APÉNDICE 5. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS PREVISIBLES SOBRE LOS FACTORES AMBIENTALES DERIVADOS DE LA VULNERABILIDAD DEL PROYECTO ANTE RIESGOS GRAVES Y CATÁSTROFES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. CONTENIDO DEL APENDICE 1

3. ANALISIS DE LOS EFECTOS PREVISIBLES SOBRE LOS FACTORES AMBIENTALES DERIVADOS DE LA VULNERABILIDAD DEL PROYECTO ANTE RIESGOS GRAVES O CATÁSTROFES. 1

3.1. CLASIFICACIÓN DEL RIESGO 1

3.1.1. Riesgos naturales 2

3.1.1.1. Riesgo sísmico 2

3.1.1.2. Riesgos geológicos por hundimientos, deslizamientos y desprendimientos 3

3.1.1.3. Fenómenos de subsidencia por hundimientos y colapsos 4

3.1.1.4. Riesgos erosivos 4

3.1.1.5. Riesgos de acarcavamientos y sufusión 5

3.1.1.6. Riesgos de inundación 5

3.1.1.7. Riesgos de nevadas 5

3.1.2. Riesgos antrópicos 5

3.1.2.1. Riesgo de incendio 5

3.1.2.2. Riesgo de transporte de mercancías peligrosas 6

3.1.2.3. Riesgo nuclear 6

3.1.2.4. Vulnerabilidad de acuíferos 6

3.1.3. Riesgos tecnológicos 7

3.1.3.1. Establecimientos SEVESO 7

3.1.3.2. Riesgos asociados a actividades propias de la construcción 7

3.1.3.3. Contaminación ambiental 7

4. ESTUDIO DE CAMBIO CLIMATICO 7

5. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO 8

6. LOS ESTUDIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS LINEALES. FERROCARRILES 8

6.1. Cálculo de las emisiones de GEI 8

6.2. Evaluación de los impactos del cambio climático sobre la infraestructura 9

7. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL PRESENTE PROYECTO A LOS FACTORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO 11

7.1. Escenarios 11

7.2. Ámbito de proyecto 12

7.3. Escenario climático RCP 4.5 para la variable temperatura 12

7.3.1. Temperatura máxima 12

7.3.2. Temperatura mínima 13

7.3.3. Número de noches cálidas 13

7.3.4. Número de días cálidos 14

7.3.5. Duración máxima de olas de calor 14

7.3.6. Amplitud térmica 15

7.3.7. Temperatura máxima extrema 15

7.3.8. Temperatura mínima extrema 16

7.4. Escenario climático RCP 4.5 para la variable precipitación 16

7.4.1. Precipitación 16

7.4.2. Precipitación máxima en 24 horas 17

7.4.3. Número de días de lluvia 17

7.4.4. Precipitación máxima acumulada en 5 días 18

7.5. Escenario climático RCP 4.5 para la variable viento 18

7.5.1. Velocidad del viento 18

7.5.2. Velocidad máxima del viento 19

7.6. Escenario climático RCP 4.5 para la variable humedad 19

7.6.1. Humedad relativa 19

7.7. Análisis de resultados 20

7.8. Identificación de las sensibilidades del proyecto al cambio climático 21

1. INTRODUCCIÓN

Al objeto de atender a lo establecido en la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación ambiental, modificada por la Ley 9/2018, de 5 de diciembre, en relación con la consideración de la vulnerabilidad del proyecto en el contenido del Estudio de Impacto Ambiental, se realiza en el presente Apéndice un análisis y descripción de los efectos adversos previsibles sobre los factores ambientales derivados de la vulnerabilidad del proyecto ante riesgo de accidentes graves o de catástrofes.

2. CONTENIDO DEL APENDICE

El contenido del presente Apéndice pretende exponer los aspectos principales para dar cumplimiento a los establecido en el punto d) del artículo 35 de la Ley 9/2018, en el que se dice se incluirá en el estudio de impacto ambiental *"un análisis preliminar de los efectos previsibles sobre los factores ambientales derivados de la vulnerabilidad del proyecto ante riesgos de accidentes graves o de catástrofes, y sobre los probables efectos adversos significativos sobre el medio ambiente, en caso de ocurrencia de los mismos, o bien informe justificativo sobre la no aplicación de este apartado al proyecto*", así como abordar un estudio de cambio climático que permita, por un lado, medir la contribución de la infraestructura al cambio climático y, por otro, evaluar los efectos que el cambio climático puede tener sobre ésta y, consecuentemente diseñar en caso de que fuera necesario, medidas preventivas, correctoras o compensatorias para paliarlo.

Por tanto, el presente documento presenta una identificación de los contenidos que deben considerase en el proyecto y las principales previsiones de cambio climático que podrían afectar a la infraestructura, obtenidas a partir de la plataforma AdapteCCA. Este proyecto es una iniciativa de la Oficina Española de Cambio Climático y la Fundación Biodiversidad que, junto con las unidades responsables en materia de adaptación al cambio climático de las Comunidades Autónomas, identificaron de forma conjunta la necesidad de contar con un instrumento de intercambio de información y comunicación entre todos los expertos, organizaciones, instituciones y agentes activos en este campo, a todos los niveles.

3. ANALISIS DE LOS EFECTOS PREVISIBLES SOBRE LOS FACTORES AMBIENTALES DERIVADOS DE LA VULNERABILIDAD DEL PROYECTO ANTE RIESGOS GRAVES O CATÁSTROFES.

Dentro del artículo 5 de esta misma Ley 21/2013, recoge entre sus definiciones las siguientes:

f) "Vulnerabilidad del proyecto": características físicas de un proyecto que pueden incidir en los posibles efectos adversos significativos que sobre el medio ambiente se puedan producir como consecuencia de un accidente grave o una catástrofe.

g) "Accidente grave": suceso, como una emisión, un incendio o una explosión de gran magnitud, que resulte de un proceso no controlado durante la ejecución, explotación, desmantelamiento o demolición de un proyecto, que suponga un peligro grave, ya sea inmediato o diferido, para las personas o el medio ambiente.

h) "Catástrofe": suceso de origen natural, como inundaciones, subida del nivel del mar o terremotos, ajeno al proyecto que produce gran destrucción o daño sobre las personas o el medio ambiente.

3.1. CLASIFICACIÓN DEL RIESGO

Según su origen, los riesgos se pueden clasificar, de acuerdo con la Agencia de las Naciones Unidas para la Coordinación de los Socorros en caso de Catástrofe (UNDRO) en tres tipos, dentro de cada uno de ellos, se indican aquellos que tienen relación con la actividad objeto del estudio, así como las características climáticas y orográficas del ámbito del estudio.

Riesgos naturales: Son riesgos cuyo desencadenante no está directamente provocado por la actividad humana, sino por factores geológicos y climáticos.

Riesgos antrópicos: Aquellos provocados o derivados de las acciones o actividades humanas.

Riesgos tecnológicos: Riesgos antrópicos que derivan del desarrollo tecnológico y la aplicación y uso significativo de tecnologías.

3.1.1. Riesgos naturales

3.1.1.1. Riesgo sísmico

La peligrosidad sísmica es la probabilidad de excedencia de un cierto valor de la intensidad del movimiento del suelo producido por terremotos, en un determinado emplazamiento y durante un periodo de tiempo dado.

La peligrosidad sísmica de España no es despreciable, pues se halla ubicada en el borde sudoeste de la placa Euroasiática en su colisión con la placa africana.

Los grados de intensidad sísmica según la escala European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98) se miden según los efectos provocados por el terremoto en las personas, los efectos en los objetos y en la naturaleza y los daños en edificios.

En España, se establecen los siguientes grados de intensidad sísmica:

I. No sentido
II. Apenas sentido
III. Débil
IV. Ampliamente observado
V. Fuerte
VI. Levemente dañino
VII. Dañino
VIII. Gravemente dañino

Figura 1. Peligrosidad sísmica de España (Periodo de retorno 500 años). Fte: CNIG

De acuerdo con el Mapa de Peligrosidad sísmica de España, la actuación se ubica en la zona de menor peligrosidad sísmica de las existentes en España, considerándose por ello que el riesgo sísmico es bajo y que los daños sobre estructuras tendrían carácter leve.

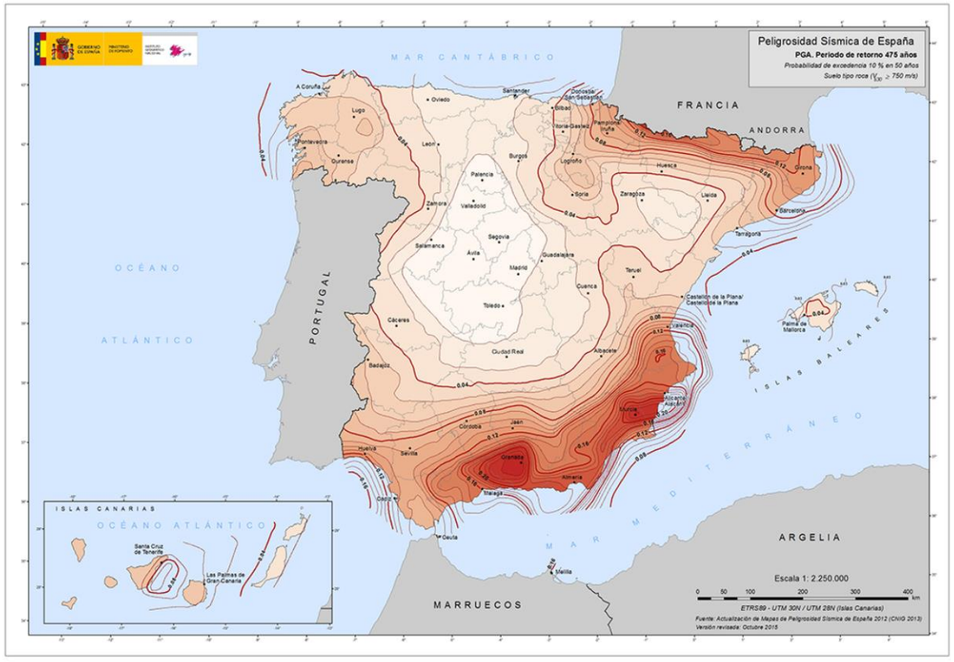


Figura 2. Peligrosidad sísmica en la zona de actuación en valores de aceleración.

Fte: Actualización del Mapa de Peligrosidad Sísmica de España 2015, CNIG

En términos de valores de aceleración, representados en la figura anterior, las isolíneas muestran la variación regional de la peligrosidad para un periodo de retorno de 475 años en términos de PGA (peak ground aceleration), o aceleraciones máximas calculadas para un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años. La aceleración máxima del suelo (PGA) está relacionada con la fuerza de un terremoto en un sitio determinado. Cuanto mayor es el valor de PGA, mayor es el daño probable que puede causar un seísmo.

La zona de actuación se sitúa entre las isolíneas con valores PGA entre 0,06 y 0,07 cm/s^2, debiéndose tener en cuenta posibles efectos de un seísmo en los terrenos potencialmente más inestables. En este sentido, a partir de los materiales identificados en la zona, los posibles problemas geotécnicos estarán asociados a los fenómenos de disolución en el sustrato yesífero y a los elevados contenidos en sulfatos de las aguas freáticas. Asimismo, en los materiales aluviales puede suponer un problema geotécnico la variabilidad del nivel freático debido a las prácticas de riego implantadas en los municipios afectados.

No obstante, no existen datos registrados de terremotos ni movimientos sísmicos en la zona, localizándose el foco más cercano en Enciso (La Rioja), situado a más de 40 km del municipio de Calahorra.

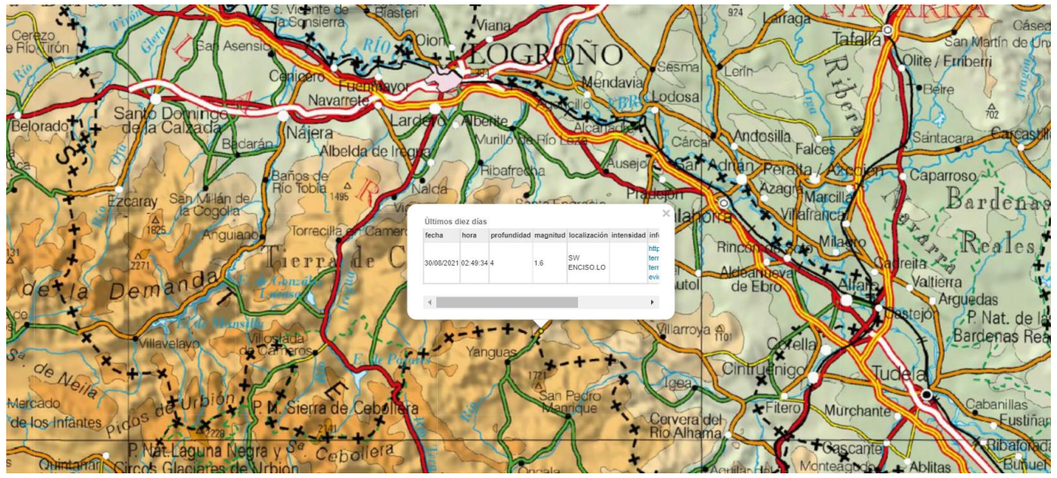


Figura 3. Información sísmica y volcánica de España. Fte: GeaMap, IGN

En conclusión, en base a la tipología del proyecto, y al riesgo bajo de sismicidad en la zona, no se considera necesario establecer un plan específico de actuación.

3.1.1.2. Riesgos geológicos por hundimientos, deslizamientos y desprendimientos

Los deslizamientos son movimientos de masa de suelo o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de roturas netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies; las masas generalmente se desplazan en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido. Los movimientos de ladera o deslizamientos constituyen un riesgo geológico de origen natural o inducido.

En el valle del Ebro la estructura geológica presenta niveles de suelos con baja compacidad en las llanuras aluviales, terrazas y fondos de valle, apareciendo inclusive capas de sedimentos finos poco consolidados y, por tanto, de baja compacidad.

Los principales ríos que drenan al río Ebro manifiestan un claro predominio de los procesos erosivos y de encajamiento sobre los procesos sedimentarios, que podrían incidir en las unidades de obra que afecten a los cursos fluviales. Adicionalmente, los niveles más blandos limo-arcillosos

se erosionan y los estratos de areniscas en cotas más altas quedan suspendidos, pudiendo quebrarse después con el consiguiente fenómeno de caídas de bloques.

Asimismo, también pueden producirse deslizamientos en laderas excavadas por los ríos o disolución de formaciones con alto contenido en yeso.

Dentro del ámbito de actuación de los ejes de trazado en estudio, la zona más sensible se localiza en Alcanadre, donde la actual línea férrea Castejón-Bilbao discurre por la margen derecha del valle del río Ebro aflorando en su recorrido arcillas rojas con capas delgadas de yeso, caliza y areniscas de la Faciación Carcar (T3). En esta área los taludes del acantilado terciario pueden presentar problemas de estabilidad y desprendimientos, y ser necesaria la adopción de medidas correctoras de sujeción.

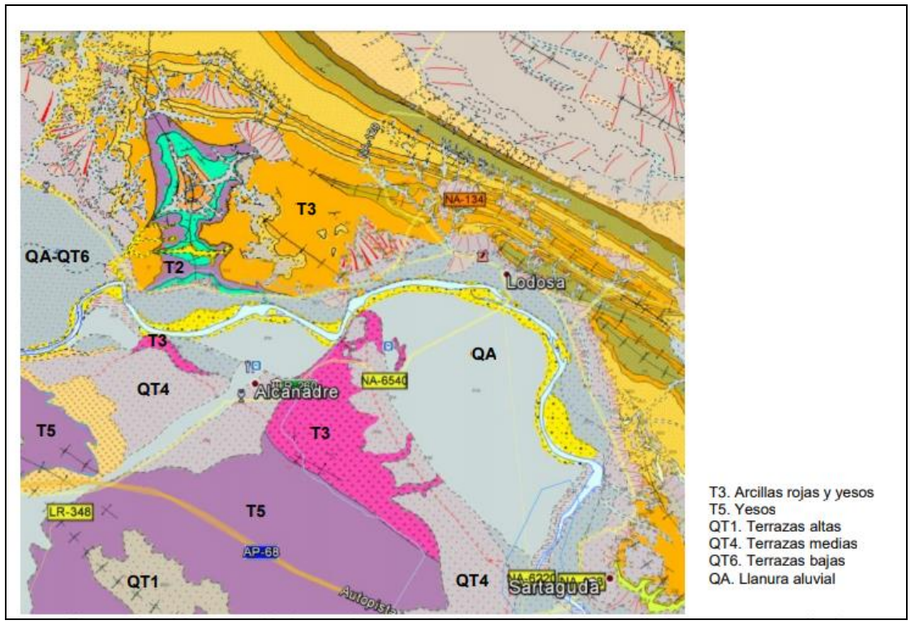


Figura 4. Extracto del Mapa geológico en la zona de Alcanadre (Fte: Cartografía digital IGME)

Por otro lado, y debido a las crecidas del río Alhama (entre los P.K. 3+100 a P.K. 3+900) para la alternativa 1.2 propuesta y del barranco de la Yasa Agustina (entre los P.K.19+500 a P.K. 20+000), se realizarán ambos estudios del deslizamiento de taludes.

3.1.1.3. Fenómenos de subsidencia por hundimientos y colapsos

Los depósitos sedimentarios cuaternarios con contenidos de limos yesíferos (terrazas fluviales, glacis, conos de deyección, fondos de valle, etc.), procedentes de la meteorización del substrato terciario, son susceptibles al colapso debido a la erosión hídrica, su baja densidad y a la pérdida de cohesión por efecto del agua. Estos suelos pueden sufrir problemas de karstificación y pérdidas de resistencia por la acción del agua.

En las vaguadas se acumulan los limos yesíferos principalmente. En las terrazas aluviales del río Ebro se pueden desarrollar fenómenos de hundimiento por disolución del sustrato yesífero infra yacente. La acción de la infiltración y las oscilaciones del nivel freático en los aluviones cuaternarios generan la disolución de los yesos, creación de cavidades y el colapso de la cobertera detrítica cuaternaria (terrazas fluviales, glacis, conos de deyección, fondos de valle, etc.). Su manifestación en superficie es la formación de dolinas y depresiones.

3.1.1.4. Riesgos erosivos

Dentro de los riesgos naturales que puede sufrir el ámbito de actuación que acogerá el proyecto, se incluyen en este apartado los riesgos erosivos asociados a la litología del territorio.

En este sentido, cabe destacar en el ámbito de la Comunidad Foral de Navarra, la clasificación de los Suelos No Urbanizables sometidos a Riesgos Naturales, que resulta de la aplicación del POT 5 “Eje del Ebro”, definidos en el Art. 22 como “aquellos terrenos amenazados por riesgos naturales o de otro tipo que sean incompatibles con su urbanización, tales como inundación, erosión, hundimiento, desprendimiento, incendio, contaminación o cualquier otro tipo de perturbación de la seguridad y salud del ambiente natural”.

Entre ellos se encuentran las “Zonas con riesgo de movimientos en masas. Caídas de bloques y desprendimientos” (SNUPrtR: MM). Se trata de cortados de yesos y arcillas que delimitan los suelos del periodo Cuaternario de los suelos del periodo Terciario, en el entorno de los grandes ríos del ámbito de actuación.

Los principales procesos erosivos existentes son acarcavamientos desarrollados sobre arcillas miocenas, dando lugar a socavones, dolinas y barrancos de paredes verticales, debido a la existencia de una composición homogénea del material y pendiente. Los depósitos cuaternarios se ven afectados por deformaciones debidas a la migración diapírica de las margas miocenas. A

pesar de ello estos procesos de erosión y deformación, son leves o incluso nulos en la mayor parte del territorio recorrido por los distintos ejes de trazado.

La zona, en general, presenta un bajo riesgo de erosión al tratarse de un área de escaso relieve y pluviometría relativamente seca. En este sentido, en la mayor parte del territorio los procesos erosivos son leves o incluso nulos, y tampoco se detectan deslizamientos, desprendimientos, ni hundimientos. A pesar de ello, y dado la deforestación que se ha llevado a cabo con el tiempo para la obtención de mayores superficies de cultivo, en las áreas de mayor pendiente los procesos erosivos son considerados moderados (entre 10-50 Tm por ha y año).

3.1.1.5. Riesgos de acarcavamientos y sufusión

Dentro del ámbito del eje Alt. 1.2, existen dos tipos de procesos de erosión sobre las arcillas miocenas de la Formación Alfaro (Alfaro, Calahorra) y los limos y arcillas cuaternarios, el carcavamiento y la sufusión o “piping”.

El carcavamiento está favorecido por la homogeneidad litológica y por un clima con tormentas con gran capacidad de erosión en momentos puntuales.

Por su parte, la sufusión consiste en la formación de conductos naturales en depósitos no consolidados. La escorrentía superficial es interceptada por grietas y el agua percola y se mueve lateralmente hacia una pared de barranco o escarpe de terraza. En el punto de surgencia el flujo remueve partículas de arcilla y limo agrandando el conducto, de modo que al final puede producirse el colapso del túnel, dando lugar a socavones, dolinas y barrancos de paredes verticales, como es el caso del barranco de La Degollada en el municipio de Calahorra.

El factor determinante que controla el desarrollo de cárcavas o sufusión es, además de la composición del material, la pendiente del terreno. En este sentido, la sufusión se da en zonas de pendiente escasa o nula, y el carcavamiento es predominante en zonas de elevada pendiente.

3.1.1.6. Riesgos de inundación

Para identificar los riesgos de inundación en el ámbito de estudio se ha consultado la cartografía elaborada por la CHE y el MITECO.

Asimismo, en la Comunidad Foral de Navarra resulta de aplicación el *POT 5 “Eje del Ebro”* que incluye dentro de los Suelos No Urbanizables los sometidos a riesgos naturales (*Art. 22*), definidos como aquellos terrenos amenazados por riesgos naturales o de otro tipo que sean incompatibles con su urbanización, tales como inundación, erosión, hundimiento, desprendimiento, incendio, contaminación o cualquier otro tipo de perturbación de la seguridad y salud del ambiente natural.

Entre ellos se encuentran las “*Zonas inundables*” (SNUPrtR: ZI), que incluyen las zonas inundables valoradas mediante modelos hidráulicos y las llanuras de inundación o aluviales y fondos de valle, cuya delimitación se encuentra disponible en la web Open Data Navarra (https://gobiernoabierto.navarra.es/es/open-data/).

La representación gráfica de las zonas de riesgo de inundación incluidas en el ámbito de actuación se recoge en el Plano nº 16 del APÉNDICE 1, en el que se han contemplado los niveles de riesgo asociados al Periodo de Retorno considerado en el Servicio Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), correspondientes a: Alto, T= 10 años, Medio, T= 50 años y Bajo, T=500 años.

3.1.1.7. Riesgos de nevadas

Según la información recabada no hay riesgos de nevadas importantes en la zona de actuación.

Se considera, por lo tanto, que el riesgo de nevadas en el entorno del proyecto es BAJO ya que la frecuencia de 3 a 12 días de nieve por año.

3.1.2. Riesgos antrópicos

3.1.2.1. Riesgo de incendio

El riesgo de incendio está condicionado por las características de la vegetación presente y las características climáticas de la zona de estudio. Según se extrae del *Mapa del riesgo de incendios de La Rioja* del Plan Territorial de Protección Civil de La Rioja (PLATECAR), elaborado en abril de 2015, en la mayor parte el riesgo es moderado debido a la escasez de precipitaciones y humedad.

La gestión de los incendios forestales en La Rioja está regulada por el *Decreto 31/2017, de 30 de junio, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales en la Comunidad Autónoma de La Rioja (INFOCAR)*, donde se definen las Zonas de Alto Riesgo de Incendio (ZAR), definidas como áreas en las que la frecuencia o virulencia de los

incendios forestales, y la importancia de los valores amenazados, hagan necesarias medidas especiales de protección contra los incendios y así sean declaradas por la correspondiente Comunidad Autónoma, de acuerdo a la Ley 43/2003 de Montes y la Ley 10/2006 que la modifica.

Dentro del ámbito de estudio no se localiza ninguna ZAR, ni se encuentra registrado ningún municipio en el listado de los que se consideran de riesgo.

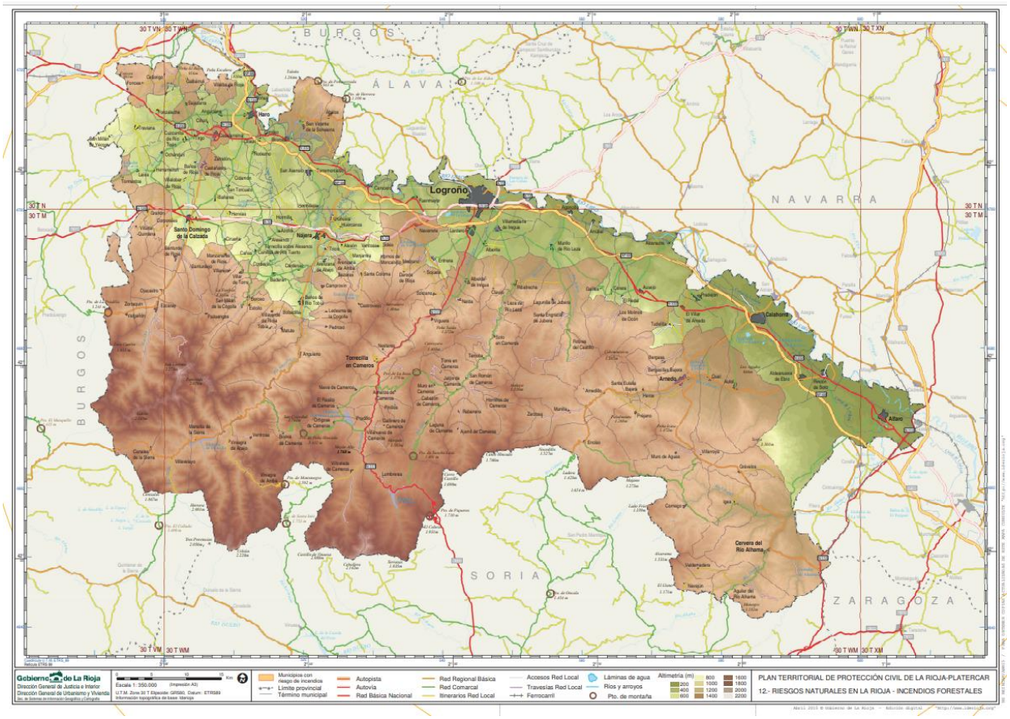


Figura 5. Riesgos de Incendios forestales en La Rioja. Fte: PLATERCAR

Asimismo, el riesgo potencial de incendios recogido en el Decreto 31/2017, de 30 de junio, determina la siguiente clasificación por comarcas:

- Bajo Cidacos. Riesgo potencial Bajo. Superficie forestal (ha): 13,79%
- Alhama. Riesgo potencial Moderado. Superficie forestal (ha): 31,13%
- Bajo Iregua/Bajo Leza. Riesgo potencial Moderado. Superficie forestal (ha): 22,68%

3.1.2.2. Riesgo de transporte de mercancías peligrosas

Se ha realizado la consulta del Mapa Regional de Riesgos Tecnológicos publicado en mayo de 2005 por el Departamento de Protección del Gobierno de La Rioja, y se identifican con riesgo por el transporte de mercancías peligrosas la vía férrea Bilbao-Castejón, la autopista AP-68 y la carretera N-232.

3.1.2.3. Riesgo nuclear

El trazado se encuentra fuera del ámbito de las zonas de planificación de los Planes de Emergencia Nuclear de cualquier central nuclear.

La central nuclear más cercana se encuentra en Trillo (Guadalajara) a una distancia de unos 254 Km del trazado.

La vulnerabilidad del proyecto a este tipo de riesgo es NULA.

3.1.2.4. Vulnerabilidad de acuíferos

Tal y como se refleja en el Plano nº16. Riesgos naturales del APÉNDICE 1, la zona de alta permeabilidad del Ebro y afluentes presenta un alto grado de vulnerabilidad, si bien los aluviales de matriz arcillosa y cuaternarios semi consolidados presentan vulnerabilidad media. Las zonas de sedimentos terciarios continentales impermeables se consideran de vulnerabilidad baja.

Datos extraídos de la CHE determinan el registro de contaminación por nitratos, con concentraciones superiores a 100 mg/l, en los límites laterales del aluvial del Ebro entre los ríos Aragón y Ega, al tratarse principalmente de la zona de menor tasa de renovación y con alta recarga por los retornos de riego. El resto del Aluvial del Ebro registra contenidos de nitratos por debajo de los 25 mg/l.

En la siguiente Figura se refleja la clasificación establecida en el Mapa de Vulnerabilidad frente a la Contaminación de acuíferos de la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Navarra.

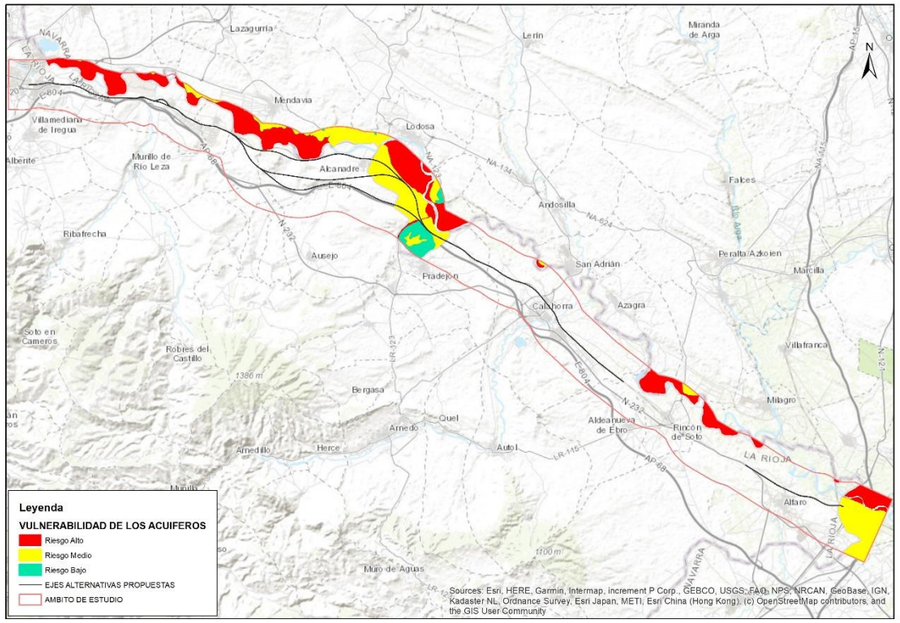


Figura 6. Vulnerabilidad de los acuíferos.

La vulnerabilidad de la unidad del aluvial Cenicero-Lodosa o La Rioja-Mendavia, es alta, debido a la elevada contaminación difusa de origen agrícola, principalmente, y de origen urbano e industrial.

3.1.3. Riesgos tecnológicos

3.1.3.1. Establecimientos SEVESO

En relación con los riesgos tecnológicos del área de actuación, se considera la normativa SEVESO II, traspuesta al ordenamiento español por el Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, de obligado cumplimiento para todas aquellas actividades que manejen sustancias calificadas como peligrosas.

Respecto a la Normativa SEVESO II, se destaca que en La Rioja no hay ningún establecimiento afectado, según los datos obtenidos de la Dirección General de Protección Civil.

Por tanto, la vulnerabilidad del proyecto a este tipo de riesgo se considera NULA.

3.1.3.2. Riesgos asociados a actividades propias de la construcción

Riesgos asociados a explosiones, manejo de maquinaria, accidentes de circulación, durante la fase constructiva.

3.1.3.3. Contaminación ambiental

La circulación de vehículos genera la emisión de partículas a la atmósfera que aumentarán los niveles de contaminación. Este riesgo ya está analizado en el estudio de impacto ambiental.

4. ESTUDIO DE CAMBIO CLIMATICO

A partir de la recopilación de las variaciones posibles observadas en los factores climáticos disponibles se deberá realizar un análisis en detalle en la fase posterior de proyecto constructivo.

La Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones unidas (CMNUCC) define el cambio climático como el "*Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables*".

El conjunto de científicos expertos en cambio climático que forman el *Intergovernmental Panel on Climate Change*, en su Quinto Informe publicado con el título "*Cambio Climático 2014*" concluye que:

- La influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropógenas recientes de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son las más altas de la historia.
- La emisión continua de GEI causará un mayor calentamiento y cambios duraderos en todos los componentes del sistema climático.
- Para contener el cambio climático sería necesario reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de GEI. Si en los próximos decenios se reducen sustancialmente las emisiones, se pueden lograr disminuciones en los riesgos climáticos a lo largo del siglo XXI.

En la actualidad, el cambio climático se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial y por ello se han adoptado convenios internacionales para la

reducción de emisión de GEI a nivel global. España, como país integrante de la Unión Europea, ratificó el Protocolo de Kioto, en virtud del cual se definieron unos compromisos concretos de reducción de las emisiones de GEI.

5. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Las infraestructuras lineales de transporte y el cambio climático tienen una relación recíproca, siendo ambos factores causantes y receptores de impactos: las infraestructuras contribuyen al cambio climático precisando medidas de mitigación, y el cambio climático afecta a las infraestructuras, requiriendo adaptación, que a su vez pueden generar impactos.

Para evaluar la vulnerabilidad del proyecto se tienen en cuenta tres variables: exposición, elementos susceptibles y capacidad de adaptación, los cuáles podrían tener un impacto importante en la probabilidad de sufrir daños.

Medir la vulnerabilidad requiere, ante todo, una clara comprensión y definición del concepto de vulnerabilidad. Una de las definiciones más conocidas fue la formulada por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UN/ISDR), que definió la vulnerabilidad como "*La medida en que un sistema natural o social es susceptible de sufrir daños por el cambio climático y depende de la sensibilidad al clima, la capacidad de adaptación (para absorber o compensar los daños o beneficiarse del cambio climático) y el grado de exposición a los riesgos climáticos"* (IPCC, 2001).

6. LOS ESTUDIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS LINEALES. FERROCARRILES.[1]

6.1. Cálculo de las emisiones de GEI

En la fase de construcción se producen dos tipos de emisiones de GEI, directas e indirectas. Las emisiones directas proceden de las actividades desarrolladas en la obra que conllevan un consumo de energía o combustible. La principal fuente es la maquinaria, con un papel secundario de las instalaciones, salvo casos especiales como fábricas de dovelas, hormigones o plantas asfálticas. Las emisiones indirectas son aquéllas inducidas por las obras, aunque no generadas directamente, como, por ejemplo:

- Fabricación de materiales empleados en las obras (piezas prefabricadas, señalización, superestructura, raíles, elementos de seguridad, pinturas…).
- Excavación en canteras y préstamos o depósitos en vertederos.
- Transporte de materiales. El transporte de tierras suele incluirse como parte de la obra, pero la mayoría de los materiales se abonan a pie de obra, incluyendo el transporte en su precio. Estas partidas pueden ser considerables, por ejemplo, cuando hay un elevado volumen de hormigones procedentes de planta.
- Desplazamientos de trabajadores inducidos por las obras, tanto para acceder a los puestos de trabajo como para la gestión y ejecución.
- Electricidad adquirida. Incluye los GEI emitidos en la generación de electricidad que se produce fuera del lugar, y que es utilizada en la obra.

La contribución al cambio climático en ferrocarriles no es un impacto tan relevante como en las carreteras, por su mayor eficiencia, y porque la mayoría del tráfico captado, tanto pasajeros como mercancías, proviene de medios de transporte más contaminantes como la carretera o el avión. Por ello, en la evaluación de impacto ambiental de proyectos, la contribución al cambio climático en un proyecto ferroviario, a menudo un impacto positivo, no tiene la misma trascendencia que en una carretera.

En los ferrocarriles, la contribución al cambio climático durante la fase de explotación está determinada por el consumo energético, el origen de la energía y la longitud de los trazados.

A partir de los resultados de emisiones que serán calculados en la fase de construcción, se deberá diseñar medidas de mitigación preventiva que comprenden aquéllas destinadas a evitar la ocurrencia de impactos ambientales, que en el caso del cambio climático son la emisión de GEI o la destrucción de sumideros de CO_2.

Así, por ejemplo, diferentes tipologías constructivas para una misma actuación pueden tener repercusiones importantes en cuanto a las emisiones de GEI en la construcción. La selección de

[1] La elaboración de este apartado se fundamenta en la Tesis Doctoral de D. Álvaro Enríquez de Salamanca Sanchez-Cámara titulada *"Consideración del cambio climático en la evaluación de impacto ambiental de infraestructuras lineales de transporte",* UNED, 2017.

una u otra alternativa de ejecución deberá considerar las emisiones de GEI de cada una de ellas dentro de los aspectos que influyan en la toma de decisiones. Algunos ejemplos son:

- Tipología de túneles. La construcción de tramos subterráneos puede hacerse mediante excavación en mina o mediante falsos túneles. La decisión suele estar condicionada por aspectos geotécnicos, ambientales, urbanísticos o económicos, pero también podría incorporarse a la toma de decisiones las emisiones de GEI de cada alternativa constructiva.

- Tipologías de viaductos. El tipo de viaductos, tanto su diseño como su forma de ejecución, suele estar condicionada por aspectos hidrológicos, ambientales, funcionales y económicos. Según la tipología variará el tipo y cantidad de materiales utilizados y la forma de ejecución, y con ello las emisiones de GEI.

- Tipologías de muros y defensas. La construcción de muros de retención dependerá sobre todo de aspectos geotécnicos, funcionales y de seguridad, así como económicos. Sin embargo, dependiendo de la tipología (hormigón in situ, prefabricados, gaviones, escolleras, bloques, muros verdes...) pueden variar notablemente las emisiones de GEI.

- Tipología de secciones. Una sección de una infraestructura, tanto si discurre en terraplén como en desmonte, puede diseñarse con taludes o bien emplearse muros, para reducir la ocupación o el volumen de tierras excavadas o aportadas. Ambas opciones tienen una influencia directa en las emisiones asociadas.

De la misma forma, la decisión del empleo de unos u otros materiales puede tomarse en la fase de diseño o en la propia ejecución, dependiendo del material concreto de que se trate. Se pueden adoptar medidas de mitigación en el diseño de las infraestructuras considerando las emisiones de GEI de los materiales constructivos, de manera que, a igualdad de operatividad o funcionalidad, se primen los materiales de menor impacto. Este es un criterio para considerar, por ejemplo, en la selección del tipo de plataforma ferroviaria.

Por otra parte, en el caso del transporte ferroviario, cuanto mayor sea la captación de viajeros mayor será la reducción del uso de otros modos de transporte con mayores emisiones, lo que induce una reducción en las emisiones globales. El diseño de los trazados, en especial su longitud, geometría y puntos conectados determinan la velocidad de circulación y tiempos de viaje, y la población alcanzada, por lo que condicionan la captación de viajeros y la efectividad del transporte.

Con carácter general, cuando más corto sea un recorrido ferroviario y menos paradas tenga, más rápido será el transporte, y más competitivo con respecto a otros modos de transporte. Sin embargo, ambos factores, longitud y paradas, puede reducir el número de puntos servidos, y con ello la población potencial usuaria.

A la inversa, recorridos largos y con muchas paradas captan mucha población potencial, pero a costa de un transporte lento y poco competitivo en tiempo con otros modos.

Además del diseño de medidas preventivas, como las que se han descrito en los párrafos anteriores, será preciso proceder al diseño de medidas correctoras, que tienen por objeto corregir, paliar, atenuar o minimizar impactos que se producirán de forma cierta e inevitable. Las posibilidades de mitigación correctiva de la contribución al cambio climático son muy limitadas. Es posible lograr una minimización en las emisiones aplicando las medidas preventivas indicadas con anterioridad, pero si se emiten GEI la única alternativa es la compensación, como se expone en el siguiente apartado. Sólo existe un caso en que se puede hablar de mitigación correctiva, la restauración de la cubierta vegetal afectado por las obras, ya que cuando la implantación de vegetación se hace en otro lugar, como sustitución de la vegetación destruida, se trataría de una medida compensatoria.

Aplicando la jerarquía de la mitigación, una vez aplicadas todas las medidas de prevención posibles, se deberían compensar los impactos residuales inevitables, en este caso las emisiones de GEI. La mitigación compensatoria asociada al cambio climático se puede acometer desde dos grandes perspectivas, secuestro o evitar nuevas emisiones.

6.2. Evaluación de los impactos del cambio climático sobre la infraestructura

El estudio de cambio climático que se redactará en la fase de proyecto constructivo deberá abordar la evaluación de los impactos del cambio climático en las infraestructuras de transporte, dado que éstas deben perdurar en el tiempo, expuestas a la intemperie, que acaba deteriorando los materiales o afectando a la estabilidad de taludes o estructuras. Por ello, su diseño se hace pensando en la durabilidad y se prevé su conservación para alargar la vida útil y mantener la operatividad. El cambio climático altera los parámetros meteorológicos e induce nuevos riesgos, pudiendo variar la agresividad natural del clima, y con ello sus efectos sobre las infraestructuras.

Se identifican como impactos asociados al cambio climático, los siguientes aspectos:

- Pandeo de railes: Los raíles ferroviarios, construidos de acero, son sensibles a la temperatura ambiente, estando sujetos a fuerzas de contracción bajo temperaturas frías y de dilatación bajo temperaturas elevadas. Un excesivo calentamiento de los raíles puede dar lugar a una dilatación que, al ser un raíl continuo, produce una deformación o pandeo.

- Pandeo de la catenaria: Al ser una línea aérea suspendida pueden variar las flechas en función de la temperatura.

- Afección al confort térmico: El incremento de las temperaturas afecta al confort térmico de los viajeros, siendo necesario el uso de aire acondicionado. Cuando se dispone de él, la pérdida de confort se soluciona con un uso más frecuente o intenso del aire acondicionado, pero esto a su vez implica unos mayores consumos energéticos, de electricidad o de carburante.

- Afección a firmes: El impacto en los firmes asociado a cambios en las temperaturas tiene una doble vertiente, un mayor deterioro por aumento de las temperaturas máximas estivales, y un menor deterioro por la reducción de los días con hielo y nieve en invierno.

- Afección a señalización y equipamiento: el incremento de las temperaturas y olas de calor supone un incremento del soleamiento que puede afectar a la durabilidad de algunos elementos de señalización por efecto de los rayos ultravioletas, puede acelerar el envejecimiento de las marcas viales, o provocar roturas en los elementos de unión de tramos largos de barreras de seguridad metálicas.

- Recalentamiento de equipos y motores: parece que mayores temperaturas podrían incrementar los problemas de funcionamiento de grandes motores o equipos, obligando a su parada. En líneas ferroviarias puede afectar especialmente a los transformadores.

- Afección a estructuras y fatiga de materiales: un impacto asociado al incremento de las temperaturas es la afección a estructuras por un recalentamiento, en concreto por expansión de las juntas, que puede afectar a su operación. Más importante puede ser la deformación de puentes metálicos.

- Impactos asociados a las tormentas: Un problema importante asociado a las tormentas, aparte de las precipitaciones, es el aparato eléctrico, que puede originar sobretensiones en las líneas eléctricas de suministro, las subestaciones de tracción, la catenaria o los vehículos tractores, y que pueden dar lugar a daños en el equipamiento eléctrico.

- Inundación y afección a sistemas de drenaje: Uno de los efectos más importantes asociado a la mayor irregularidad en las precipitaciones y precipitaciones extremas es el riesgo de inundación de las infraestructuras, y la afección a los sistemas de drenaje.

- Inundación de pasos inferiores: Las infraestructuras lineales de transporte generan un importante efecto barrera en el territorio, interceptando otros elementos lineales como cauces, caminos, carreteras o ferrocarriles. La reposición de caminos hace precisa la construcción de pasos que crucen la infraestructura, que dependiendo de su alzado podrán ser superiores o inferiores. Los pasos inferiores tienen menor coste y a menudo mejor aptitud para la fauna, estando menos expuestos al tráfico. Sin embargo, son susceptibles de inundarse en episodios lluviosos intensos.

- Erosión en puentes: La erosión o socavamiento de cimientos en puentes es uno de los impactos más importantes sobre las infraestructuras lineales de transporte en términos económicos asociados al cambio climático. Una mayor irregularidad y agresividad en las precipitaciones, con lluvias intensas en periodos cortos de tiempo, llevan a una mayor torrencialidad en los cauces, aumentando su capacidad de arrastre y erosión en el lecho, y en cimentaciones de puentes.

- Daños en pavimentos: entre los efectos del incremento de episodios lluviosos intensos se encuentra la afección a pavimentos. En realidad, estos daños están relacionados principalmente con afecciones a la estabilidad de la plataforma, por deslizamientos o hundimientos o por subsidencia.

- Inestabilidad en taludes, deslizamientos y hundimientos: Las precipitaciones pueden afectar a la estabilidad de taludes y plataformas, tanto a causa de procesos erosivos como por saturación del suelo, favoreciendo los deslizamientos, sobre todo si alternan capas geológicas diferenciadas con un comportamiento diferente ante el agua. Un incremento en los episodios lluviosos intensos puede dar lugar a su vez a una mayor incidencia de problemas asociados a la estabilidad de taludes y plataforma.

- Socavamiento: El socavamiento es una rotura y desaparición de parte de la plataforma, producida como situación extrema de daños en un terraplén, por procesos erosivos o por un

deslizamiento. Suele producirse cuando coinciden taludes de gran desarrollo o pendiente, materiales geológicos propensos, mala revegetación, problemas de diseño del drenaje y un fenómeno desencadenante

- Deslizamientos: Los deslizamientos son movimientos de una masa de suelo por pérdida de estabilidad. En estos movimientos, una determinada parte del terreno se vuelve inestable, deslizándose sobre otra parte que permanece estable. En función de la entidad de la masa inestable que desliza, la importancia del fenómeno puede ser mayor o menor. Pueden ocasionar la rotura de la plataforma de una infraestructura, o su ocupación, interrumpiendo el servicio.

- Desprendimiento de rocas: Los desprendimientos son caídas de rocas a la plataforma de las infraestructuras al perder su coherencia o estabilidad. Es probablemente el problema más habitual relacionado con la estabilidad de terrenos, obligando a colocar mallas protectoras en taludes o defensas mayores. Tras episodios lluviosos intensos la estabilidad de taludes rocosos puede verse afectada, favoreciendo los desprendimientos.

- Erosión de taludes: La formación de plataformas para infraestructuras lineales de transporte exige la creación de taludes, de desmonte como resultado de la excavación, o de terraplén en zonas de aporte. En ambos casos son terrenos desnudos y con pendientes acusadas, según la tipología de materiales, en general iguales o superiores a 2H:1V. Los desmontes suelen ser compactos, al ser terreno natural que aflora con la excavación, mientras que los terraplenes son aportes compactados, pero no tan duros.

- Impactos asociados al viento: En ferrocarriles los riesgos son mayores que en carreteras, debido a la superestructura, y en especial a la electrificación. Los vientos intensos pueden afectar a la catenaria por su desplazamiento. Existe una estricta regulación y homologación, que define la velocidad máxima del viento que puede soportar la línea aérea de contacto; en caso de superarse debe interrumpirse el servicio.

7. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL PRESENTE PROYECTO A LOS FACTORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

7.1. Escenarios

No existe certeza sobre las tendencias climáticas a las que habrá que hacer frente, con lo cual se trabaja sobre escenarios y proyecciones de cambio climático. Estas proyecciones del clima, además, tienen que ser lo más locales posibles.

Los modelos climáticos constituyen la mejor herramienta actualmente disponible para estimar como afectarán los cambios de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en los cambios en el clima. A medida que mejora el conocimiento de los procesos que tienen lugar en el sistema climático, mejora igualmente la habilidad para predecir los cambios climáticos que probablemente tendrán lugar.

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha definido una serie de escenarios de emisión, las denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Éstas se caracterizan por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100 que oscila entre 2,6 y 8,5W/m^2.

Las cuatro trayectorias RCP comprenden un escenario en el que los esfuerzos en mitigación conducen a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP2.6), 2 escenarios de estabilización (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP8.5).

	FR	Tendencia del FR	$[CO_2]$ en 2100
RCP2.6	2,6 W/m^2	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m^2	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m^2	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 W/m^2	creciente	936 ppm

Figura 7. Escenarios climáticos. Fuente: AEMET

Es decir, los escenarios del AR5 representan posibles evoluciones socioeconómicas sin restricciones en las emisiones conocidos como Trayectorias Representativas de Concentración (RCP) en función del forzamiento radiativo (nº):

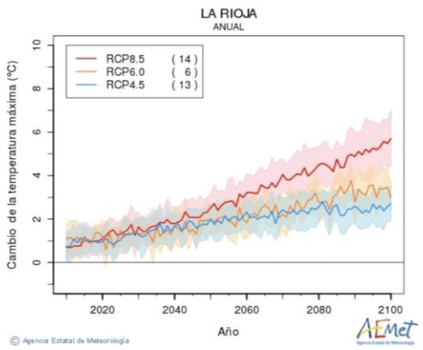
- RCP 2.6 escenario de emisiones bajas
- RCP 4.5 escenario de emisiones intermedias
- RCP 6.0 escenario de emisiones intermedias
- RCP 8.5 escenario de emisiones altas

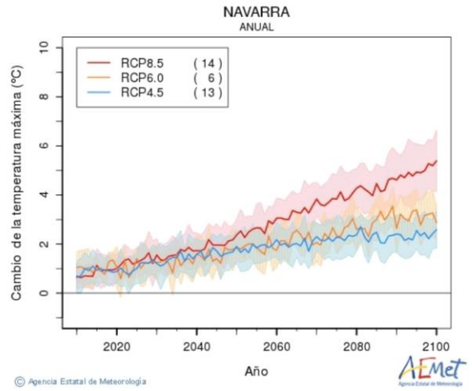
Entre estos escenarios posibles, en primer lugar, se han descartado los dos escenarios extremos: “RCP 2.6 escenario de emisiones bajas” y “RCP 8.5 escenario de emisiones altas”. Posteriormente, en la elección entre los dos escenarios de emisiones intermedias “RCP 4.5 escenario de emisiones intermedias” y “RCP 6.0 escenario de emisiones intermedias”, se ha optado por el RCP 4.5, dado que el escenario 6.5 no se encuentra disponible en la herramienta que se utilizará para el análisis (AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO)

7.2. Ámbito de proyecto

La amplitud del ámbito de estudio hace necesario considerar los datos de las comunidades autónomas atravesadas por el proyecto; Navarra y La Rioja, a pesar de que lo deseable sería que los datos fueran lo más específicos posible.

Según la información contenida en la *Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)*, dependiente del Ministerio para la Transición Ecológica, la aplicación de los escenarios relacionados en el apartado anterior (sin información para RCP 2.6) para las provincias de Navarra y La Rioja reflejaría los siguientes datos de temperatura máxima:





Tal y como se observa en los gráficos anteriores, cualquiera de los escenarios prevé la subida notable de las temperaturas máximas, provocando un calentamiento global con numerosos efectos perjudiciales descritos.

El impacto de las infraestructuras sobre el cambio climático es generalmente negativo, pero puede ser también positivo, como ocurre en muchos ferrocarriles, dado que se trata de un transporte más eficiente y rápido, que puede reducir la contribución global al cambio climático.

7.3. Escenario climático RCP 4.5 para la variable temperatura

7.3.1. Temperatura máxima

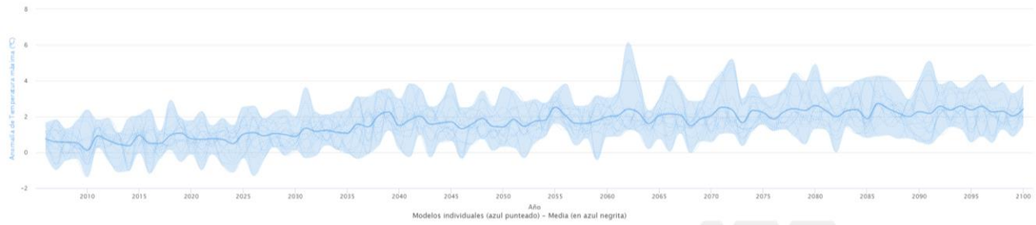


Figura 8. Escenario climático RCP 4,5 para la variable temperatura máxima y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una temperatura media de las máximas de 14,61 ºC y rango de 12,49 ºC a 16,40 ºC a un escenario en 2100 de 16,05 ºC de temperatura media de las máximas, con un rango de 13,40ºC a 19,20 ºC. Este supone un incremento de 1,44 ºC.

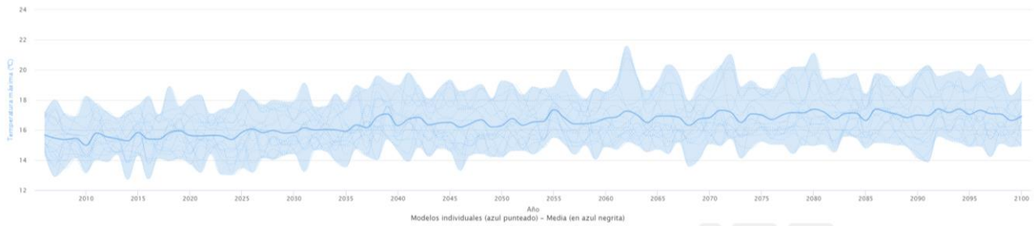


Figura 9. Escenario climático RCP 4,5 para la variable temperatura máxima y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una temperatura media de las máximas de 15,67 ºC y rango de 14,37 ºC a 17,18 ºC a un escenario en 2100 de 16,92 ºC de temperatura media de las máximas, con un rango de 14,94ºC a 19,26 ºC. Este supone un incremento de 1,25 ºC.

7.3.2. Temperatura mínima

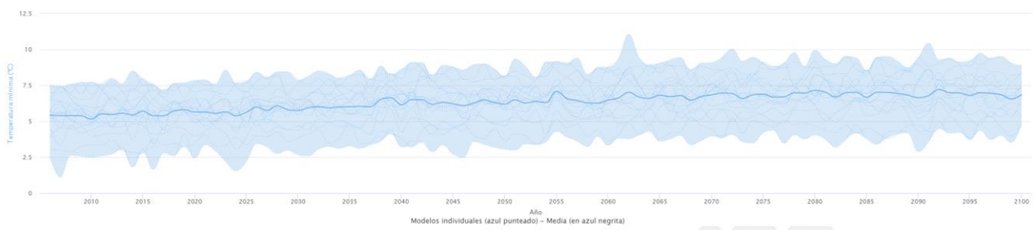


Figura 10. Escenario climático RCP 4,5 para la variable temperatura mínima y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una temperatura media de las mínimas de 5,44 ºC y rango de 2,52 ºC a 7,51 ºC a un escenario en 2100 de 6,86 ºC de temperatura media de las máximas, con un rango de 4,79ºC a 8,90 ºC. Este supone un incremento de 1,42 ºC.

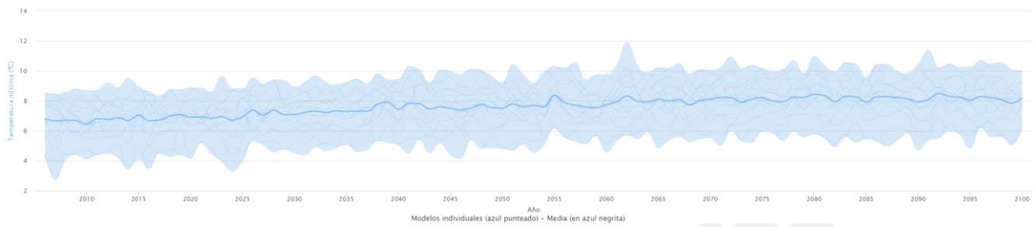


Figura 11. Escenario climático RCP 4,5 para la variable temperatura mínima y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una temperatura media de las mínimas de 6,79 ºC y rango de 4,24 ºC a 8,54 ºC a un escenario en 2100 de 8,17 ºC de temperatura media de las máximas, con un rango de 5,98ºC a 10,02 ºC. Este supone un incremento de 1,38 ºC.

7.3.3. Número de noches cálidas

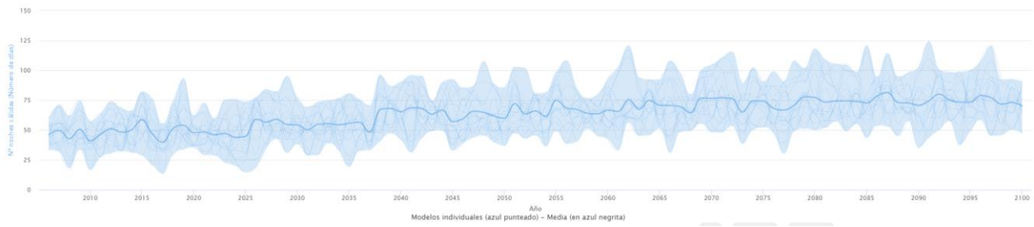


Figura 12. Escenario climático RCP 4,5 para la variable número de noches cálidas y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con un número de noches cálidas de 46,29 a 70,22 en 2100, lo que supone un incremento de 23,93 noches.

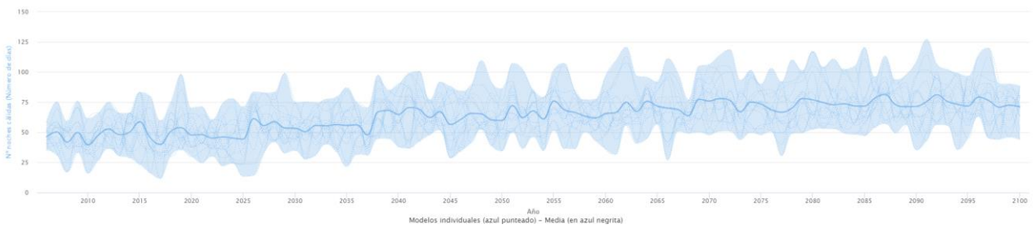


Figura 13. Escenario climático RCP 4,5 para la variable número de noches cálidas y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con un número de noches cálidas de 46,33 a 71,11 en 2100, lo que supone un incremento de 24,78 noches.

7.3.4. <u>Número de días cálidos</u>

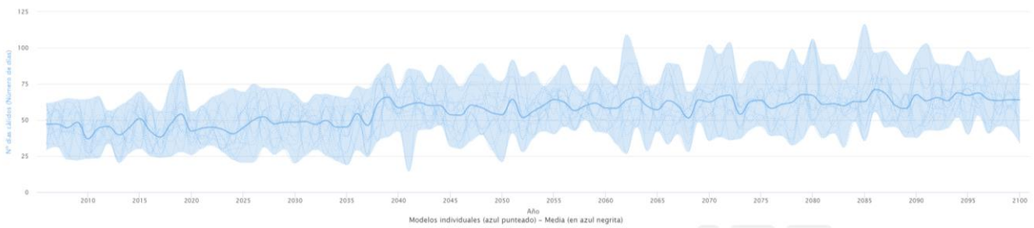


Figura 14. Escenario climático RCP 4,5 para la variable número de días cálidos y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con un número de días cálidos de 47,61 a 64,01 en 2100, lo que supone un incremento de 16,4 noches.

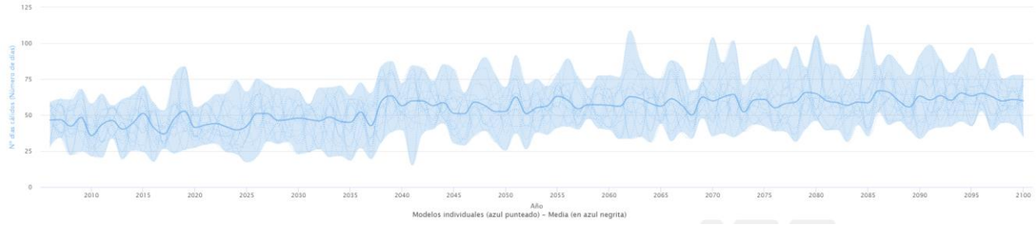


Figura 15. Escenario climático RCP 4,5 para la variable número de días cálidos y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con un número de días cálidos de 46,61 a 59,94 en 2100, lo que supone un incremento de 13,433 noches.

7.3.5. <u>Duración máxima de olas de calor</u>

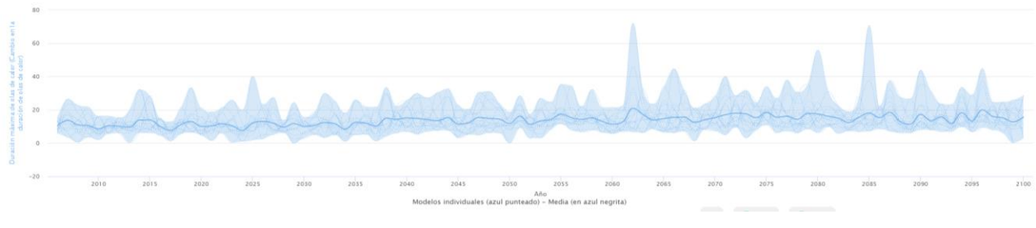


Figura 16. Escenario climático RCP 4,5 para la variable duración máxima de olas de calor y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con un número cambio en la duración de olas de calor de 10,55 a 15,52 en 2100, lo que supone un incremento de 4,97 días.

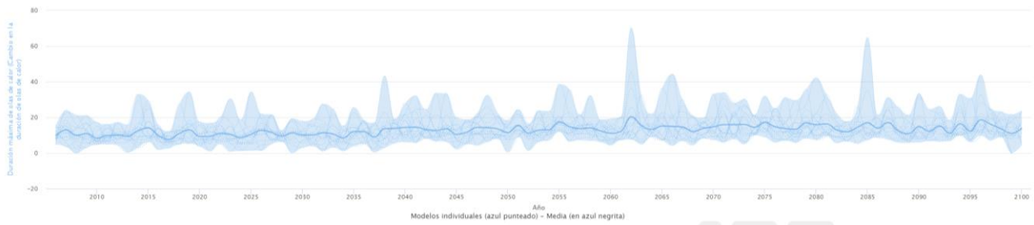


Figura 17. 1Escenario climático RCP 4,5 para la variable duración máxima de olas de calor y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con un número cambio en la duración de olas de calor de 9,86 a 13,76 en 2100, lo que supone un incremento de 3,9 días.

7.3.6. <u>Amplitud térmica</u>

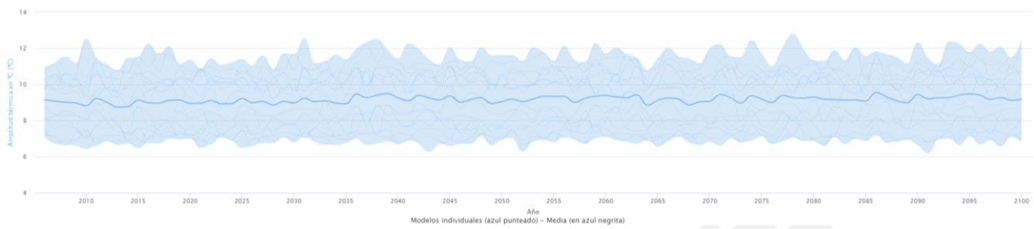


Figura 18. Escenario climático RCP 4,5 para la variable amplitud térmica y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una amplitud térmica de 9,15ºC a 9,18ºC en 2100, lo que supone un incremento de 0,03ºC.

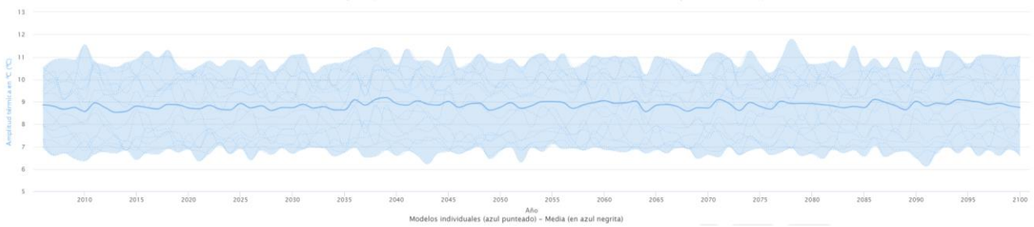


Figura 19. Escenario climático RCP 4,5 para la variable amplitud térmica y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una amplitud térmica de 8,86ºC a 8,75ºC en 2100, lo que supone un descenso de 0,11ºC.

7.3.7. <u>Temperatura máxima extrema</u>

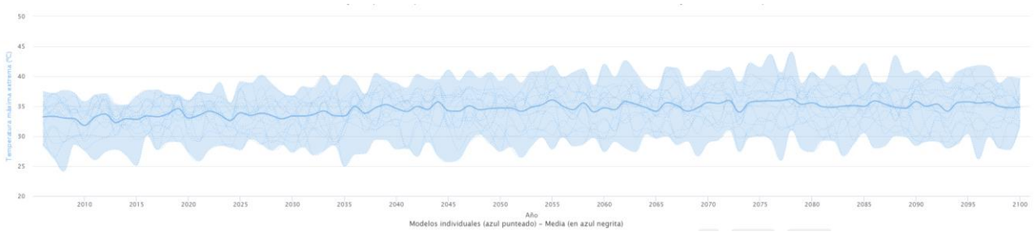


Figura 20. 2Escenario climático RCP 4,5 para la variable temperatura máxima extrema y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una temperatura media máxima extrema de 33,22ºC a 34,87ºC en 2100, lo que supone un incremento de 1,65ºC.

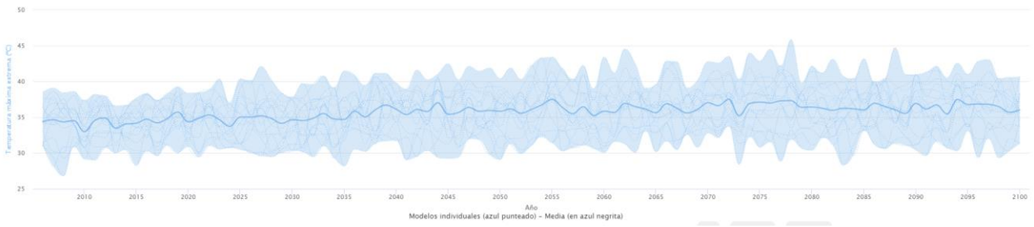


Figura 21. Escenario climático RCP 4,5 para la variable temperatura máxima extrema y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una temperatura media máxima extrema de 34,37ºC a 36,02ºC en 2100, lo que supone un incremento de 1,65ºC.

7.3.8. <u>Temperatura mínima extrema</u>

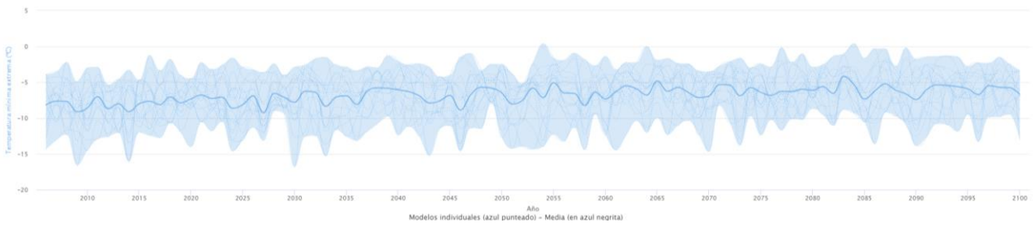


Figura 22. 3Escenario climático RCP 4,5 para la variable temperatura mínima extrema y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una temperatura media mínima extrema de – 8,14ºC a -6,66ºC en 2100, lo que supone un descenso de 1,48ºC.

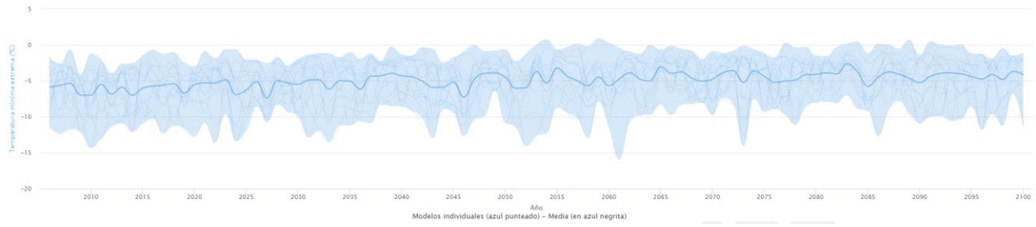


Figura 23. Escenario climático RCP 4,5 para la variable temperatura mínima extrema y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una temperatura media mínima extrema de – 5,89ºC a -4,17 en 2100, lo que supone un descenso de 1,72ºC.

7.4. Escenario climático RCP 4.5 para la variable precipitación

7.4.1. <u>Precipitación</u>

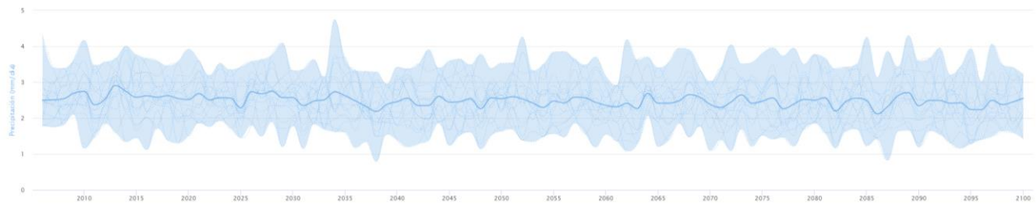


Figura 24. Escenario climático RCP 4,5 para la variable precipitación y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una precipitación de 2,50 mm/día a 2,55 mm/día en 2100, lo que supone un incremento de 0,05 mm/día.

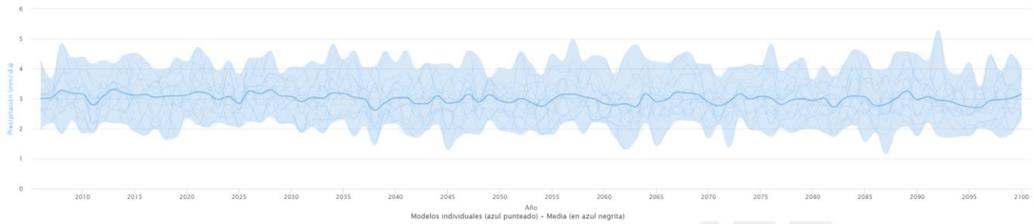


Figura 25. Escenario climático RCP 4,5 para la variable precipitación y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una precipitación de 3,01 mm/día a 3,15 mm/día en 2100, lo que supone un incremento de 0,04 mm/día.

7.4.2. <u>Precipitación máxima en 24 horas</u>

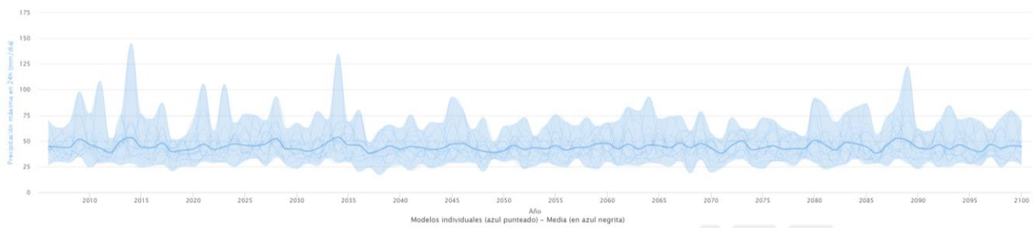


Figura 26. Escenario climático RCP 4,5 para la variable precipitación máxima en 24 horas y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una precipitación máxima en 24 horas de 44,50 mm/día a 44,37 mm/día en 2100, lo que supone un descenso de 0,13 mm/día.

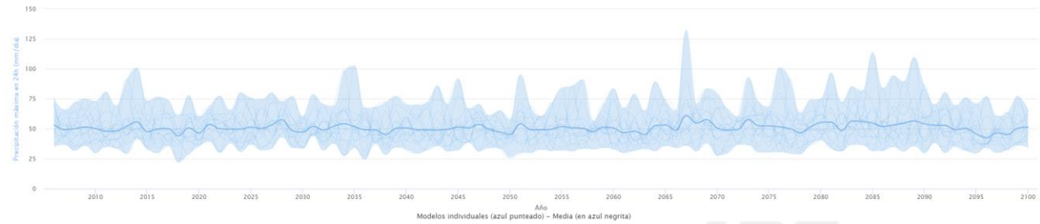


Figura 27. Escenario climático RCP 4,5 para la variable precipitación máxima en 24 horas y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una precipitación máxima en 24 horas de 53,43 mm/día a 51,31 mm/día en 2100, lo que supone un descenso de 2,12 mm/día.

7.4.3. <u>Número de días de lluvia</u>

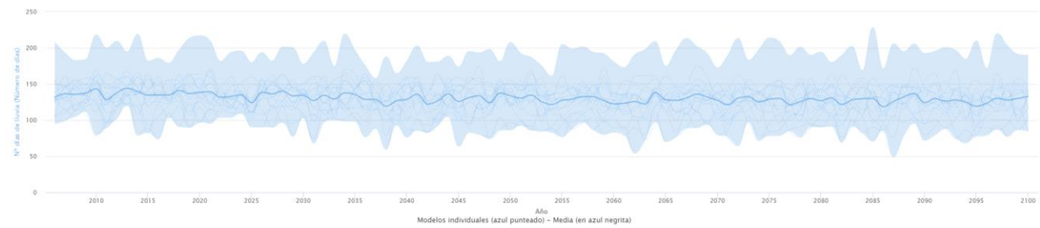


Figura 28. Escenario climático RCP 4,5 para la variable número de días de lluvia y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con un número de días de lluvia medio de 131,56 a 132, 73 en 2100, lo que supone un incremento de 1,17 días.

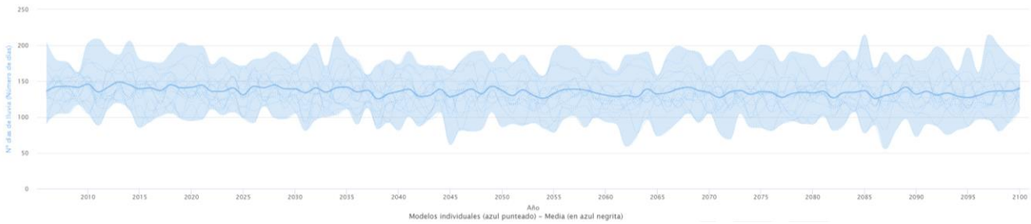


Figura 29. Escenario climático RCP 4,5 para la variable número de días de lluvia y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con un número de días de lluvia medio de 136,26 a 140,23 en 2100, lo que supone un incremento de 3,97 días.

7.4.4. Precipitación máxima acumulada en 5 días

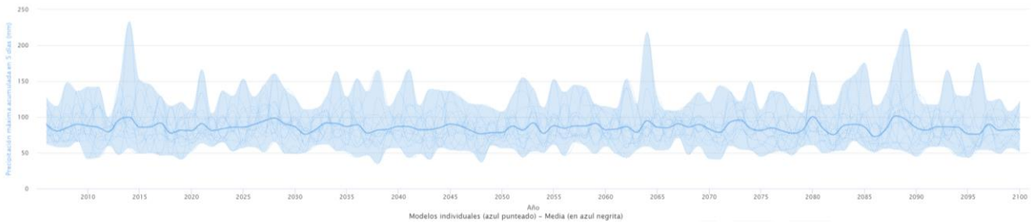


Figura 30. Escenario climático RCP 4,5 para la variable precipitación máxima acumulada en 5 días y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una precipitación máxima acumulada en 5 días de 89,70 mm a 82,72 mm/día en 2100, lo que supone un descenso de 6,98 mm.

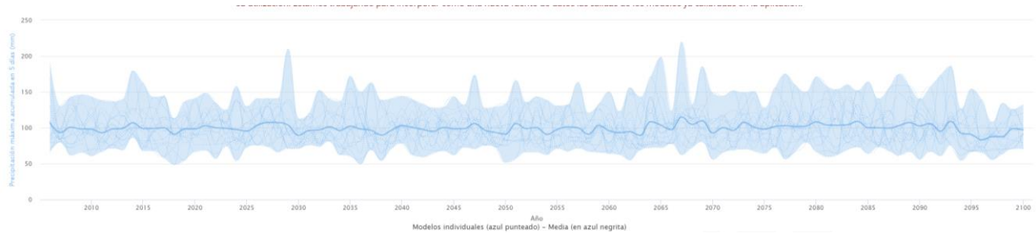


Figura 31. Escenario climático RCP 4,5 para la variable precipitación máxima acumulada en 5 días y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una precipitación máxima acumulada en 5 días de 106,98 mm a 97,05 mm/día en 2100, lo que supone un descenso de 9,93 mm.

7.5. Escenario climático RCP 4.5 para la variable viento

7.5.1. Velocidad del viento

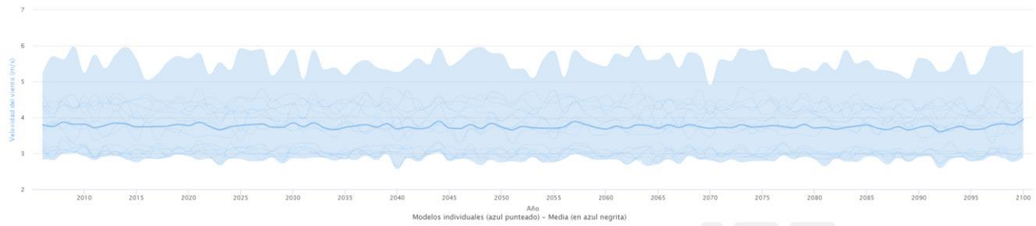


Figura 32. 4Escenario climático RCP 4,5 para la variable velocidad del viento y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una velocidad del viento de 3,80 m/s a 3,96 m/s en 2100, lo que supone un incremento de 0,16 m/s.

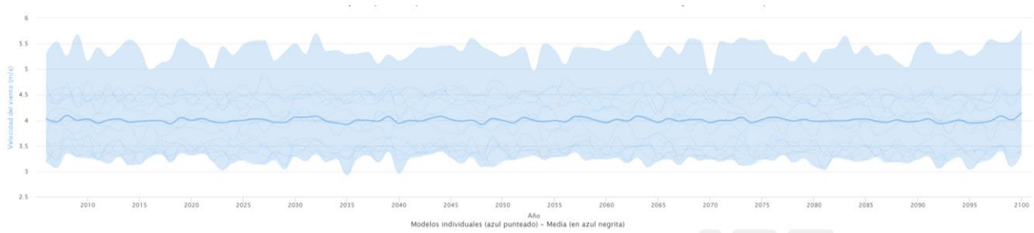


Figura 33. 5Escenario climático RCP 4,5 para la variable velocidad del viento y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una velocidad del viento de 4,03 m/s a 4,15 m/s en 2100, lo que supone un incremento de 0,02 m/s.

7.5.2. <u>Velocidad máxima del viento</u>

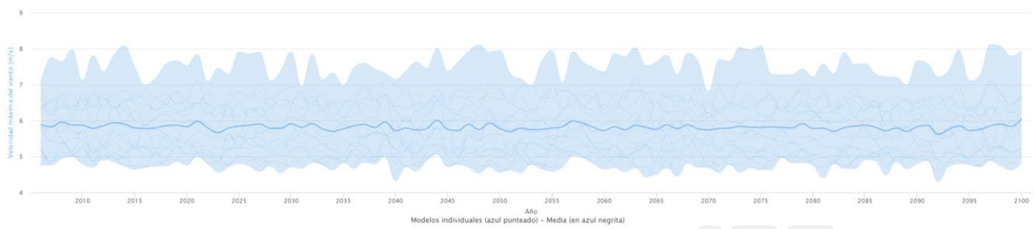


Figura 34. Escenario climático RCP 4,5 para la variable velocidad máxima del viento y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una velocidad máxima del viento de 5,89 m/s a 6, 05 m/s en 2100, lo que supone un incremento de 0,16 m/s.

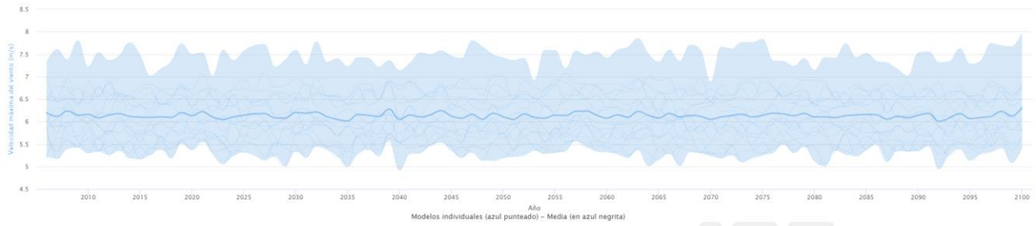


Figura 35. 6Escenario climático RCP 4,5 para la variable velocidad máxima del viento y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una velocidad máxima del viento de 5,21 m/s a 5,42m/s en 2100, lo que supone un incremento de 0,21 m/s.

7.6. Escenario climático RCP 4.5 para la variable humedad

7.6.1. <u>Humedad relativa</u>

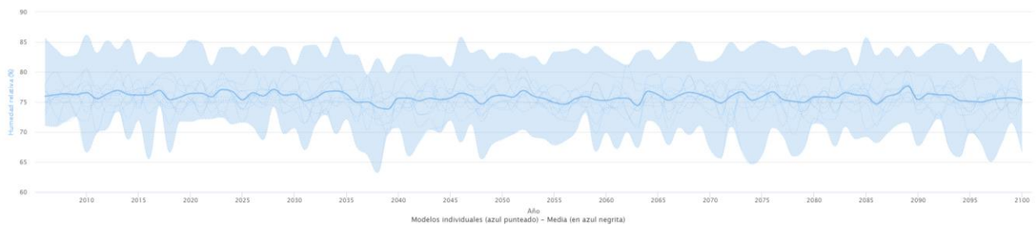


Figura 36. Escenario climático RCP 4,5 para la variable humedad relativa y la Comunidad autónoma de La Rioja. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una humedad media relativa de 89,70% a 82,72 % en 2100, lo que supone un descenso de 0,63%.

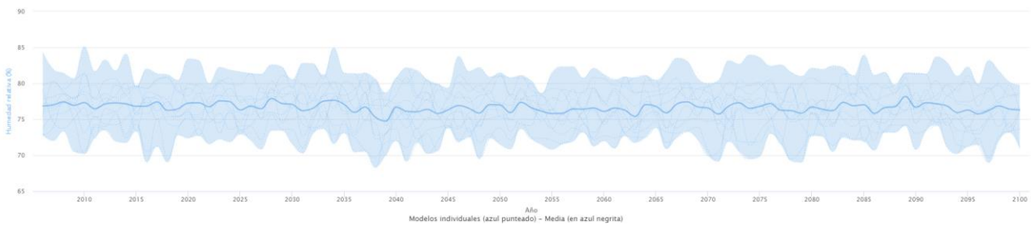


Figura 37. Escenario climático RCP 4,5 para la variable humedad relativa y la Comunidad Foral de Navarra. Fuente. AdapteCCa.es. Visor de Escenarios de cambio climático. FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. MITECO

Se parte de un escenario en 2006 con una humedad media relativa de 76,86% a 76,31 % en 2100, lo que supone un descenso de 0,55%.

7.7. Análisis de resultados

Los resultados observados para el escenario 4.5 y las comunidades autónomas analizadas es el siguiente:

Temperatura máxima

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 1,44 ºC para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 1,25 ºC para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Temperatura mínima

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 1,42 ºC para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 1,38 ºC para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Número de noches cálidas

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 23,93 noches para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 24,78 noches para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Número de días cálidos

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 16,4 días para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 13,43 días para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Duración máxima de las olas de calor

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 4,97 días para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 3,9 días para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Amplitud térmica

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 0,03ºC para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 0,11ºC para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Temperatura máxima extrema

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 1,65ºC para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 1,65ºC para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Temperatura mínima extrema

- El modelo arroja la cifra de un descenso de 1,48ºC para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un descenso de 1,72ºC para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Precipitación

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 0,05 mm/día para la Rioja en 2100.

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 0,04 mm/día para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Precipitación máxima en 24 horas

- El modelo arroja la cifra de un descenso de 0,13 mm/día para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un descenso de 2,12 mm/día para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Número de días de lluvia

- El modelo arroja la cifra de un descenso de 6,98 mm para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un descenso de 9,93 días para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Precipitación máxima acumulada en 5 días

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 1,17 días para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 3,97 días para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Velocidad del viento

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 0,16 m/s para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 0,02 m/s para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Velocidad máxima del viento

- El modelo arroja la cifra de un incremento de 0,16 m/s para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un incremento de 0,21 m/s para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

Humedad relativa

- El modelo arroja la cifra de un descenso de 0,63% para la Rioja en 2100.
- El modelo arroja la cifra de un descenso de 0,55% para la Comunidad Foral de Navarra en 2100.

7.8. Identificación de las sensibilidades del proyecto al cambio climático

Cabe indicar como conclusión de los resultados obtenidos, que los principales impactos derivados del cambio climático en el proyecto vendrán ocasionados por un incremento generalizado de las temperaturas y, en menor medida, por modificaciones en el régimen pluviométrico, que varía ligeramente, o en el régimen de vientos.

Efectivamente, en España se prevé que sea un incremento de las temperaturas máximas estivales y las olas de calor, una reducción de las precipitaciones medias, mayor cuanto más al sur, y un aumento en su irregularidad y, con una probabilidad menor, un riesgo de incremento de vientos y de la agresividad de fenómenos costeros. En consecuencia, el gran impacto será calor y sequía estival.

Muchos de estos impactos suponen un incremento en la frecuencia de fenómenos que ya se producen habitualmente, como el calor estival, la sequía o la irregularidad pluviométrica, rasgo definitorio del clima mediterráneo.

La importancia de estos impactos dependerá del elemento de la infraestructura afectado, el tipo de afección y las consecuencias. Las temperaturas máximas y olas de calor afectarán al pandeo de raíles por temperaturas elevadas en ferrocarriles, lo que afecta a la velocidad de circulación, y podría ser crítico en líneas de alta velocidad. Por el contrario, la previsión de inviernos más suaves supondría menores problemas de vialidad invernal y menores costes de mantenimiento.

Más notables pueden ser los problemas hidrometeorológicos, sobre todo los asociados a la irregularidad de las precipitaciones, que puede acrecentar las crecidas súbitas, provocando inundaciones, desbordamiento de drenajes, deslizamientos y socavamiento de puentes, un problema este último que se prevé importante en España.