASAIA

6.4.1. Problemas existentes y estrategias posibles mediante SBN Pasaia

Tal y como se ha observado tanto en los datos históricos como en los futuros escenarios analizados, es evidente que las temperaturas medias han tenido una tendencia positiva durante los años, llegando a elevarse 1°C durante los años analizados. Este crecimiento se ha observado también en las anomalías de temperatura anuales; sin embargo, en el caso de las precipitaciones medias anuales no hay un cambio visible.

El análisis de Las proyecciones futuras se ha realizado en tres bloques: el de las temperaturas más bajas, el de las más altas y el de las precipitaciones:

- En cuanto a los extremos de frío, los escenarios a futuro muestran una bajada significativa de los días de helada, junto con un mayor margen de tiempo entre una y otra.
- Según lo analizado, los días y noches cálidas tienen una tendencia creciente a futuro. Este hecho, unido al aumento de las temperaturas máximas, contrae a su vez un aumento de las olas de calor en una previsión hasta 2100.

Por último, las previsiones futuras sobre las precipitaciones, no son tan convincentes como las de las temperaturas. Todos los análisis se mantienen en los siguientes años. Se prevé un mínimo aumento de precipitaciones intensas. Un mayor aumento de éste índice podría suponer el aumento de condiciones climáticas adversas.

Por otro lado, se ha analizado la inundabilidad de la Bahía debido a diferentes razones. En primer lugar, se ha analizado la subida del nivel del mar por parte astronómica y meteorológica. Debido al cambio climático, la subida del nivel del mar será de alrededor de 20cm para 2045 y de 50 o 80 cm para 2100 según el escenario. La marea meteorológica también crecerá debido al cambio climático. Por ello, la pleamar será 17cm mayor para 2045 y 50 o 80cm mayor para 2100.

Después se ha analizado el crecimiento de la agresividad del oleaje. Teniendo en cuenta que la Bahía se encuentra refugiada debido a su canal de entrada, el oleaje actual no afecta a la Bahía. Aún así, se deberá mantener la seguridad en ese canal para seguir impidiendo los daños del oleaje.

Las inundaciones fluviales que afectarán a la Bahía también han sido analizadas. Actualmente dichas inundaciones ya suponen un problema en la zona de Errenteria y Lezo, y estas aumentan su espacio ocupado en las previsiones futuras. Por ello, es un problema a tener en cuenta.

De este modo, se divide la Bahía en 3 diferentes zonas de actuación según el mayor problema de cada zona.

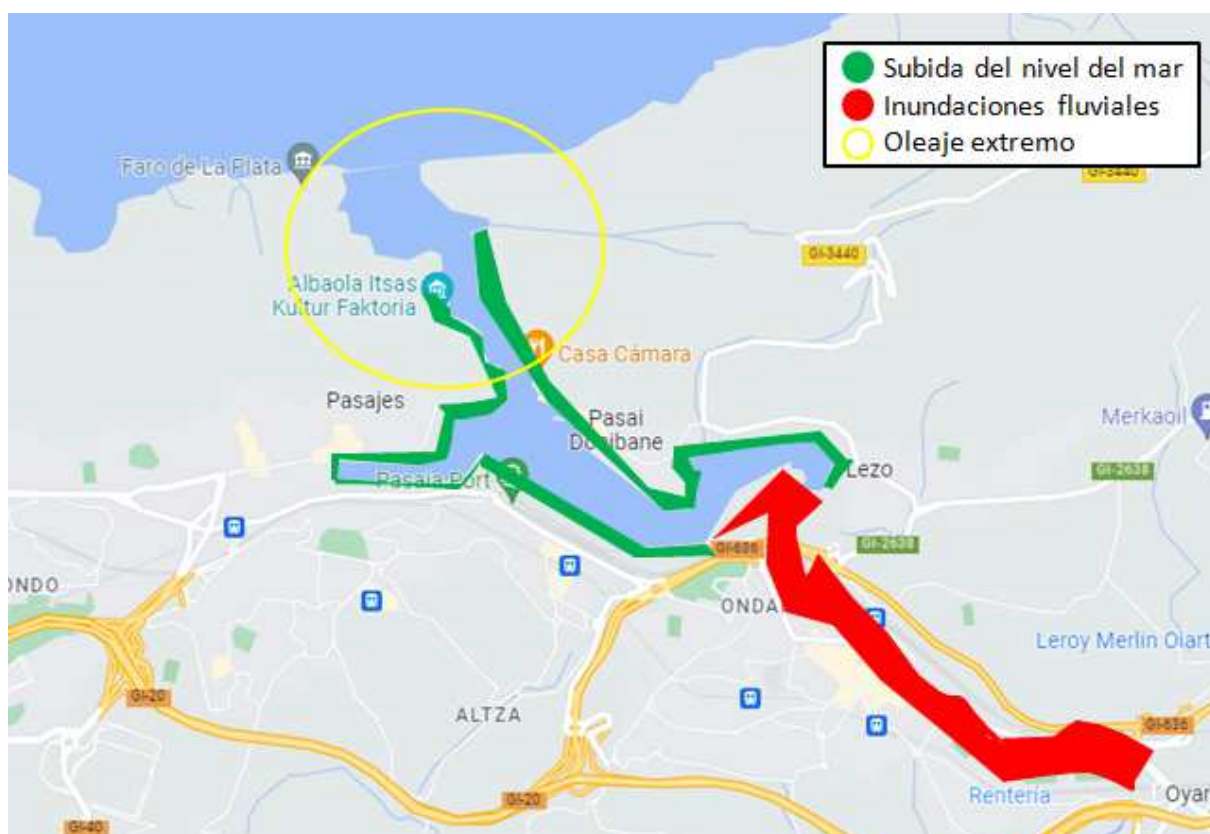


Figura 6- 36: Zonas afectadas por el cambio climático. [Elaboración propia]

No se ha especificado ninguna zona para el caso de la elevación de las temperaturas, debido a que mediante la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, se pretende mejorar el microclima urbano.

La siguiente tabla, muestra un resumen de los problemas analizados y las estrategias posibles a implementar, obtenidas de la Tabla 5- 1:

Tabla 6- 1: Riesgos del cambio climático, lugares y estrategias posibles en la Bahía de Pasaia [Elaboración propia].

Riesgo	Zona afectada	Estrategias posibles
Inundaciones fluviales y pluviales	Desembocadura del río entre Errenteria y Lezo	Revegetación (incluyendo reforestación y conversión forestal) [40][41]
		Restauración de riberas (incluyendo corredores de ribera) [38][39]
		Reconexión de ríos y llanuras de inundación [32]
		Establecimiento de desviaciones de inundaciones [32]
		Restauración-recuperación de humedales [33][34][35]
		Espacios verdes (aumentar bio-retención e infiltración) [31]
		Pavimentos permeables [30]
Temperaturas extremas	Zonas interiores de los pueblos con mucho edificio y poco parque	Espacios verdes (aumentar bio-retención e infiltración) [31]
		Restauración de riberas (incluyendo corredores de ribera) [38][39]
Subida del nivel del mar y eventos marinos extremos	Zonas de puerto que rodean la Bahía	Restauración de humedales, manglares y marismas como zonas de protección frente eventos extremos, retenedoras de sedimentos y para potenciar su valor ecológico. [33][34][35]
		Arrecifes artificiales para aumentar la biodiversidad y disminuir la energía del oleaje. [42][43][44]
		Restauración de vegetación en dunas para estabilizarlas, retener arena y mitigar la erosión costera. [45]

6.4.2. Estrategias de SBN en Pasaia

Tras haber valorado las diferentes estrategias posibles para el caso de estudio, se han contrastado sus beneficios e inconvenientes con el 'Proyecto Klimatek 2016' [66], y se proponen diferentes estrategias para cada punto clave donde actuar.

Regeneración del área portuaria en Trintxerpe y Altza



Figura 6- 37: Barrios Trintxerpe y Altza [67].

Estrategia: Barrera natural mediante parques inundables

<p>Problema</p>	<p>La subida del nivel del mar provocará la inundación de la zona portuaria debido a mareas astronómicas o meteorológicas.</p>
<p>Modo de actuación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dotar de zonas verdes la zona portuaria. • Crear barreras vegetales en contacto con el mar. • Combinar con estrategias de movilidad sostenible para facilitar la reducción de zonas de aparcamiento.
<p>Beneficios</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor infiltración y por lo tanto reducción de daños debido a la subida del nivel del mar. • Mejora de microclimas urbanos gracias a las zonas verdes y su contribución a la regulación del clima. • Contribución al ciclo del agua reduciendo la escorrentía y las inundaciones pluviales. • Reducción de emisiones de gases contaminantes. • Mejora de la salud. • Favorece a la biodiversidad.
<p>Dificultades</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sólida infraestructura industrial y portuaria. • La reducción de zonas de aparcamiento provocará buscar otras zonas.

Regeneración de Pasaje San Pedro y Pasaje San Juan



Figura 6- 38: Pasaje San Pedro [68] y Pasaje San Juan [69]

Estrategia: Renaturalización de calles y paseos

Problema	La subida del nivel del mar provocará la inundación de las calles y paseos de los dos barrios del canal.
Modo de actuación	<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de pavimento por superficies permeables • Generación de corredores verdes. • Crear barreras vegetales en contacto con el mar. • Combinar con estrategias de movilidad sostenible para facilitar la reducción de zonas de aparcamiento.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor infiltración y por lo tanto reducción de daños debido a la subida del nivel del mar. • Mejora de microclimas urbanos gracias a las zonas verdes y su contribución a la regulación del clima. • Contribución al ciclo del agua reduciendo la escorrentía y las inundaciones pluviales. • Reducción de emisiones de gases contaminantes. • Mejora de la salud. • Favorece a la biodiversidad.
Dificultades	<ul style="list-style-type: none"> • Poco espacio de actuación. • La reducción de zonas de aparcamiento provocará buscar otras zonas. • Estos barrios se encuentran en la entrada del canal, por lo que en casos de oleaje extremo, serán las más afectadas.

Regeneración del área portuaria de Antxo y Lezo



Figura 6- 39: Puerto de Pasajes [70][71].

Estrategia: Renaturalización de la zona portuaria

Problema	La subida del nivel del mar provocará la inundación de la zona portuaria debido a mareas astronómicas o meteorológicas.
Modo de actuación	<ul style="list-style-type: none"> • Dotar de zonas verdes la zona portuaria. • Crear barreras vegetales hacia la ciudad. • Regeneración de zonas vacías. • Creación de azoteas naturales y fachadas verdes en edificios industriales.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor infiltración y por lo tanto reducción de daños debido a la subida del nivel del mar. • Mejora de microclimas urbanos gracias a las zonas verdes y su contribución a la regulación del clima. • Reducción de la intrusión de contaminantes del puerto a la ciudad. • Contribución al ciclo del agua reduciendo la escorrentía y las inundaciones pluviales. • Mejora de la salud. • Favorece a la biodiversidad.
Dificultades	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades a la hora de regenerar zonas cercanas al mar debido a su uso portuario.

Corredor verde en la desembocadura del río

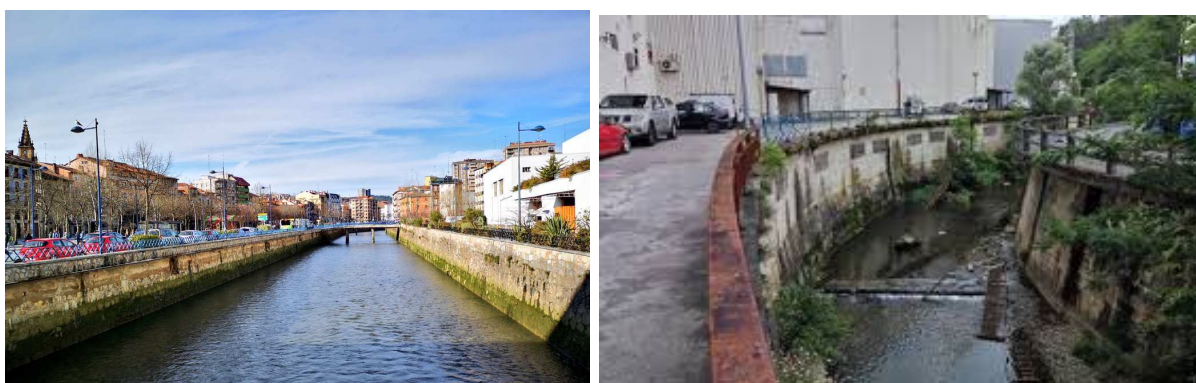


Figura 6- 40: Río Oiartzun [72][73].

Estrategia: Renaturalización del río

<p>Problema</p>	<p>Los temporales extremos y la reducción de infiltración junto con la subida del nivel del mar, provocará el aumento de inundaciones fluviales y pluviales en la zona de la desembocadura del río a su paso por Erretería y Lezo.</p>
<p>Modo de actuación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneración de las orillas del río Oiartzun mediante dunas y la inserción de plantas locales. • Sustitución del pavimento de los paseos laterales por superficies permeables. • Creación de barreras vegetales en contacto con el río. • Mejora de los sistemas de drenaje y creación de sistemas de drenaje sostenible. • Uso de azoteas naturales para el aprovechamiento del agua de lluvia. • Combinación con estrategias de movilidad sostenible para facilitar la reducción de zonas de aparcamiento y de vehículos con el fin de crear más áreas inundables alrededor del río. • Renaturalización del solar de debajo de la GI-636 para crear tanto zonas de parque como zonas inundables. • Facilitar el uso de zonas verdes y parques como zonas inundables: <ul style="list-style-type: none"> ○ Parque de la paz y su alrededor. ○ Merendero de Arditurri. ○ Zonas verdes debajo de la AP-8.

<p>Beneficios</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor infiltración y por lo tanto reducción de daños debido a inundaciones. • Mejora de microclimas urbanos gracias a las zonas verdes y su contribución a la regulación del clima. • Contribución al ciclo del agua reduciendo la escorrentía. • Reducción de emisiones de gases contaminantes. • Mejora de la salud. • Favorece a la biodiversidad.
<p>Dificultades</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las actuaciones deberán ser precisas y funcionales debido a la cercanía a los habitantes y a los importantes riesgos que acarrea. • La reducción de zonas de aparcamiento provocará buscar otras zonas.

Tras la implantación de dichas estrategias, a parte de los beneficios ya mencionados, se pretende crear una red de espacios verdes conectados, que generen una continuidad de la naturaleza dentro de la Bahía.

Actualmente, es muy visible la fractura natural "mar-tierra". Por ello, mediante las SBN mencionadas se pretende crear un anillo verde que rodee la zona portuaria y se infiltre dentro de la ciudad uniendo así el monte y el mar.

La siguiente imagen muestra el plano general del uso conjunto de todas las estrategias propuestas:



Figura 6- 41: Imagen aérea de la bahía tras la implantación de las estrategias. [Elaboración propia]

6.4.3. Limitaciones y otras posibles estrategias

Tal y como se observa durante el análisis, el estudio conlleva diferentes limitaciones. Primero, el trabajo se ha realizado analizando bases de datos globales o mediante diferentes estudios realizados para toda la Comunidad Autónoma Vasca; debido a ello, el análisis de la zona se ha realizado de una forma bastante simplificada y por lo tanto, solo se han identificado algunos de los puntos clave afectados por el cambio climático.

Las estrategias propuestas, se han obtenido de casos de estudio analizados en los que han supuesto buenas prácticas, sin embargo, este estudio no demuestra el buen funcionamiento de las propuestas. Por lo que, una de las posibles futuras líneas de investigación, podría basarse en el uso de alguna de las estrategias mencionadas y sus consecuencias.

También se ha observado la dificultad para obtener datos exactos del lugar de estudio. Debido a ello, hay ciertos aspectos del análisis que ha sido imposible contrastar; por ejemplo, el efecto del oleaje en la Bahía, hecho que cambia debido a su canal de entrada.

En lo referente a las estrategias propuestas, el estudio ha sido realizado para proponer estrategias mediante soluciones basadas en la naturaleza para la mitigación de los efectos del cambio climático. Sin embargo, se han observado dificultades a la hora de conseguir el máximo rendimiento de las propuestas. Por ejemplo, hay zonas con muy poca área de actuación, lo que podría suponer un problema; o zonas de uso portuario en las que las estrategias propuestas no tendrían tanto efecto ya que no se pueden implementar de una forma tan general. Por ello, otra línea de investigación podría conllevar el uso mixto de soluciones basadas en la naturaleza con infraestructura gris para obtener el efecto deseado. Ocurre lo mismo en el caso de Pasaia San Pedro y Pasaia San Juan donde su espacio tan reducido muestra dificultades a la hora de proponer estrategias que mitiguen el efecto de un oleaje extremo.

7. CONCLUSIONES

Mediante este trabajo, se ha demostrado la importancia del cambio climático y cómo los riesgos que conlleva pueden afectar a la vida cotidiana. También se ha observado que las ciudades deberán sufrir importantes cambios para evitar dichos problemas y que éstos cambios se pueden conseguir mediante el apoyo de los ecosistemas.

Uno de los objetivos del trabajo, ha sido el de determinar diferentes métodos o estrategias mediante soluciones basadas en la naturaleza para mitigar ciertos riesgos del cambio climático. Sin embargo, también se ha observado, que el aprovechamiento de los ecosistemas ayuda de forma paralela a mejorar el modo de vida y la salud de los habitantes; así como, reduciendo las emisiones de contaminantes, parando su infiltración en las ciudades o incluso motivando el cambio de los métodos de transporte y consumo.

El estudio se ha realizado en la Bahía de Pasaia; un lugar compuesto por diferentes pueblos y barrios que plantea varias limitaciones a la hora de realizar el estudio o la implantación de las estrategias propuestas.

Por un lado, al no ser una gran ciudad, los datos que se han podido obtener han sido limitados. Se ha realizado un estudio superficial del contexto climático y para las previsiones futuras se han utilizado bases de datos que trabajan en todo el territorio de la CAPV, por lo que no son demasiado exactas. Por otro lado, las estrategias propuestas, se han obtenido de artículos en los que su uso ha funcionado; sin embargo, esto no confirma su correcto funcionamiento en el lugar.

El estudio se ha realizado en la Bahía de Pasaia, la cual plantea importantes problemas respecto al cambio climático. Se han planteado diferentes estrategias basadas en infraestructura azul y verde para mitigar el efecto del cambio climático. Dichas estrategias se han propuesto por zonas con diferentes riesgos o limitaciones. Por lo tanto, es posible realizar un uso individual o conjunto de ellas.

Por último, otra de las limitaciones observadas tras realizar el estudio, ha sido la implantación de dichas estrategias; la cual se dificulta debido a la sólida infraestructura portuaria de la zona y al poco espacio útil existente.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] FAWZY, Samer, et al. Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 2020, vol. 18, no 6, p. 2069-2094.
- [2] XI-LIU, Y. U. E.; QING-XIAN, G. A. O. Contributions of natural systems and human activity to greenhouse gas emissions. *Advances in Climate Change Research*, 2018, vol. 9, no 4, p. 243-252.
- [3] HOBBIE, Sarah E.; GRIMM, Nancy B. Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2020, vol. 375, no 1794, p. 20190124.
- [4] COLLS, A.; ASH, Neville; IKKALA, Ninni. *Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change*. Gland: Iucn, 2009.
- [5] WENDLING, Laura, et al. *Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners*. 2021.
- [6] MCLENNAN, Marsh. *The Global Risks Report 2021 16th Edition*.
- [7] KABISCH, Nadja, et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 2016, vol. 21, no 2.
- [8] Impactos esperados del cambio climático en el País Vasco. Euskadi.eus. [consulta: 17-05-2022]. Disponible en: <https://www.euskadi.eus/impactos-esperados-del-cambio-climatico-en-el-pais-vasco/web01-a2ingkli/es/>
- [9] KISSEL, Eric S., et al. *CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. 2014.
- [10] PLANELLES, Manuel, 2021. Los 35 peligros del cambio climático más urgentes para España. En: *El País*. [en línea]. Disponible en: <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-02-03/los-35-peligros-del-cambio-climatico-mas-urgentes-para-espana.html> [consulta: 17-05-2022]
- [11] SANZ, M. J.; GALÁN, E. *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): Madrid, Spain, 2020.
- [12] CENTRERO UCEDA, Antonio, et al. *Impactos sobre las zonas costeras*. 2005. *Consecuencias del cambio climático*. Comisión Europea. [consulta: 18-05-2022]. Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/climate-change/consequences-climate-change_es#:~:text=Suelos,la%20desertificaci%C3%B3n%20y%20las%20inundaciones.
- [13] La agricultura y el cambio climático, 11 de mayo de 2021. European Environment Information and Observation Network (Eionet). [consulta: 18-05-2022]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/la-agricultura-y-el-cambio-climatico#:~:text=Las%20variaciones%20de%20las%20temperaturas,su%20vez%20a%20las%20cosechas>.
- [14] GARROTE Gonzalez, Isabel. *Impactos del cambio climático en España*, Cordoba, 2007. [consulta: 18-05-2022] Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/respuestas-desde-la-educacion-y-la-comunicacion-al-cambio-climatico/impactos_cc_espana_tcm30-70554.pdf

- [16] THORNE, Colin R., et al. Overcoming uncertainty and barriers to adoption of Blue-Green Infrastructure for urban flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*, 2018, vol. 11, p. S960-S972.
- [17] SHARIFI, Ayyoob. Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Science of the total environment*, 2021, vol. 750, p. 141642.
- [18] GHOFrani, Zahra; SPOSITO, Victor; FAGGIAN, Robert. A comprehensive review of blue-green infrastructure concepts. *International Journal of Environment and Sustainability*, 2017, vol. 6, no 1.
- [19] European Commission. The EU and nature based solutions. [en línea] Disponible en: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en [Consulta: 15 diciembre 2021]
- [20] IUCN, Nature based solutions [en línea] Disponible en: <https://www.iucn.org/commissions/commission-ecosystem-management/our-work/nature-based-solutions> [Consulta: 15 diciembre 2021]
- [21] ESCOBEDO, Francisco J., et al. Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors?. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, vol. 37, p. 3-12.
- [22] EISENBERG, Bernd; POLCHER, Vera. *Nature Based Solutions–Technical Handbook*. UNaLab Horizon, 2020.
- [23] RUANGPAN, Laddaporn, et al. Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: A state-of-the-art review of the research area. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2020, vol. 20, no 1, p. 243-270.
- [24] FEYEN, Luc, et al. Climate change impacts and adaptation in Europe. JRC PESETA IV final report. Joint Research Centre (Seville site), 2020.
- [25] EEA, 2020b, 'Damages from weather and climate-related events (CLIM 039)', European Environment Agency
- [26] SHUKLA, P. R., et al. IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019.
- [27] DÍAZ, Sandra, et al. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019.
- [28] FAIVRE, Nicolas, et al. Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental research*, 2017, vol. 159, p. 509-518.
- [29] SEDDON, Nathalie, et al. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2020, vol. 375, no 1794, p. 20190120.
- [30] COHEN-SHACHAM, Emmanuelle, et al. Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN: Gland, Switzerland, 2016, vol. 97.
- [31] GIRLING, Cynthia L.; HELPHAND, Kenneth I. Retrofitting suburbia. Open space in Bellevue, Washington, USA. *Landscape and Urban Planning*, 1997, vol. 36, no 4, p. 301-313.
- [32] Department of Environment, Land, Water and Planning, Victoria State government. A how-to guide for planning urban greening and enhanced stormwater management in Victoria. *Planning a green- blue city*, February 2017.
- [33] DUDLEY, Nigel; STOLTON, Sue. Running pure: the importance of forest protected areas to drinking water. *World Bank/WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use*, 2003.
- [34] IPCC., AR4 SYR. Climate change 2007: synthesis report. Summary for Policymakers, 2007.
- [35] MCGUCKIN, Christopher P.; BROWN, Robert D. A landscape ecological model for

- wildlife enhancement of stormwater management practices in urban
- [36] LIU, Li; FRYD, Ole; ZHANG, Shuhan. Blue-green infrastructure for sustainable urban stormwater management—lessons from six municipality-led pilot projects in Beijing and Copenhagen. *Water*, 2019, vol. 11, no 10, p. 2024.
- [37] BACKHAUS, Antje; FRYD, Ole. Analyzing the first loop design process for large-scale sustainable urban drainage system retrofits in Copenhagen, Denmark. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2012, vol. 39, no 5, p. 820-837.
- [38] LEHNERT, Michal, et al. The role of blue and green infrastructure in thermal sensation in public urban areas: A case study of summer days in four Czech cities. *Sustainable Cities and Society*, 2021, vol. 66, p. 102683.
- [39] KIRSHEN, Paul; KNEE, Kelly; RUTH, Matthias. Climate change and coastal flooding in Metro Boston: impacts and adaptation strategies. *Climatic Change*, 2008, vol. 90, no 4, p. 453-473.
- [40] ERWIN, Kevin L. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and management*, 2009, vol. 17, no 1, p. 71-84.
- [41] CROOKS, Stephen, et al. Mitigating climate change through restoration and management of coastal wetlands and near-shore marine ecosystems: challenges and opportunities. 2011.
- [42] TAILLARDAT, Pierre, et al. Climate change mitigation potential of wetlands and the cost-effectiveness of their restoration. *Interface Focus*, 2020, vol. 10, no 5, p. 20190129.
- [43] GONG, Peng, et al. China's wetland change (1990–2000) determined by remote sensing. *Science China Earth Sciences*, 2010, vol. 53, no 7, p. 1036-1042.
- [44] JUNG, Jae Won, et al. Effectiveness analysis of artificial wetland for flood reduction. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 2014, vol. 14, no 4, p. 369-378.
- [45] SEAVY, Nathaniel E., et al. Why climate change makes riparian restoration more important than ever: recommendations for practice and research. *Ecological Restoration*, 2009, vol. 27, no 3, p. 330-338.
- [46] JUSTICE, Casey, et al. Can stream and riparian restoration offset climate change impacts to salmon populations?. *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 188, p. 212-227.
- [47] WANG, Bing, et al. Even short-term revegetation complicates soil food webs and strengthens their links with ecosystem functions. *Journal of Applied Ecology*, 2022.
- [48] ABDULLAH, Meshal M., et al. Revegetation of native desert plants enhances food security and water sustainability in arid regions: Integrated modeling assessment. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 806, p. 151295.
- [49] HIGGINS, Emily; METAXAS, Anna; SCHEIBLING, Robert E. A systematic review of artificial reefs as platforms for coral reef research and conservation. *PloS one*, 2022, vol. 17, no 1, p. e0261964.
- [50] BARBARA, Grace. FROM BARE TO BRILLIANT: The migration of fish species to a newly deployed artificial coral reef in Delray Beach, FL. 2022.
- [51] ASIR, N. Gladwin Gnana, et al. The formation and spatio-temporal variations of a new sand spit in Vaan Island, India—An influence of the multipurpose artificial reefs deployed to restore the sinking island. *Regional Studies in Marine Science*, 2022, vol. 51, p. 102173.
- [52] FINDLAY, Alexandra O. In the Face of Climate Change, Does Human Trampling Affect Dune Resilience and Alter Ecosystem Services?. 2022.
- [53] COLLANTES, Alberdi. Reurbanización de la bahía de Pasaia: Aproximación a los proyectos y desencuentros acaecidos las dos últimas décadas. *Lurralde*, 2013, vol. 36, p. 135-58.
- [54] DE ROSA GIOLITO, Enrique Rafael. LAS COMPLEJAS RELACIONES ENTRE

- PAISAJE, PUERTO, CIUDAD Y SUS EFECTOS EN EL PATRIMONIO CULTURAL EN LA BAHÍA DE PASAIA. Espacio, Tiempo y Forma. Serie VI, Geografía, 2016.
- [55] Datos del Padrón Municipal de habitantes a 31 de diciembre de 2021, Ayuntamiento de Pasaia. [consulta: 20-05-2022]. Disponible en: <https://www.pasaia.eus/es/demografia>
- [56] Demografía de Lezo (Guipuzcoa). Foro-ciudad. [consulta: 20-05-2022]. Disponible en: <https://www.foro-ciudad.com/guipuzcoa/lezo/habitantes.html#:~:text=Segun%20los%20datos%20publicados%20por,el%20en%20el%20a%C3%B1o%202020>.
- [57] Demografía de Rentería (Guipuzcoa). Foro-ciudad. [consulta: 20-05-2022]. Disponible en: <https://www.foro-ciudad.com/guipuzcoa/errenteria/habitantes.html>
- [58] Datos demográficos de Altza, Donostia San Sebastian. [consulta: 20-05-2022]. Disponible en: https://www.donostia.eus/info/ciudadano/part_barrios.nsf/vowebContenidosId/NT0000097E?OpenDocument&idioma=cas&id=A379281&doc=D
- [59] Demografía de Oiartzun (Guipuzcoa). Foro-ciudad. [consulta: 20-05-2022]. Disponible en: <https://www.foro-ciudad.com/guipuzcoa/oiartzun/habitantes.html>
- [60] File: Pasaiaiko portua.jpg. Wikimedia. [consulta: 20-05-2022]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pasaiaiko_portua.jpg
- [61] PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DONOSTIA / SAN SEBASTIÁN, Entregable 1: Diagnóstico, 2017. [consulta: 12-07-2022]. Disponible en: <https://www.donostia.eus/ataria/documents/8023875/8050879/DIAGNOSTICO.pdf/#:~:text=A%20partir%20de%20la%20elaboraci%C3%B3n,a%20las%20del%20a%C3%B1o%202007>
- [62] Cambio climático- Igeldo. [consulta: 12-07-2022]. Disponible en: https://www.meteoblue.com/es/climate-change/igeldo_espaa%3%b1a_3120430
- [63] Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos, Ihobe.es. [consulta: 21-08-2022]. Disponible en: http://escenariosklima.ihobe.eus/#&model=1km_CAPV&variable=sdii&scenario=historical&temporalFilter=YEAR&layers=MUNICIPALITIES&period=HISTORICAL&ids=146374&anomaly=RAW_VALUE&results=true&graph-type=area&format=area
- [64] ESTUDIOS PREVIOS Y DIAGNÓSTICO PARA LA REVISIÓN Y ADAPTACIÓN DEL PTS DE PROTECCIÓN Y ORDENACIÓN DEL LITORAL DE LA CAPV AL RETO DEL CAMBIO CLIMÁTICO, Resumen. [consulta: 22-08-2022]. Disponible en: https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/rev_pts_litoral_previos/es_def/adjuntos/PTS/Doc-C.-Resumen/resumen_comprimido.pdf
- [65] Visor,GeoEuskadi. [consulta: 22-08-2022]. Disponible en: <https://www.geo.euskadi.eus/geobisorea>
- [66] VASCO, Eusko Jaurlaritza-Gobierno, et al. KLIMATEK. Soluciones naturales para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco. 2018. Fuente imagen: <https://www.elestrechodigital.com/2020/04/16/activado-el-protocolo-por-covid-19-en-el-puerto-de-pasaia-tras-la-muerte-de-un-transportista-ingles/> [consulta: 22-07-2022]
- [67] Fuente imagen: <https://donosticity.org/pasai-san-pedro/> [consulta: 22-07-2022]
- [68] Fuente imagen: <https://camerlust.com/pasajes-san-juan/> [consulta: 22-07-2022]
- [69] Fuente imagen: <https://www.pasaiaport.eus/es/> [consulta: 22-07-2022]
- [70] Fuente imagen: <https://www.pasaiaport.eus/es/noticias/noticias/490-pasaia-port-inversion-2020-2024> [consulta: 22-07-2022]
- [71] Fuente imagen: <https://turismovasco.com/gipuzkoa/que-ver-gipuzkoa/errenteria-que-ver/attachment/rio-oiartzun-a-su-paso-por-errenteria-errenteria-que-ver/> [consulta: 22-07-2022]

- [73] Fuente imagen: <https://www.elcorreo.com/sociedad/sucesos/fallece-hombre-oiartzun-20210804170351-nt.html> [consulta: 22-07-2022]