

MATERIA 1: AL CONOCIMIENTO Y A LA DEFENSA DEL MEDIO NATURAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 1: Estudio sobre afectaciones al medio natural del cambio climático y riesgos a infraestructuras críticas: medidas de adaptación ligadas a riesgos que afectan al medio natural para la red viaria e instalaciones solares fotovoltaicas.

NOVIEMBRE 2021

tiempo de actuar

Autores:

Eodes con la colaboración de Sergio Simón, Luís Fructuoso y Xavier Saltó

Titularidad y responsabilidad

Titularidad y responsabilidad

El derecho de autor corresponde a los miembros del equipo investigador y redactor, los cuales deberán ser citados en cualquier uso que se haga del resultado de su trabajo.

Conforme a los usos de la comunidad científica, las conclusiones y puntos de vista reflejados en los informes y resultados son los de sus autores y no comprometen ni obligan en modo alguno a ECODES- Fundación Ecología y Desarrollo

Por tanto, cualquier cita o referencia que se haga de este documento deberá siempre mencionar explícitamente el nombre de los autores, y en ningún caso mencionará exclusivamente a la Fundación o los autores.

Edita: ECODES-Fundación Ecología y Desarrollo. Plaza San Bruno, 9, 50001 ZARAGOZA ecodes@ecodes.org

Diseño: Gráfico: Estudio Veridika. www.veridika.com

Fecha: Noviembre de 2021

Contenido

<u>1.0 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....</u>	<u>7</u>
<u>2.0 ALCANCE Y OBJETIVO DEL ESTUDIO</u>	<u>9</u>
<u>3.0 METODOLOGÍA.....</u>	<u>11</u>
3.1 ANÁLISIS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE EL MEDIO NATURAL Y LA BIODIVERSIDAD ASOCIADAS A CARRETERAS DE LA RED PROVINCIAL Y MUNICIPAL DEL ESTADO ESPAÑOL.....	11
3.2 ANÁLISIS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE EL MEDIO NATURAL Y LA BIODIVERSIDAD ASOCIADAS A INFRAESTRUCTURAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	12
3.3 DISEÑO DE MODELOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO PARA LA ELECCIÓN DE ACTUACIONES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN INFRAESTRUCTURAS DE LA RED DE CARRETERAS PROVINCIAL Y MUNICIPAL DEL ESTADO ESPAÑOL Y DE INFRAESTRUCTURAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	12
<u>4.0 RIESGOS FÍSICOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO</u>	<u>14</u>
<u>5.0 VULNERABILIDAD DE CARRETERAS Y PLANTAS FOTOVOLTAICAS A LOS EFECTOS FÍSICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO</u>	<u>18</u>
5.1 CARRETERAS	18
5.1.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	18
5.1.2 IMPACTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS CARRETERAS.....	19
5.1.3 ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA RED DE CARRETERAS	20
5.2 PLANTAS FOTOVOLTAICAS	22
<u>6.0 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....</u>	<u>23</u>
<u>7.0 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO DE ANÁLISIS.....</u>	<u>30</u>
7.1 VARIABLES RELACIONADAS CON EVENTOS FÍSICOS Y METEOROLÓGICOS	30
7.2 VARIABLES RELACIONADAS CON LA VULNERABILIDAD DE CARRETERAS	36
7.3 VARIABLES RELACIONADAS CON LA VULNERABILIDAD DE LAS PLANTAS FOTOVOLTAICAS	40

<u>8.0 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MULTI-CRITERIO AHP PARA EL ANÁLISIS DE CARRETERAS.....</u>	<u>44</u>
8.1 MODELO DE DETERMINACIÓN DE PESOS	44
8.1.1 COMPARACIÓN DE VARIABLES DOS A DOS.....	46
8.1.2 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE RELACIONES	47
8.1.3 MATRIZ NORMALIZADA	47
8.1.4 VECTOR DE PESOS	47
8.1.5 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA.....	48
8.2 MODELO DE DECISIÓN	48
<u>9.0 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MULTI-CRITERIO AHP PARA EL ANÁLISIS DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS.....</u>	<u>49</u>
9.1 MODELO DE DETERMINACIÓN DE PESOS	49
9.1.1 COMPARACIÓN DE VARIABLES DOS A DOS.....	51
9.1.2 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE RELACIONES	51
9.1.3 MATRIZ NORMALIZADA	52
9.1.4 VECTOR DE PESOS	52
9.1.5 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA.....	52
9.2 MODELO DE DECISIÓN	53
<u>10.0 RESUMEN Y CONCLUSIONES.....</u>	<u>54</u>
<u>11.0 BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>55</u>
<u>ANEXO 1: VARIABLES DE RIESGO FÍSICO POR PROVINCIAS (ECODES, 2020)</u>	<u>56</u>



▶ **Introducción y
antecedentes**

1.0 Introducción y antecedentes

Los impactos del cambio climático directamente sobre el medio natural e indirectamente sobre las actividades económicas son una realidad constatada. En este sentido, la taxonomía europea ha fijado criterios para clasificar los riesgos físicos y sus efectos sobre el entorno, pero a la vez pone de manifiesto la necesidad de trabajar a nivel territorial los mecanismos concretos de adaptación para mitigar los potenciales impactos de dichos riesgos.

La taxonomía describe y detalla una serie de actividades que contribuyen a los objetivos de adaptación al cambio climático tal y como se muestra en la gráfica a continuación:



Fuente: Elaboración propia

Igualmente, la taxonomía incluye una valoración cualitativa de aquellas actividades que pueden verse condicionadas por eventos climatológicos extremos relacionados con el agua, el viento, el suelo y la temperatura. Los factores de presión selectiva sobre el tejido socioeconómico local y regional incluyen ahora nuevos factores relacionados con dos grandes cuestiones relativas al cambio climático:

- La transición a una economía baja en carbono.
- La exposición a eventos climatológicos extremos.

En este contexto de incertidumbre y riesgo climático, las infraestructuras se perfilan como focos especialmente sensibles dado la importancia de estas instalaciones en el desarrollo, la vitalidad y dinamismo económico de un país o territorio. Asimismo, estas infraestructuras, entre las que

habría que destacar las instalaciones de generación energética y las redes viarias, faciliten y favorecen el bienestar de las personas mediante la provisión de suministros básicos y/o acceso a servicios vitales.

Aun en los escenarios más optimistas de la evolución del cambio climático en los próximos años, las redes de infraestructura se verán afectadas por los impactos físicos al medio natural y los eventos climatológicos extremos. A la vez, estas instalaciones desempeñarán un papel esencial en la construcción de resiliencia y adaptación a estos impactos. Entre los factores que puedan causar posibles alteraciones se incluyen las modificaciones en las lluvias, la temperatura, el viento, las heladas, la niebla o el aumento del nivel del mar.

Recientemente, por ejemplo, investigadores de la UPM han evaluado la vulnerabilidad de las carreteras en España frente al cambio climático y concluyen que se verán afectadas principalmente por cambios de temperatura y precipitación y por el aumento del nivel del mar. El riesgo de temperaturas extremas puede provocar el agrietamiento y/o ablandamiento del asfalto e incluso fallos estructurales, mientras que el previsto aumento de los de incendios forestales puede provocar el corte de carreteras.

En un contexto de incertidumbre y riesgo climático, las infraestructuras se perfilan como focos especialmente sensibles dado la importancia de estas instalaciones en el desarrollo, la vitalidad y dinamismo económico de un país o territorio.

La previsión del aumento de episodios de lluvias torrenciales en determinadas zonas puede provocar los deslizamientos de tierra o sobrecarga en los drenajes, así como el aumento de erosión. Para la red viaria este contexto de riesgo puede provocar inundaciones e importantes afectaciones a la estabilidad del asfalto. Para las plantas fotovoltaicas, estos riesgos climáticos pueden provocar asimismo afectaciones en la estabilidad de los terrenos en donde se ubican, posiblemente generando importantes daños en las instalaciones. El previsible aumento del nivel del mar también provocará inundaciones que afectará a estas infraestructuras.

Infraestructura más resistente a los riesgos del cambio climático tiene el potencial de mejorar la continuidad de la prestación de servicio y aumentar significativamente su vida útil. Incorporar esta resiliencia climática implicará con toda probabilidad cambios en el régimen de gestión de los activos (por ejemplo, adaptar los procedimientos de revisión y mantenimiento) así como medidas estructurales de adaptación.

2.0 Alcance y objetivo del estudio

Los estándares actuales de construcción de carreteras y otras importantes infraestructuras se basan en condiciones climáticas que no reflejan los cambios que provocará el cambio climático. Al cambiar estas condiciones, las infraestructuras se verán afectadas. Las medidas proactivas de adaptación a estas nuevas condiciones pueden reducir significativamente los impactos, así como los costes por directos por daños e indirectos por disrupciones en el uso de las infraestructuras.

Debido a estas lagunas, el presente trabajo pretende acometer el diseño de un modelo de decisión multicriterio en dos ámbitos de análisis, las carreteras y las plantas solares, que permita priorizar actuaciones de adaptación a los efectos físicos del cambio climático.

El proyecto desarrollado por ECODES se ha centrado en el análisis y conocimiento de los riesgos y afectaciones al medio natural derivados del cambio climático para permitir el planteamiento de las medidas de adaptación para dos tipos de actividades que tienen una relación de impacto ambiental directa con los recursos naturales:

- Carreteras locales y de la red municipal
- Instalaciones solares fotovoltaicas en zonas rurales.

Para el caso de las carreteras, las limitaciones presupuestarias requieren de modelos de decisión que maximicen la eficiencia de las inversiones en materia de adaptación de estas infraestructuras a los efectos físicos del cambio climático.

En el caso de las plantas solares, la decisión va más encaminada a decidir si hay que acometer medidas de adaptación para garantizar el retorno de la inversión planteado en el proyecto original como consecuencia de que los efectos del cambio climático puedan incidir en las tasas de producción estimadas.

La elección de estos dos sectores o tipologías de actividad están precisamente condicionada por el hecho de que se verán afectados a medio y largo plazo por riesgos físicos derivadas del cambio climático que impactan al medio natural. Para entender esta dinámica es imprescindible estudiar y analizar los posibles efectos al medio natural en las distintas zonas de España para proponer medidas de adaptación que protegen estas importantes infraestructuras y el entorno

natural. Una mala adaptación al cambio climático de estas infraestructuras e instalaciones tendrá sin duda un impacto relevante sobre los recursos naturales del entorno inmediato.

Los trabajos asociados a este proyecto se han concretado en apartados metodológicos para el abordaje de medidas de adaptación al cambio climático en la realización de trabajos de ampliación y/o mantenimiento de carreteras locales de redes municipales, así como de medidas de adaptación al cambio climático en que sirvan de criterio para la elección y adecuación de ubicaciones para la ubicación de plantas fotovoltaicas.

Estos apartados metodológicos pretenden, como en el caso de las “Recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables” editada por el MITECO en 2019, establecer unas pautas de actuación y un conjunto de recomendaciones prácticas para dos sectores que se consideran estratégicos.

Habiendo numerosos modelos y métodos para el análisis de decisiones multicriterio, por la tipología y número de variables que intervienen en esta tipología de proyectos se ha estimado como óptimo el uso de la metodología AHP, o de proceso analítico jerárquico.

El modelo permite, además, tomar decisiones cuando se trabaja con alternativas que consideran infraestructuras o proyectos en diferentes ubicaciones geográficas a nivel provincial.

El alcance de uso de la metodología es todo el territorio español incluyendo península, islas y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla.

El trabajo se estructura de forma que en primer lugar se introducen los efectos físicos asociados al cambio climático. En segundo lugar, se detallan las vulnerabilidades de las carreteras y las plantas solares a dichos efectos. Posteriormente se describe la metodología de cálculo de los índices de vulnerabilidad que nos permitirán comparar entre alternativas o tomar decisiones concretas de inversión. Y finalmente, se desarrollan los modelos de cálculo de los algoritmos de decisión para carreteras y plantas solares.

3.0 Metodología

El contenido del presente documento se ha basado en los resultados de los trabajos necesarios para analizar, por un lado, las medidas de adaptación al cambio climático de infraestructuras viales y de energía fotovoltaica y, por otro, el desarrollo de un modelo de decisión que permite elegir entre alternativas ante la necesidad de tener que optimizar recursos económicos.

Se parte de la base de que las medidas de seguridad para con los eventos climatológicos y los riesgos geológicos asociados a estas infraestructuras (entre otras) están dimensionadas y diseñadas en base a unas predicciones climatológicas que podrían ser no tan ajustadas por los efectos del cambio climático.

En este sentido, para el análisis de medidas de adaptación, se han analizado las vulnerabilidades a los factores físicos de las citadas actividades. Estos factores físicos incluyen los eventos climatológicos adversos con impacto directo (precipitaciones extraordinarias, olas de calor...) y los eventos asociados a riesgos geológicos potenciados o amplificados por los eventos climatológicos (subsidiencias, corrimientos de tierra, desprendimientos, inundaciones...).

A continuación, se describe brevemente la metodología empleada en el presente estudio

3.1 Análisis de medidas de adaptación al cambio climático y sus efectos sobre el medio natural y la biodiversidad asociadas a carreteras de la red provincial y municipal del estado español.

En esta actividad se ha definido y analizado las consecuencias del cambio de medio natural sobre las carreteras que, por sus características, se consideran más sensibles a los efectos del cambio climático:

- Carreteras de la red provincial
- Carreteras locales de la red municipal

En el estudio se han abordado propuestas y criterios tanto de diseño en nuevas vías o modificación de las actuales, como de actuaciones concretas destinadas a la mejora de las vías existentes en el contexto actual.

Los ámbitos de análisis han contemplado, entre otros:

- El diseño de taludes
- La consideración de zonas inundables
- El diseño de las redes de drenaje
- Las zonas con tasas elevadas de erosión
- El riesgo de incendios

El trabajo, en este sentido, se centra en analizar cómo el cambio climático afectará a la consideración de estos riesgos y cómo deberían ajustarse las prescripciones para su mitigación o eliminación en base a la forma en la que se estima que la probabilidad de ocurrencia y/o la magnitud de las consecuencias podría llegar a influir.

Se estudia igualmente cómo medir el impacto que sobre la biodiversidad podría llegar a tener el no considerar estos ajustes a los efectos del cambio climático.

3.2 Análisis de medidas de adaptación al cambio climático y sus efectos sobre el medio natural y la biodiversidad asociadas a infraestructuras de generación de energía fotovoltaica.

Este paso ha consistido en la definición y análisis de las consecuencias del cambio del medio natural sobre las plantas solares fotovoltaicas implantadas en medio rural que, por sus características, se consideran más sensibles a los efectos del cambio climático.

En el estudio se han abordado propuestas y criterios de diseño de este tipo de instalaciones, como actuaciones concretas destinadas a la mejora de las plantas existentes en el contexto actual: protección de paneles, criterios de mantenimiento, aumentando la resiliencia de estas instalaciones respecto del cambio climático.

Por otro lado, se ha analizado el impacto que sobre el medio natural y la biodiversidad puede tener el efecto sinérgico de un despliegue de infraestructuras de estas características de forma masiva.

3.3 Diseño de modelos de decisión multicriterio para la elección de actuaciones de adaptación al cambio climático en infraestructuras de la red de carreteras provincial y municipal del estado español y de infraestructuras de generación de energía fotovoltaica.

Esta actividad ha consistido en el diseño de modelos de análisis multicriterio, basado en el método AHP. El AHP (Analytic Hierarchy Process, 1980), desarrollado por Thomas L. Saaty, fue concebido para resolver problemas de decisión en los que intervenían más de dos criterios.

Los modelos se han basado esencialmente en la asignación de importancias relativas a cada uno de los criterios, de forma subjetiva y ordenada. Posteriormente, se ha especificado la preferencia con respecto a cada una de las preferencias de decisión y para cada criterio.

Como resultado, se ha obtenido una jerarquización de prioridades en las que se puede ordenar cada una de las alternativas en base a su utilidad medida en términos de preferencias reveladas.

Estos modelos, permite escoger entre alternativas de propuestas de mejora de infraestructuras viales y de generación de energía fotovoltaica garantizando que se están considerando las actuaciones encaminadas a potenciar la resiliencia de dichas infraestructuras a los efectos del cambio climático.

4.0 Riesgos físicos asociados al cambio climático

Bajo esta denominación, a efectos de este estudio, se han incluido aquellos riesgos derivados del cambio climático con un origen en las características de la zona donde se producen (geología, hidrología) o de tipo meteorológico.

A partir de la clasificación general del Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) que utiliza la EM-DAT (International Disasters Database), que recoge los siguientes “desastres” naturales:

- Geofísico
 - Terremotos
 - Movimientos de masa
 - Actividad volcánica
- Meteorológico
 - Tormentas
 - Temperaturas extremas
 - Nieblas
- Hidrológico
 - Inundaciones
 - Deslizamientos de tierras
 - Acción de las olas
- Climatológico
 - Sequías
 - Incendios forestales
 - Flujos violentos de lagos glaciares
- Biológico
- Extraterrestre

Los grupos de riesgos geofísico e hidrológico son los más relacionados con los riesgos físicos abordados en esta metodología.

Cada uno de estos tipos de riesgo tiene efectos diferentes sobre el medio físico y las infraestructuras que se encuentran en ellos. El documento “Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España (2021)” del MITECO, identifica 73 riesgos. En el análisis sectorial que se hace en el documento, se identifican algunos riesgos físicos, asociados al transporte y la producción de energía y que se recogen en la tabla siguiente, clasificándolos entre urgentes y menos urgentes.

Urgentes	
41	Riesgo en las viviendas, infraestructuras y servicios en las zonas urbanas, asociados especialmente a la subida del nivel del mar y los eventos extremos costeros, aunque también se debe considerar el riesgo de intrusión salina en ríos y acuíferos o la subida del nivel freático. Estos riesgos también pueden afectar a elementos del patrimonio histórico y cultural ubicado en el litoral.
42	Las infraestructuras industriales, energéticas y de transporte localizadas en la costa deberán hacer frente a los mismos riesgos que los asentamientos urbanos (inundaciones costeras por aumento del nivel del mar y eventos meteorológicos extremos, erosión, intrusión salina).
43	Riesgos de inundación y daños por deslizamientos y erosión en edificaciones y redes de infraestructura urbana (principalmente de saneamiento, drenaje y transporte) y otros elementos constructivos.
67	Riesgo de daños y erosión en taludes, firmes de carretera y puentes por el aumento de la frecuencia de eventos extremos.
Menos urgentes	
65	Riesgo de afectación de las redes de suministro eléctrico debidas a eventos meteorológicos extremos.

Fuente: “Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España (2021)” del MITECO

Para la selección de variables que caractericen la vulnerabilidad territorial frente a este tipo de riesgos, finalmente se han seleccionado los siguientes fenómenos que pueden presentar una variabilidad asociada al cambio climático, y que se desarrollan en el apartado 6.1 de este documento.

- Geofísicos
 - Desprendimientos, movimientos ladera y similares
 - Fenómenos de subsidencia y similares
- Meteorológicos
 - Precipitaciones intensas y erosión
- Hidrológicos
 - Inundación fluvial y pluvial
 - Inundación costera
 - Sequía

Por otro lado, cabe distinguir entre riesgos agudos y crónicos, tal y como se desarrolla en la definición de las variables:

Riesgos agudos: eventos extremos, incremento de la severidad de eventos meteorológicos extremos como ciclones o inundaciones.

Riesgos crónicos: cambios lentos en los patrones de precipitación, intensa variabilidad de los patrones meteorológicos, incremento de las temperaturas o ascenso del nivel del mar.

Descripción de los riesgos:

Desprendimientos, movimientos de ladera y similares

En este grupo se recogen aquellos riesgos geológicos debidos a procesos gravitacionales o de inestabilidad de laderas. Son procesos agudos originados por las características geológicas del terreno que generan una serie de inestabilidades potenciales:

- Desprendimientos y vuelcos de masas rocosas
- Deslizamientos de laderas (rotacionales y traslacionales)
- Flujos
- Fenómenos de expansividad

Los procesos relacionados con el cambio climático facilitarán su frecuencia debido a eventos extremos como precipitaciones intensas que, debido a la erosión, pueden desencadenar este tipo de fenómenos.

Sus efectos sobre carreteras y plantas solares se centran especialmente en los taludes, que pueden sufrir este tipo de procesos.

Fenómenos de subsidencia y similares

En este caso, también de tipo agudo, la variación de las condiciones del régimen de precipitación puede causar la evolución de estructuras y cavidades subterráneas afectando a la superficie. También se pueden desarrollar por efecto de la sequía en acuíferos, que provoque la subsidencia del terreno en superficie.

Pueden afectar a cualquier superficie en infraestructuras viarias o energéticas situada sobre terrenos susceptibles de provocar este tipo de fenómenos.

Precipitaciones intensas y erosión

El incremento de eventos extremos del tipo precipitaciones intensas, además de sus consecuencias en forma de inundaciones que se definen aparte, pueden provocar el incremento de procesos erosivos y el arrastre de sedimentos afectando a las zonas receptoras.

Este riesgo de tipo meteorológico es potencialmente generador de daños directos en infraestructuras. Los procesos erosivos, acelerados como consecuencia del cambio climático, pueden provocar daños de forma indirecta en infraestructuras por arrastre de materiales, descalce de cimentaciones o elementos rígidos, terraplenes, etc.

Inundación fluvial y pluvial

Las inundaciones pueden ser de tipo fluvial (crecidas en cauces secos o corrientes de agua existentes) o pluvial (inundaciones de zonas por acumulación de agua de lluvia).

Están asociadas a eventos de precipitaciones extremas, que se acumulan en cauces. Las infraestructuras están dimensionadas y preparadas para recoger niveles de precipitaciones intensas que pueden ser superadas por estas precipitaciones extremas y ser dañadas. Es el caso de puentes, drenajes transversales de carreteras o de parques solares, apoyos de líneas eléctricas en zonas inundables de ríos y torrentes, etc.

Inundación costera

El efecto de temporales marinos derivados de borrascas asociadas a eventos meteorológicos extremos y por tanto agudos, combinado con el aumento progresivo del nivel del mar (riesgo crónico) o mareas extraordinarias por la formación de profundas bajas barométricas (riesgo agudo).

Sequía

La sequía es el resultado combinado de la falta de precipitaciones y una elevada evapotranspiración. Conlleva efectos sobre la vegetación que, de forma indirecta, puede afectar a las infraestructuras objeto de esta metodología y además es precursor el riesgo de incendios forestales, a los cuales tanto carreteras como parques solares son muy vulnerables.

5.0 Vulnerabilidad de carreteras y plantas fotovoltaicas a los efectos físicos del cambio climático

5.1 Carreteras

5.1.1 Consideraciones generales

En un país como España, con una orografía compleja, los trazados de las carreteras deben salvar desniveles, ríos o barrancos para conectar núcleos de población o zonas productivas que pueden ser relativamente cercanas, a veces con recorridos sinuosos.

Las carreteras, por tanto, son un tipo de infraestructuras que inciden en el territorio atravesando todo tipos de relieves y salvando desniveles importantes: desde llanuras inundables a costas abruptas, pasando por zonas de pendientes elevadas, que obligan a construir estructuras como viaductos o taludes o salvando cursos fluviales con un funcionamiento en régimen torrencial.

Para situar el dimensionamiento actual de la red viaria, según los datos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, la red de carreteras de España tenía en 2020 **165.445 kilómetros**, de los cuales 26.466 km (16%) pertenecen a la Red de Carreteras del Estado (RCE) y están administradas por el Ministerio, y recogen el 52,4% del tráfico total y el 64,6% del tráfico pesado.

71.205 km (43%) están gestionados por las Comunidades Autónomas y soportan el 42,4% del tráfico, y los 67.773 km restantes (41%) son gestionadas por las Diputaciones provinciales (que suponen el 5,2% del tráfico restante).

Finalmente comentar que los ayuntamientos tienen a su cargo (última estimación de 1998) 489.698 km, de los cuales 361.517 km son interurbanos, valor que se habrá incrementado notablemente en los 23 años transcurridos desde dicho inventario.

A partir de esta información de partida, se puede ver que la mayor desproporción entre longitud de la red y tráfico soportado se da en las carreteras gestionadas por las diputaciones y cabildos, con un 41% de la longitud total para el 5,2% de tráfico.

Esta desproporción viene dada por la existencia de numerosos núcleos de población, a veces pequeños pero que se extienden por todo el territorio y que a veces dependen de una única vía de comunicación, por lo que, aunque sólo soporten el 5,2% del tráfico, pueden ser estratégicas para mantener la comunicación de las personas, especialmente en lo que se viene a llamar últimamente “España vaciada”.

Como ejemplo, León disponía (2018) de 4.217 km de carreteras de la red provincial, un 6,2% del total, por una población que supone aproximadamente el 0,2% del total estatal. Independientemente de su gran extensión, hay una relación 30/1 entre la longitud de su red de carreteras y su población.

Esta combinación entre una extensísima red de carreteras y una disponibilidad de inversiones limitada si se tiene en cuenta el tráfico soportado y la población servida, hacen que sea imprescindible disponer de un modelo de decisión jerárquico como criterio para seleccionar, en base a su vulnerabilidad, las inversiones a realizar con el objetivo de luchar contra las consecuencias del cambio climático.

5.1.2 Impactos potenciales del cambio climático en las carreteras

Es necesario por tanto anticiparse con una gestión preventiva a la necesidad de adaptar las infraestructuras para disminuir la vulnerabilidad ante el cambio climático. A continuación, se describen las claves de cómo se considera que afectará en un futuro próximo este cambio climático a la red viaria en general, y muy especialmente a la Red de carreteras provincial, gestionada por las diputaciones y cabildos.

Para poder definir los impactos potenciales en las carreteras de las amenazas derivadas del cambio climático, se realizó por parte del equipo redactor una identificación de diferentes impactos potenciales.

Por su similitud con las conclusiones encontradas, se ha utilizado como base el análisis sistemático que se realiza en la “Guía de Buenas Prácticas para la Adaptación de las Carreteras al Clima” publicada por el CAF en 2018 (De la Peña, E., Díaz, J., Rodrigo, M., Miralles, E., Díaz, L., Valdés, S., & Canalda, L. 2018), y disponible en <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1221>.

De esta forma, se dispone una primera identificación de impactos aplicables en carreteras, que se ha adaptado a las características generales el clima y de la red de carreteras secundarias en España, descartando por ejemplo las amenazas relacionadas con regiones muy frías y permafrost, y modificando las definiciones de algunos de los parámetros.

Finalmente se ha considerado el siguiente conjunto de impactos potenciales, que también ha sido tenido en consideración para definir las variables que definan la vulnerabilidad de una carretera.

Amenaza climática	Impacto
Incremento de fenómenos severos: tormentas	Inundaciones en las carreteras
	Daños en pilares, puentes y estructuras de soporte
	Daños en las distintas capas del pavimento
	Daño a la infraestructura de transporte debido al incremento de los deslizamientos
	Sobrecargas de los sistemas de drenaje
	Cambios en los patrones superficiales de escorrentía
	Deterioro de la integridad estructural de carreteras, puentes y túneles debido al incremento de la humedad en las estructuras
Incremento de fenómenos severos: vendavales	Caída de árboles, equipamiento u otros elementos sobre la calzada
	Inestabilidad de los vehículos en carreteras y puentes
	Incremento de la erosión de taludes y terraplenes
	Daños estructurales a los puentes
	Rotura de la señalización vertical de gran tamaño
Incremento de condiciones para la generación de incendios forestales	Pérdida de la cubierta vegetal en los márgenes
	Daño de la infraestructura por incremento de fuegos y por aumento de la erosión, y movimientos en masa como consecuencia de la pérdida de la capa vegetal quemada
Incremento de días muy calurosos y olas de calor	Expansión térmica de las juntas de puentes y pavimentos de hormigón
	Daños en el pavimento (surcos, ablandamientos y exudación, entre otros)
Incremento del nivel del mar y oleadas	Daño a autopistas, carreteras, túneles subterráneos y puentes debido a inundaciones, anegamientos permanentes en áreas costeras, y erosión costera
	Daño a la infraestructura por subsidencia del terreno y deslizamientos

Fuente: Adaptado de la Guía de Buenas Prácticas para la Adaptación de las Carreteras al Clima (CAF, 0218)

Todos estos impactos potenciales deben ser tenidos en cuenta en la planificación de medidas de mitigación de los efectos como se desarrolla en el siguiente capítulo.

5.1.3 Adaptación al cambio climático de la red de carreteras

Para poder definir criterios de jerarquización y selección de acciones preventivas en carreteras para minimizar los efectos del cambio climático, también deben considerarse las medidas disponibles y donde son aplicables.

Estas medidas, que pueden incrementar la resiliencia de estas estructuras, han sido valoradas a la hora de seleccionar los parámetros que servirán para definir la vulnerabilidad de una carretera.

En España, el relieve ha hecho necesarios históricamente unos trazados complejos de las carreteras que las hacen aún más sensibles a las variaciones del clima, especialmente las carreteras de la red secundaria, que por sus características son las más vulnerables al cambio climático.

Es esta vulnerabilidad ha acuñado el concepto de resiliencia al cambio climático para definir cómo los criterios constructivos de una carretera pueden hacerla más o menos sensibles a los efectos del cambio del clima a medio y largo plazo, y excepcionalmente en el corto plazo.

Es evidente que de forma estratégica es necesario actuar preferentemente en las vías de la red principal (RCE), pero no deben dejarse atrás las comunicaciones por vías menos estratégicas, pero indispensables para mantener la comunicación de miles de personas en zonas deprimidas social y económicamente que deben mantener estas infraestructuras para frenar su despoblación y consecuente desertización.

Tendrá la consideración de medida de adaptación de las carreteras al clima cualquier acción que se realice para reducir la vulnerabilidad de la red de carreteras frente a eventos meteorológicos extremos relacionados con la variabilidad y cambio climáticos o exacerbados por él.

En este sentido, para una gestión de la red vial existente adaptada al cambio climático, siempre serán preferibles las intervenciones ex – ante mejor que ex – post m mediante un mantenimiento frecuente o mejoras específicas como la construcción de túneles, o elevar la rasante, o agregar redundancia a la red con mejoras a las alternativas existentes o construcción de nuevas carreteras

Con estas medidas, cuya definición no es objeto de este estudio, se pretenden evitar las consecuencias listadas como impactos en la tabla anterior y que a efectos de la gestión de las vías podría resumirse en las siguientes:

- Deterioro rápido de las infraestructuras
- Incremento de la resiliencia de las carreteras existentes al clima
- Daños a terceros
- Sobrecostos de reconstrucción

En los trabajos de rehabilitación y reconstrucción después de un evento que haya dañado la infraestructura, es necesario minimizar los impactos de eventos futuros, mediante el principio de “reconstruir mejor” (en inglés “build back better”).

Para las infraestructuras más importantes, existen guías como la “*Climate change adaptation of major infrastructure projects. A stock-taking of available resources to assist the development of climate resilient infrastructure*” publicada por la Comisión Europea en 2018.

5.2 Plantas fotovoltaicas

Las plantas solares están, lógicamente, expuestas a los efectos del clima en el que se encuentran ubicadas. Ello conduce a un impacto directo sobre las mismas de los efectos del cambio climático, ya no sólo por el impacto que puede sufrir la infraestructura en sí sino también sobre el rendimiento de las mismas, por cuanto su producción energética se ve afectada por condicionantes como la temperatura o el porcentaje de cobertura del cielo.

De este modo, un aumento sostenido de las temperaturas ambiente del lugar dará lugar a pérdidas en el rendimiento de las mismas. No en vano, los módulos solares tienen unas pérdidas de producción entre el 0,43% y el 0,47% por cada grado centígrado de aumento de la temperatura ambiente. Por otra parte, episodios de cielos nublados más comunes y sostenidos de lo normal, darán lugar a pérdidas del 60-70% de la producción durante el período de cielo cubierto. Nótese que en ambos casos el impacto es directo sobre la generación energética, comprometiendo no sólo el plan de negocio del promotor de la planta solar si no también los compromisos de generación verde nacionales.

En cuanto a impactos sobre la infraestructura, cabe mencionar que la ubicación, las estructuras o las líneas de evacuación eléctricas pueden verse afectadas por episodios climáticos no esperados. En el caso de las estructuras de soporte sobre el suelo, por ejemplo, pueden padecer en caso de lluvias torrenciales, las estructuras de soporte de los paneles en caso de ráfagas de viento inusuales o el corte de la evacuación energética por los eventos inesperados en el ámbito de incendios forestales o sobrecargas de la red eléctrica por efectos físicos sobre la misma (daños en subcentrales y centrales, en líneas aéreas, etc...). Es necesario mencionar que una gran parte de las plantas solares del territorio nacional se ubican en zonas apartadas de grandes núcleos urbanos e industriales, por lo que sus líneas de evacuación suelen estar en altos índices de carga y vulnerabilidad.

Finalmente, otros efectos como episodios de tormentas de arena o lluvias de barro incidirán en la producción de las plantas, por cuanto el grado de ensuciamiento y opacidad de los módulos se verá aumentado en gran manera. De este modo, o bien el polvo depositado sobre la planta o el barro llovido reducirán considerablemente su producción. Adicionalmente, el exceso de polvo o barro puede producir deterioro prematuro tanto de los módulos fotovoltaicos como del equipamiento eléctrico del que dispone la instalación.

Por todo ello, es evidente que los efectos físicos del cambio climático pueden producir un deterioro, disfunción en, incluso, parada de la generación eléctrica verde que aportan las plantas solares.

6.0 Descripción de la metodología de análisis

Como se ha comentado en apartados anteriores, el objeto del estudio es obtener modelos de decisión que permitan optimizar recursos económicos en el camino hacia una adaptación a los efectos del cambio climático.

De los numerosos modelos de decisión existentes, por sus características y su flexibilidad para ser adaptado a casi cualquier tipo de problema de decisión multicriterio, se ha optado por utilizar el modelo AHP.

El Proceso Analítico Jerárquico o AHP en adelante, fue desarrollado por el matemático Saaty (1980) y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos a través de la construcción de un módulo jerárquico. El modelo descompone estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos componentes o variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia (en principio un criterio frente a otro, realizando juicios entre pares) y, finalmente, los sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad, siempre que se demuestre que los juicios anteriores tienen consistencia.

El propósito final del método es permitir que el tomador de decisiones (uno o varios, de forma individual, colegiada o agregada) pueda basar su decisión (elegir entre varias alternativas no obvias a priori) en una colección ordenada de criterios y pesos relativos que previamente ha obtenido el mismo decisor.

Es decir, pretende ser una herramienta científica para abordar aquellos aspectos que son difícilmente cuantificables, pero que a veces requieren una unidad de medida.

A continuación, se expone su formulación matemática según exponen Berumen y Llamazares (2007).

Partiendo de que se han seleccionado previamente las variables que deseamos formen parte de la decisión, se comparan por pares utilizando la siguiente escala de Saaty:

Intensidad o escala	Importancia relativa	Descripción
1	Indiferencia	Los dos criterios analizados tienen la misma importancia
3	Leve importancia relativa	La experiencia y el juicio favorecen levemente el criterio A sobre el B
5	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen moderadamente el criterio A sobre el B
7	Fuerte importancia	El criterio A es más importante que el criterio B
9	Absoluta importancia	El criterio A es absolutamente más importante que el criterio B

Tabla: Escala de Saaty. Fuente: Elaboración propia

Se obtienen de esta manera los diferentes valores con los que construir la matriz de comparaciones, partiendo del valor de la escala de Saaty de A sobre B el elemento a_{12} y de B sobre A, a_{21} . De igual forma la importancia de un criterio respecto al él mismo, será siempre 1, de forma que tendremos una matriz de diagonal 1.

De esta manera, la matriz de comparaciones A tendrá la forma:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Cumpléndose que:

$$a_{ij} \cdot a_{ji} = 1: A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Es importante en este punto matizar las siguientes propiedades de esta matriz:

1. Reciprocidad. Si A es una matriz de comparaciones pareadas se cumple que

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \text{ para todas las } i, j = 1, 2, \dots, n$$

Es decir, es una matriz simétrica en la que el valor a_{ij} es el inverso del valor a_{ji}

2. Consistencia.

$$a_{ij} = \frac{a_{ik}}{a_{jk}} \text{ para todas las } i, j, k = 1, 2, \dots, n$$

Es decir, que las comparaciones por filas deben ser consistentes con las comparaciones por columnas.

El siguiente paso será normalizar la matriz A. Para ellos, partiendo de esta matriz de comparaciones, se suman verticalmente los elementos de cada columna.

$$v_1, v_2, \dots, v_n = \sum_1^n a_i$$

De forma que v_1 será igual a la suma de todos los valores de la primera columna i así, sucesivamente.

Con estos valores de V, dividimos cada elemento de la matriz por el valor suma de su columna, obteniendo así una matriz normalizada en la que todos los valores se encontrarán entre 0 i 1.

$$A_{\text{normalizada}} = \begin{pmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \dots & a_{1n}/v_n \\ a_{21}/v_1 & 1/v_2 & \dots & a_{2n}/v_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}/v_1 & a_{n2}/v_2 & \dots & 1/v_n \end{pmatrix}$$

Con esta matriz, calcularemos entonces en vector promedio, en el que cada elemento será la media de todos los valores de una fila, tomando la forma:

$$p = \begin{pmatrix} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{1i} \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{2i} \\ \vdots \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ni} \end{pmatrix}$$

Siendo este vector precisamente el vector los pesos de cada variable o criterio.

$$p = \begin{pmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \vdots \\ p_{c1n} \end{pmatrix}$$

Con el proceso de cálculo del vector de pesos realizado, es necesario garantizar que se ha ponderado razonablemente bien, dado que la comparación por pares cuando se trabaja con un número de variables elevado (>5) puede arrojar inconsistencias.

Para ello, se parte de un criterio basado en que la que vamos a denominar razón de consistencia no puede ser superior al 10%. Según la teoría de Saaty, ese valor garantiza que las decisiones serán tomadas en base a preferencias lógicas y coherentes (dentro de la evidente subjetividad de las preferencias individuales).

Esta razón de consistencia se obtiene partiendo de los siguientes parámetros:

- λ máx., o autovalor máximo de la matriz
- Índice de consistencia CI
- Proporción o relación de consistencia CR

Realizando los siguientes cálculos para obtener cada uno de ellos:

$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$, donde n es el tamaño de la matriz

$CR = \frac{CI}{IR}$, donde IR es un valor prefijado en función del tamaño de la matriz según la siguiente tabla:

Nº variables	1	2	3	4	5	6	7
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35

La ejecución del AHP lleva por tanto a necesidad de abordar los siguientes trabajos:

1. Identificar y caracterizar las variables o criterios que formarán parte del modelo de decisión
2. Realizar la comparación por pares utilizando la escala de Saaty
3. Obtener el vector de pesos como vector promedio de la matriz de comparaciones normalizada

4. Verificar que la razón de consistencia se encuentra por debajo del 10%
5. Con este ejercicio realizado, se construye el algoritmo de decisión que tendrá la forma:

$$I_d(\text{Índice de decisión}) = \beta_1 C_1 + \beta_2 C_2 + \dots + \beta_n C_n$$

siendo,

$\beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$ los pesos obtenidos en el proceso AHP como vector promedio

y

$C_1, C_2 \dots C_n$ los valores normalizados que toma cada variable para las diferentes alternativas a comparar en el proceso de decisión

Es importante destacar qué, para que el índice de decisión pueda acabar moviéndose en un rango de 0 a 1 o eventualmente de 0 a 100, es necesario que los valores de cada variable sean previamente normalizados o rescalados. Esto puede realizarse simplemente dividiendo cada valor por el máximo del rango de valores de cada variable. Es decir, si una de las variables es, por ejemplo, el número de km de carretera determinamos que éste puede moverse entre, por ejemplo, 10 y 50 km de actuación mínima y máxima, aplicaremos para llevar los valores de esta variable a una escala de 0 a 100, la siguiente fórmula:

$$\text{Valor final} = \frac{\text{Valor de la variable} - \text{Valor mín. que puede tomar la variable}}{\text{Valor máx. que puede tomar la variable} - \text{Valor mín. que puede tomar la variable}} * 100$$

Si por ejemplo consideramos tres alternativas de actuación en carreteras de 15, 24 y 30 km respectivamente, los valores para la variable km de carretera serán:

$$\text{Valor}_{\text{carretera A}} = \frac{15 - 10}{50 - 10} * 100 = 12,5$$

$$\text{Valor}_{\text{carretera B}} = \frac{24 - 10}{50 - 10} * 100 = 35$$

$$\text{Valor}_{\text{carretera C}} = \frac{30 - 10}{50 - 10} * 100 = 50$$

En el caso de variables o criterios cuyo valor sea un porcentaje, este ajuste obviamente no será necesario.

De forma que, suponiendo que la variable "longitud de la carretera" es la variable C1, y que β_1 es el peso de la variable C1 obtenido en el proceso AHP, los índices de decisión de cada alternativa serían:

$$I_d \text{ Alternativa A} = \beta_1 * 12,5 + \beta_2 C_2 + \dots + \beta_n C_n$$

$$I_d \text{ Alternativa B} = \beta_1 * 35 + \beta_2 C_2 + \dots + \beta_n C_n$$

$$I_d \text{ Alternativa C} = \beta_1 * 50 + \beta_2 C_2 + \dots + \beta_n C_n$$

De esta manera, si escalamos los valores de todas las variables, considerando que todas las β_i toman valores de 0 a 1, obtendremos todos los índices de decisión en un rango de 0 a 100, permitiendo así contar con una buena escala de comparación entre alternativas.

Todo este proceso ha sido desarrollado por el equipo técnico de ECODES y en concreto, para el ejercicio de definición de variables y de comparación por pares por los siguientes especialistas:

- Luís Fructuoso
Geólogo
Experto en riesgos naturales y gestión territorial
- Xavier Saltó
Ingeniero Industrial
Experto en energía, eficiencia energética y transición a una economía baja en carbono
- Sergio Simón
Biólogo y Data Scientist
Experto en modelos de impacto económico de componente climático y ambiental

A continuación, se describen y caracterizan en primer lugar las variables consideradas para el modelo (Apartado 6) y, seguidamente, se desarrolla el modelo AHP para carreteras (Apartado 7) y para plantas solares (Apartado 8).

Para la ejecución de todo el proceso AHP se ha diseñado una hoja de cálculo en la que se implementan todos los cálculos explicados en este apartado y que se reproducen en las salidas mostradas en los apartados 7 y 8 referidos.

Finalmente, se ha considerado la utilización de un factor corrector o de ponderación, cuando las alternativas a comparar están ubicadas en diferentes provincias.

Para ello, se utiliza el factor corrector asociado a la provincia VFT descrito en el apartado 6.1 de este documento y que considera la “peligrosidad” en términos de severidad de los eventos físicos esperados por efecto del cambio climático cada provincia.

De este modo, **el modelo de decisión final para carreteras** será:

Para decisión entre alternativas ubicadas en la misma provincia:

$$\text{Máx. } [I_d \text{ Alternativa } i]$$

Para decisión entre alternativas ubicadas en diferentes provincias:

$$\text{Máx. } \left[\frac{I_d \text{ Alternativa } i * VTF_i}{100} \right]$$

En el caso de plantas solares, la decisión de invertir para garantizar el retorno esperado mitigando el impacto de los efectos del cambio climático, vendrá determinado por el coste de las actuaciones de adaptación, siendo el índice I_d obtenido para cada alternativa un indicador de lo probable que es que el cambio climático tenga un impacto negativo en el rendimiento esperado de la planta.

De esta manera, podrían plantearse inversiones de adaptación siempre que el valor $[I_d Alternativa_i * VTF_i]$ fuera igual o superara un valor determinado, por ejemplo, de 75.

$$[I_d Alternativa_i * VTF_i] \geq 75$$

7.0 Descripción de las variables incluidas en el modelo de análisis

7.1 Variables relacionadas con eventos físicos y meteorológicos

En el año 2020, se desarrolló por parte de ECODES el proyecto de creación del “Modelo de análisis de impacto del cambio climático en el tejido socioeconómico local para el establecimiento de políticas sostenibles en el uso de los recursos naturales y de transición justa”.

Una parte de este modelo definía un conjunto de variables asociadas a las particularidades físicas del territorio, de tipo geológico, hidrológico y meteorológico principalmente, que definen la vulnerabilidad al cambio climático a nivel de unidad territorial.

La metodología seleccionó los riesgos que pueden tener incidencia por causa del cambio climático en España (ver capítulo 3). Variables de alta incidencia en España, como los incendios forestales, han sido utilizados para analizar la propia vulnerabilidad de las instalaciones. No se han seleccionado factores biológicos ni extraterrestres por su nula relación con la metodología. Las variables de Riesgo Físico (RF) que fueron incluidas en el modelo a partir de la lista anterior son las siguientes:

Fenómenos	Variable	Descripción
Geofísicos	RF1	Desprendimientos, movimientos ladera y similares
	RF2	Fenómenos de subsidencia y similares
Meteorológicos	RF3	Precipitaciones intensas
	RF4	Erosión
Hidrológicos	RF5	Inundación fluvial y pluvial
	RF6	Inundación costera
	RF7	Sequía

A continuación, se definen los datos seleccionados para definir cada una de las variables de riesgo físico, incluyendo información sobre la fuente de la que han sido tomados. Como en otros casos, han sido preferentes las bases de datos de la Administración.

Geofísicos

Para la variable **RF1 Desprendimientos, movimientos ladera y similares**, que engloba los riesgos por movimientos de masa, utiliza los datos de porcentaje de superficies de potencialidad alta y muy alta de movimientos de masa, procedentes del Inventario Nacional de Erosión de Suelos del MITECO. En estos porcentajes se consideran las siguientes tipologías de movimientos/datos disponibles:

- Derrumbes en general
- Deslizamientos
- Flujos
- Complejos o mixtos
- Movimientos en masas poco probables

El dato obtenido es la superficie de cada provincia afectada potencialmente por este tipo de movimientos, disponiendo también del dato de porcentaje sobre el total de superficie tal y como se observa en la siguiente tabla, extraída de la ficha resumen disponible en la página web del Ministerio para Transición Ecológica y el reto demográfico (MITECO):

https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-nacional-erosion-suelos/resumen_resultados.aspx

La metodología del inventario nacional de erosión de suelos, para los movimientos de masa, considera la siguiente información de partida:

- Litología
- Pendiente
- Pluviometría anual y T10

*En resumen, se define la variable **RF1** como el producto del porcentaje de suelo de la provincia susceptible de sufrir movimientos de ladera, que se ha seleccionado por considerarse representativa del riesgo de que se extienda este tipo de movimientos.*

La variable **RF2 Fenómenos de subsidencia y similares** es una variable que recoge la presencia o no de estos fenómenos en cada provincia.

Como información de base para determinar el riesgo de colapsos/subsidencias, considera la geología predominante en la provincia y los datos del Inventario Nacional Español de movimientos del terreno (BDMOVES, actualizado en 2016), que Incluye movimientos del terreno de origen geológico gravitacional que afectan a territorio español incluyendo los movimientos verticales: subsidencias, colapsos, expansividad y deslizamientos submarinos. Se puede consultar en la web del Instituto Geológico y Minero de España (IGME):

<https://igme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=bdba2e8c7189486ba56a657026645dcc>

En este caso, el criterio ha sido definir la presencia/ausencia de estos fenómenos en la provincia según la base de datos BDMOVES.

El parámetro utiliza como corrección la variación del número de días de lluvia anuales 2020-2040 (pendiente de la recta de variación del número de días de lluvia anuales en porcentaje absoluto). Hay que tener en cuenta que estos fenómenos pueden darse tanto por aumento como descenso de la recarga de las aguas subterráneas.

En resumen, se define la variable RF2 como el producto del valor presencia (1)/ausencia (0), incrementando el valor 1 por la variación en porcentaje para el periodo 2020-2040 del número de días de lluvia, que se ha seleccionado por considerarse representativa del incremento del riesgo de que se extienda este tipo de movimientos.

Meteorológicos

Para seleccionar las variables climatológicas relacionadas con estos eventos, utiliza los datos climatológicos del Visor de Escenarios de Cambio Climático (web de AdapteCCa, plataforma sobre adaptación al cambio climático en España), en la que se han podido consultar las proyecciones regionalizadas de cambio climático para España realizadas a partir de las proyecciones globales del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático), en el marco de la iniciativa Escenarios PNACC (colección de Escenarios PNACC 2017).

Parte del valor medio del escenario RCP 8,5 para disponer de valores máximos con los que alimentar el modelo buscando la tendencia, teniendo en cuenta que se ha utilizado el año 2030 como proyección, y en los casos en que se han analizado tendencias, el periodo 2020-2040 del cual el año 2030 sería su punto intermedio.

Hay que tener en cuenta que, aunque se disponga de muchos parámetros para los escenarios de Cambio Climático, la mayoría son índices derivados. En función del parámetro se han elegido unos u otros en función de su representatividad. Las variables originales son:

- Temperatura máxima y mínima
- Precipitación
- Velocidad del viento

La primera variable seleccionada, RF3 “Precipitaciones intensas”, engloba los riesgos asociados a precipitaciones intensas, que no inundaciones. La información base que se utiliza para esta variable es la precipitación máxima en 24 horas, índice derivado de la precipitación. Se recuerda que, al buscar el periodo 2030 y para visualizar más claramente las diferencias entre provincias, se ha seleccionado el escenario RCP 8.5.

El indicador Pmax 24 horas, código P4 (Rx1day) del listado de escenarios, se define en mm/día. El modelo extrae 3 valores, mínimo, medio y máximo, de los cuales se ha seleccionado el valor medio en este caso, representativo de cada Comunidad Autónoma, aunque se dispone de datos por provincias, una vez comprobada la baja variabilidad entre provincias próximas. Con esta

información, se toma el valor base de la línea de tendencia más el incremento de la pendiente a 20 años.

*En resumen, se define la variable **RF3** como la variación en base a la línea de tendencia para el periodo 2020-2040 del valor de la Pmax en 24 horas por el incremento de dicha línea a 20 años según escenario medio (RCP 8.5).*

La segunda variable de factores meteorológicos es la RF4 “Erosión”. Se ha utilizado como base el Inventario Nacional de Erosión de Suelos, que forma parte del Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, a través de la estadística forestal según establece el Plan Forestal Español, la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes y la Ley 42/2007, de 13 de diciembre del Patrimonio Natural y la Biodiversidad.

La información se ha tomado de la misma fuente que la variable RF1, seleccionando en este caso la tasa de erosión (pérdidas medias) en toneladas*Ha / año que el Inventario calcula según el modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation).

Se ha tomado como referencia el total de superficie erosionable, de forma que se engloba el efecto del cambio climático al añadirse suelos con vida útil hasta más de 100 años, que son los de niveles erosivos más bajos, y no únicamente los graves o muy graves (a partir de 100 t/Ha*año).

En resumen, se define la variable RF4 como el producto del porcentaje de suelo de la provincia susceptible de sufrir movimientos de ladera, que se ha seleccionado por considerarse representativa del riesgo de incremento de la erosión.

Hidrológicos

En este grupo se consideran los riesgos de inundación fluvial, pluvial y costera, a los que se añade una variable (sequía) relacionada también con la variación de temperatura, uno de los efectos principales del cambio climático. En este caso, a diferencia de las anteriores, se utiliza la información georreferenciada aprovechando la cartografía incluida en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables disponible en la siguiente web del MITECO.

<https://www.miteco.gob.es/ca/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/>

Dentro de esta información, se incluyen las áreas definidas como Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), obtenidas a partir de la evaluación preliminar del riesgo de inundación realizada por las autoridades competentes en materia de aguas, costas y protección civil.

Las ARPSI son “aquellas zonas del territorio para las cuales se ha llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativo o bien en las cuales la materialización de tal riesgo pueda considerarse probable como resultado de los trabajos de Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI), realizados en el ámbito de cada demarcación hidrográfica. Esta

definición de las ARPSIs incluye estudios de evolución a largo plazo, incluyendo el impacto del cambio climático.

Dentro de la gran cantidad de información asociada a las ARPSI, por requisitos de la Directiva Marco del Agua, se incluye un bloque de información sobre la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. En este grupo, los mapas de riesgo de inundación mostrarán las consecuencias adversas potenciales asociadas a la inundación expresadas mediante los parámetros siguientes:

- a) Número indicativo de habitantes que pueden verse afectados.
- b) Tipo de actividad económica de la zona que puede verse afectada.
- c) Instalaciones a que se refiere el Anexo I de la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación que puedan ocasionar contaminación accidental en caso de inundación y zonas protegidas que puedan verse afectadas indicadas en el Anexo IV, punto 1, incisos i), iii) y v) de la Directiva 2000/60/CE.”

Para determinar la variable RF5 “Inundación fluvial y pluvial”, se seleccionan los dos primeros parámetros para el periodo de retorno máximo (500 años) de forma que se han podido determinar:

- Suma de habitantes estimados en la zona inundable del ARPSI
- Valor estimado en euros de los daños que provocaría la avenida para cada ARPSI

Mediante la aplicación QGIS, se calcula el total de habitantes potencialmente afectables por la máxima inundación, y el valor en euros de los daños sobre las actividades económicas, infraestructuras y otros.

La información disponible corresponde al segundo ciclo de la gestión del riesgo de inundaciones (2022-2027) de acuerdo con las previsiones establecidas en el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación (RDI), que transpone la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y la gestión de los riesgos de inundación (DI).

En estas ARPSI se incluyen los daños por inundaciones costeras, asociados a la variable RF6. La información analizada ha permitido definir y validar el método. La variable RF5 se ha calculado como una combinación de los dos valores escalados de 1 a 10 según el rango de valores obtenidos.

Hay que tener en cuenta que en ambos casos hay población y recursos afectados por más de un polígono, por lo que el valor de población o daños económicos se ha sumado tantas veces como aparecía.

*En resumen, se define la variable **RF5 “Inundación fluvial y pluvial”** como el resultado de ponderar para cada provincia española los daños a la población y a las actividades económicas en base a la suma de estos parámetros para el conjunto de Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) que se encuentran en la provincia.*

La variable RF6 “Inundación costera” se toma a partir de la información resumen que define el Número de Km y ARPSIs por Comunidad Autónoma disponible en la página web del MITECO. En este caso, cada ARPSI queda definido por su longitud en metros, y en su definición se ha considerado factores como:

- Alcance medio de la inundación
- Afección relativa de la inundación por oleaje
- Calado de inundación por mareas
- Erosión en la costa

El cálculo se establece a partir del cociente entre los kilómetros de costa totales de la comunidad autónoma y los kilómetros inundables de la suma de ARPSIs de la comunidad, que se aplica a aquellas provincias con costa, siendo el valor de “0” para las provincias sin línea de costa.

Este parámetro queda reforzado por el hecho de que RF5 también considera los daños por inundación costera, según el método utilizado para RF5 utilizando la información georreferenciada. En este caso se ha optado por realizar esta estimación.

*En conclusión, la **variable RF6 “Inundación costera”** se define como el coeficiente entre la longitud total de la costa de cada Comunidad Autónoma y la longitud incluida dentro de ARPSI costeras aprobadas.*

La variable RF7 “sequía” es el tercer parámetro hidrológico seleccionado. Definida como “periodo de tiempo con valores de las precipitaciones inferiores a los normales en el área”. Como valor significativo de la ETP, se toma la ecuación de la pendiente de variación para el periodo 2020-2040.

Por otro lado, utiliza como valor representativo de la precipitación el número de días sin precipitación (< 1 mm) en el horizonte 2030 según los datos recogidos para cada provincia. Ambas variables forman el índice de aridez. En este caso, se considera como valor base la ETP.

Se han tomado los datos de ETP y de días sin precipitación de AdapteCCa, plataforma sobre adaptación al cambio climático en España), utilizando el valor medio del escenario RCP 8,5. La unidad territorial es la comunidad Autónoma, considerándolo representativo de ese territorio y aplicándolo a las provincias que pertenecen a cada comunidad.

La variable **RF7 “sequía”** se define como el producto entre la ETP corregida al año 2030 en función de la pendiente, y ponderada con el número de días sin lluvia proyectado con los datos del periodo 2020-2040, en cada Comunidad Autónoma.

A partir de las 7 variables definidas anteriormente, el modelo estableció una asignación de valores de vulnerabilidad asociadas a los riesgos físicos por unidad territorial, habiendo seleccionado la provincia en base a la disponibilidad de datos.

El cálculo diferencia entre riesgo agudo y riesgo crónico, ponderando cada una de las variables englobadas por tipo de riesgo.

Tipo de riesgo	Variable	Descripción
Riesgo agudo (RA) $RA = 0,15RF1 + 0,0FRF2 + 0,3RF3 + 0,5RF5$	RF1	Desprendimientos, movimientos ladera y similares
	RF2	Fenómenos de subsidencia y similares
	RF3	Precipitaciones intensas
	RF5	Inundación fluvial y pluvial
Riesgo crónico (RFR) $RFR = 0,4RF4 + 0,2RF6 + 0,4RF7$	RF4	Erosión
	RF6	Inundación costera
	RF7	Sequía

Todas las variables de riesgo físico (RF) se normalizaron a valores entre 1 y 100 de forma que se pudiesen aplicar las fórmulas de ponderación entre riesgos de la tabla anterior.

Finalmente, se aplicó el peso de los dos tipos de riesgo, agudo y crónico, teniendo en cuenta que el horizonte de trabajo es relativamente corto (año 2030), con una ponderación del 70% para los daños agudos y 30% para los crónicos obteniendo un valor del parámetro denominado “Valor del Factor Territorial Físico (vft)” obtenido para cada provincia a partir de la siguiente fórmula:

$$VTF = 0,7RA + 0,3RCR$$

Los valores finales obtenidos de VTF para cada provincia se muestran en el Anexo 1

7.2 Variables relacionadas con la vulnerabilidad de carreteras

Para poder seleccionar los parámetros que permitan caracterizar la vulnerabilidad de las carreteras respecto del cambio climático, se hizo una primera selección de 13 variables que se muestra en la tabla siguiente.

Ámbito	Nº	Indicador	Efecto sobre la vulnerabilidad de la carretera	Inclusión en el modelo (S/N)
	1	Altura media carretera	A menor altura, mayor vulnerabilidad a cambio climático	N

Características generales carretera	2	Intensidad media diaria de vehículos (IMD)	Población afectada en caso de no poder utilizar la carretera,	S
	3	Longitud trazado en estudio	A mayor longitud, mayor vulnerabilidad	N
Pavimento	4	Longitud de carretera y accesos asfaltada	La mayor variación térmica afecta a ligantes y juntas en tableros	S
	5	Tipo capa drenante	La reducción de las precipitaciones afecta al firme en tramos con pavimentos drenantes	N
Estructuras (puentes y túneles)	6	Número de apoyos en cauces	A mayor número de apoyos en zonas erosionables, más riesgo de problemas en estructuras	S
Geotecnia taludes	7	Índice RMR /SMR Rocas	A mayor fracturación del terreno, más riesgo de que se generen desprendimientos	N
	8	Geometría media (moda): altura, ángulo	A mayor altura del talud, más riesgo de desprendimientos/deslizamientos	S
	9	Superficie desnuda de taludes	A mayor superficie del talud, más problemas de desprendimientos por erosión	N
	10	Longitud tramos de terraplén con h> 5m	A mayor presencia de terraplenes, más riesgo de problemas estructurales en el firme de la carretera	S
Hidrología drenaje	11	Tramos de carretera dentro de zonas inundables PR 500 años	A mayor presencia de tramos de carretera en zona inundable, mayor riesgo de inundación	S
	12	Número de obras de drenaje transversal	A mayor número de obras de drenaje, mayor riesgo de problemas estructurales	N
Incendios forestales	13	Longitud en zonas de bosque (arbolado)	A mayor presencia de zonas boscosas junto a la carretera, mayor riesgo de afectaciones por incendios	S

Debido a las limitaciones del proceso AHP cuando se trabaja con un número elevado de variables, en relación con conseguir una relación de consistencia aceptable, es recomendable limitar el número de variables que intervienen en el modelo a un máximo de 7. Esta limitación obliga a seleccionar las 7 de las 13 variables anteriores que se consideran más relevantes.

La columna de la derecha indica si ha sido seleccionada para el modelo, buscando las más representativas, como respuesta a los impactos potenciales del cambio climático, y que se resumen en la tabla siguiente:

Ámbito	Nº	Indicador	Unidad	Fuente	Origen datos	Rango valores
Características generales carretera	2	Intensidad media diaria de vehículos (IMD)	Vehículos/día	Datos administración	Datos CCAA, diputaciones, ayuntamientos, cabildos	1.000-20.000
Pavimento	4	Longitud de carretera y accesos asfaltada	Km	Cartografía oficial CCAA	Sobre cartografía disponible	1 a 50
Estructuras (puentes y túneles)	6	Número de apoyos en cauces	Unidades	Proyecto ejecutivo	Sobre proyecto ejecutado/as build	0-100
Geotecnia y taludes	8	Geometría media (moda): altura >5 m, ángulo	Grados	Proyecto ejecutivo	Sobre proyecto ejecutado/as build	1 a 60
	10	Longitud tramos de terraplén con h> 5m	%	Proyecto ejecutivo	Sobre proyecto ejecutado/as build	0-100%
Hidrología y drenaje	11	Tramos de carretera dentro de zonas inundables PR 500 a.	%	Cartografía oficial SNCZI	Sobre cartografía disponible	0-100%
Incendios forestales	13	Longitud en zonas de bosque (arbolado)	%	Cartografía oficial MITECO	Sobre cartografía disponible	0-100%

A continuación, se define las características de cada variable y la metodología para su cálculo:

Intensidad media diaria de vehículos (IMD)

Esta variable recoge el daño económico y social debido al corte de la vía, aplicando los datos de aforo. Este dato es recogido generalmente en anuarios por las diferentes administraciones implicadas (diputaciones, cabildos, ayuntamientos). Pueden encontrarse datos más antiguos, pero que serán igualmente útiles teniendo en cuenta que no suele haber grandes variaciones de la IMD de una vía de estas características en periodos más largos.

Si no se dispone del dato, también es posible hacer estimaciones aproximadas. Por tratarse de vías secundarias, se ha establecido un rango entre 1.000 (mínimo) y 20.000 (máximo) vehículos/día.

Longitud de carretera y accesos asfaltada

Con esta variable se define la vulnerabilidad asociada a la propia longitud de la carretera, que representa también su superficie. Factores como la vulnerabilidad del pavimento o de juntas deben ser proporcionales a este dato, elegido por simplificar el cálculo más que definir la estructura de grosores del pavimento, o calcular el número de juntas existente.

Se mide en kilómetros, fácilmente a partir de la cartografía disponible, sumando aquellos accesos propios que pudiera tener. Se ha establecido un rango entre 1 y 50 km.

Número de apoyos en cauces

Esta variable se define como el número de apoyos de cimentación de estructuras (pilares y estribos de puentes o pasos a distinto nivel principalmente) de que dispone la carretera evaluada. Se utiliza para determinar la vulnerabilidad por procesos erosivos, inundaciones,

escorrentías superficiales y otros eventos que pueden afectar directamente la estructura o provocar su descalce.

on datos que deben constar en proyectos constructivos o de mejora y, en caso de no disponer de ellos, puede determinarse mediante con trabajo de campo. El rango establecido es entre 1 y 100 elementos.

Geometría media (moda): altura > 5m, ángulo

Este parámetro se selecciona a partir de la geometría del talud más frecuente (moda) en base a su ángulo. Pretende recoger los riesgos por erosión, deslizamientos, desprendimientos, etc. de taludes de más de 5 metros de altura la vía, considerándola más vulnerable si los ángulos

Ese dato debe recogerse de proyectos constructivos o de mejora y, en caso de no disponer de ellos, puede determinarse mediante con trabajo de campo. El rango establecido es entre 1 (ausencia) y 60 grados.

Longitud tramos de terraplén con h> 5m

Similar al anterior, se estima en base al porcentaje de longitud de la carretera que transcurre sobre terraplenes de altura máxima mayor de 5 metros respecto de la longitud total y determina la vulnerabilidad de estas estructuras por erosión o desprendimientos del propio terraplén.

Se mide en base a la información existente en proyectos constructivos o de mejora y, en caso de no disponer de ellos, puede determinarse mediante con trabajo de campo. El rango establecido es entre un 1 (valor mínimo) y 100%.

Tramos de carretera dentro de zonas inundables PR 500 años

Este dato marca la vulnerabilidad de la carretera en función de su paso por zonas inundables, y por tanto vulnerables en general a eventos de precipitaciones extraordinarias.

Se calcula a partir de la longitud de la vía que transcurre por superficies que se encuentren dentro de zonas inundables para un periodo de retorno de 500 años, que es el máximo del que dispone la cartografía del Sistema nacional de cartografía de zonas inundables (SNCZI) disponible en el SIG de la página web del MITECO (<https://sig.mapama.gob.es/snczi/>). También pueden utilizarse otros estudios regionales o locales, específicos de la vía, para su cálculo.

Esta longitud se compara en forma de porcentaje respecto a la longitud total de la carretera evaluada, con valores entre 1 (mínimo) y 100%.

Longitud en zonas de bosque (arbolado)

Este parámetro marca la vulnerabilidad de la carretera a los incendios forestales por presencia de masas arboladas, que pueden dañar el pavimento, estructuras, señalización etc. y afectar a su operativa al quedar cortadas por caída de árboles, desprendimientos, etc.

Se determina sobre cartografía SIG que incluye el Mapa Forestal de España, consultable en el portal del MITECO (<https://sig.mapama.gob.es/geoport/>). Debe estimarse la longitud de la vía que atraviesa zonas cartografiadas como “arbolado” o “arbolado ralo” por ser las más sensibles a los incendios forestales.

Se define como el porcentaje de la longitud de la vía que atraviesa este tipo de vegetación, y su valor se establece entre el 1% (mínimo) y el 100%.

Para asegurar la validez de las variables seleccionadas, se ha comparado con el listado de impactos definidos inicialmente.

Amenaza climática	Impacto	Variable
Incremento de fenómenos severos: tormentas	Inundaciones en las carreteras	11
	Daños en pilares, puentes y estructuras de soporte	6
	Daños en las distintas capas del pavimento	4
	Daño a la infraestructura de transporte debido al incremento de los deslizamientos	8, 10
	Sobrecargas de los sistemas de drenaje	11
	Cambios en los patrones superficiales de escorrentía	11
Incremento de fenómenos severos: vendavales	Caída de árboles, equipamiento u otros elementos sobre la calzada	4
	Inestabilidad de los vehículos en carreteras y puentes	N/A vías secundarias
	Incremento de la erosión de taludes y terraplenes	8, 10
	Daños estructurales a los puentes	8
	Rotura de la señalización vertical de gran tamaño	N/A vías secundarias
Incremento de condiciones para la generación de incendios forestales	Pérdida de la cubierta vegetal en los márgenes	13
	Daño de la infraestructura por incremento de fuegos y por aumento de la erosión, y movimientos en masa como consecuencia de la pérdida de la capa vegetal quemada	13
Incremento de días muy calurosos y olas de calor	Expansión térmica de las juntas de puentes y pavimentos de hormigón	4
	Daños en el pavimento (surcos, ablandamientos y exudación, entre otros)	4
Incremento del nivel del mar y oleadas	Daño a autopistas, carreteras, túneles subterráneos y puentes debido a inundaciones, anegamientos permanentes en áreas costeras, y erosión costera	11
	Daño a la infraestructura por subsidencia del terreno y deslizamientos	8

Como se puede ver en la tabla anterior, la aplicación de las variables que caracterizan la vulnerabilidad de las carreteras, combinadas con las que definen la vulnerabilidad territorial frente al cambio climático, permiten tener una visión simplificada, pero de conjunto de los daños potenciales que el cambio climático puede tener a futuro sobre cada carretera.

7.3 Variables relacionadas con la vulnerabilidad de las plantas fotovoltaicas

En este caso, la selección de las 7 variables relacionadas con la vulnerabilidad de las plantas solares, se han definido directamente sin necesidad de tener que acometer un proceso de selección como en el caso de las carreteras.

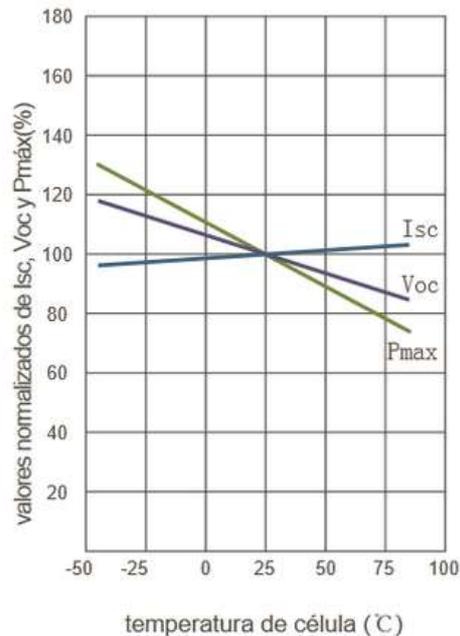
Las variables elegidas se describen a continuación:

- Superficie paneles solares: la variable se define como superficie de paneles solares según los proyectos técnicos. Su vulnerabilidad nace de los efectos físicos en cuanto éstos pueden sufrir deterioro y disminución del rendimiento en episodios de combinación de sequía y vientos, y los efectos de la salinización del ambiente, lo que provocará que se depositen cantidades importantes de polvo, sales y otros elementos de erosión tanto sobre los paneles solares como en los equipos eléctricos de la planta. Esto provocará una aceleración del deterioro de la planta solar y, en consecuencia, una

reducción de su rendimiento y capacidad operativa antes que lo establecido en los cálculos iniciales de la instalación. Su importancia es baja por la baja ocurrencia (los equipos tienen protecciones frente a agentes externos) aunque la severidad puede ser elevada en caso de episodios climáticos graves

- Reducción de potencia por lluvias de barro: las plantas solares están plenamente expuestas a los episodios de lluvia, también de barro. Aunque la inclinación de las instalaciones es suficiente como para tener una buena evacuación del agua, en el caso de las segundas, el barro quedará depositado sobre la superficie de los paneles solares, de modo que una vez secado la superficie de paneles en condiciones óptimas quedará seriamente disminuida. Es necesario mencionar que el barro creará una capa opaca que anulará por completo la capacidad de producción de electricidad del panel solar, de modo que en caso de un evento de este tipo la instalación quedará claramente inoperativa. Si bien es cierto que este tipo de plantas solares cuentan con un mantenimiento preventivo exhaustivo, éste no prevé episodios continuados o frecuentes de este tipo de efecto físico, que con el cambio climático tenderá a producirse de forma más importante (vientos provenientes de zonas desérticas en combinación con episodios de lluvias intensas, ambos efectos físicos definidos para el territorio nacional por el efecto del cambio climático). Aunque su definición vendrá dada por la ubicación de la planta solar en coordenadas UTM, la localización imprevisible de las lluvias de barro hace que esta variable tenga una importancia alta en el modelo.
- Reducción de potencia por temperatura: los módulos solares son especialmente sensibles a la temperatura del entorno en el que están trabajando, por cuanto la temperatura de las células es función de la temperatura ambiente. De este modo, a mayor temperatura ambiente más calentamiento de los módulos, lo que provoca unas pérdidas de producción entre el 0,43% y el 0,47% por cada grado centígrado. En el siguiente gráfico se aprecia como la entrega de potencia (curva verde) disminuye considerablemente con el efecto de la temperatura de la célula y, como se ha indicado, ésta aumenta con el aumento de la temperatura ambiente:

Coefficiente de temperatura según Isc, Voc y Pmax



Así pues, el efecto del aumento de temperaturas esperado afectará directamente a la producción energética de las plantas solares. Además, el aumento de la temperatura de trabajo de las células de forma continuada reduce también la esperanza de vida de los paneles solares, a la vez que acelera su deterioro y pérdida de rendimiento. Esto es especialmente importante puesto que las garantías de rendimiento que ofrecen los fabricantes de paneles solares deberían ser reconsideradas para el efecto físico de un aumento de temperatura.

Por todo ello, la importancia de la variable es muy alta, puesto que depende de un efecto físico conocido y acotado, que además ya ha empezado a medirse de forma objetiva sobre datos climáticos

- Reducción de potencia por cielo cubierto (skycover): las plantas solares están calculadas en función de los datos climáticos históricos disponibles, según las siguientes variables: irradiación anual, temperatura ambiente y horas de Sol anuales. Es en esta tercera variable donde, frente a episodios de cambios en la frecuencia e intensidad de la nebulosidad, el cálculo inicial de producción de la planta solar puede sufrir un mayor impacto. Hay que tener en cuenta que cuando los patrones de nebulosidad cambian, los valores históricos de horas de Sol anuales dejan de ser válidos y, por lo tanto, deja de tener validez el cálculo de la producción energética anual. Por ello, y ante el previsible cambio de dichos patrones que con el cambio climático producirá por el aumento global de la temperatura de los mares y océanos, la importancia de esta variable será alta en el modelo.
- Número de apoyos en zonas con pendiente > 15%: las plantas solares dispuestas sobre el terreno cuentan con apoyos sobre el mismo, que garantizan la seguridad estructural

de la planta frente a episodios climatológicos como el viento. En ocasiones, para reducir el impacto ambiental (y económico) de la ejecución de la planta, dichos apoyos están situados sobre taludes y terraplenes con fuertes pendientes, lo que también mejora su capacidad productiva al evitar sombras entre diferentes zonas de la planta solar ganando altura en dirección norte. Esta buena práctica es, a su vez, una amenaza cuando se analizan los efectos físicos del cambio climático puesto que los apoyos quedan plenamente expuestos a la erosión en caso de eventos climatológicos agudos, como pueden ser el viento, la erosión o las lluvias torrenciales. En caso de la pérdida de apoyos, la fracción de la planta quedará inoperativa y será necesaria su reparación. Es por ello que la variable ha sido tomada en cuenta en el modelo con una importancia moderada.

- Planta solar dentro de zonas inundables PR 500 años: las plantas solares suelen ubicarse en zonas rurales, que tienen una exposición mayor a los cauces hídricos naturales, aunque éstos tengan caudales relativamente bajos en la actualidad. Uno de los mayores efectos físicos del cambio climático será, precisamente, el aumento de los episodios de tormentas severas e inundaciones locales, lo que sin duda volverá a alimentar los cauces hídricos naturales y refluotará zonas inundables históricas que se han ido ocupando por infraestructuras como las plantas solares. Así pues, las plantas situadas en zonas inundables PR 500 años están totalmente expuestas al impacto de estos efectos físicos, lo que sin duda generará graves daños a nivel estructural (erosión y pérdida de apoyos) y a nivel operativo (daños en las líneas y equipos eléctricos). También pueden quedar afectados los equipos de transformación y conexión a la red principal. Por ello, la variable ha sido incluida en el modelo con una importancia moderada.
- Líneas de evacuación en zonas de bosque: las líneas de evacuación en zonas de bosque con arbolado están expuestas al efecto de los incendios forestales. En este caso, el impacto será el de la pérdida de la conexión eléctrica de evacuación ante episodios de importantes incendios forestales que puedan dañar dichas conexiones. La variable ha sido incluida en el modelo con importancia moderada.

8.0 Resultados de la aplicación de la metodología multi-criterio AHP para el análisis de carreteras

A continuación, se presentan los resultados del proceso AHP para la decisión sobre acciones de adaptación al cambio climático de plantas solares

8.1 Modelo de determinación de pesos

Se parte de las siguientes variables de base:

Ámbito	Nº	Indicador	Efecto sobre la vulnerabilidad de la carretera	Inclusión en el modelo final (S/N) y explicación (en caso negativo)
Características generales carretera	1	Altura media carretera	A menor altura, mayor vulnerabilidad a cambio climático	N
	2	Población servida / IMD	Población afectada en caso de no poder utilizar la carretera,	S
	3	Longitud trazado en estudio	A mayor longitud, mayor vulnerabilidad	N
Pavimento	4	Longitud de carretera y accesos asfaltada	La mayor variación térmica afecta a ligantes y juntas en tableros	S
	5	Tipo capa drenante	La reducción de las precipitaciones afecta al firme en tramos con pavimentos drenantes	N
Estructuras (puentes y túneles)	6	Número de apoyos en cauces	A mayor número de apoyos en zonas erosionables, más riesgo de problemas en estructuras	S
Geotecnia y taludes	7	Índice RMR /SMR Rocas	A mayor fracturación del terreno, más riesgo de que se generen desprendimientos	N
	8	Geometría media (moda): altura, ángulo	A mayor altura del talud, más riesgo de desprendimientos/ deslizamientos	S
	9	Superficie desnuda de taludes	A mayor superficie del talud, más problemas de desprendimientos por erosión	N
	10	Longitud tramos de terraplén con h> 5m	A mayor presencia de terraplenes, más riesgo de problemas estructurales en el firme de la carretera	S
Hidrología y drenaje	11	Tramos de carretera dentro de zonas inundables PR 500 años	A mayor presencia de tramos de carretera en zona inundable, mayor riesgo de inundación	S
	12	Número de obras de drenaje transversal	A mayor número de obras de drenaje, mayor riesgo de problemas estructurales	N
Incendios forestales	13	Longitud en zonas de bosque (arbolado)	A mayor presencia de zonas boscosas junto a la carretera, mayor riesgo de afectaciones por incendios	S

Y se considera la siguiente caracterización de las mismas:

	1	2	3	4	5	6	7
Peso	30%	10%	15%	20%		20%	5%
Ámbito	Características generales carretera	Pavimento	Estructuras (puentes y túneles)	Geotécnia y taludes		Hidrología y drenajes	Incendios forestales
VARIABLE	Población servida / IMD	Longitud trazado en estudio	Número de apoyos en cauces	Geometría media (moda): altura, ángulo	% Longitud tramos de terraplén con h>5m	% Tramos de carretera dentro de zonas inundables PR 500 años	% Longitud en zonas de bosque (arbolado)
FUENTE	Datos administración	Cartografía oficial CCAA	Proyecto ejecutivo	Proyecto ejecutivo	Proyecto ejecutivo	Cartografía oficial SNCZI	Cartografía oficial MITECO
VALORES (UNIDAD)	Vehículos/día	Km	Uds	Grados	%	%	%
VALORES (RANGO)	1000 a 20000	1 a 50	0-100	1 a 60	0-100	0-100	0-100
PESO	30%	10%	15%	10%	10%	20%	5%
MÍNIMA UNIDAD TERRITORIAL CON DATOS DISPONIBLES	Disponibles para cada vía	Calcular para cada vía	Estudio proyecto carretera	Estudio proyecto carretera	Estudio proyecto carretera	Calcular para cada vía	Calcular para cada vía

Datos CCAA, diputaciones, ayuntamientos, cabildos

Se realiza sobre cartografía disponible

Se estudia sobre proyecto ejecutado/as build

Se estudia sobre proyecto ejecutado/as build

Se estudia sobre proyecto ejecutado/as build

Se realiza sobre cartografía disponible

Se realiza sobre cartografía disponible

8.1.1 Comparación de variables dos a dos

Los valores de comparación dos a dos de las siete variables son:

CRITERIO A	IMPORTANCIA DE A SOBRE B	CRITERIO B
IMD	3	APOYOS
IMD	3	TALUDES
IMD	5	TERRAPLENES
IMD	3	INUNDABLES
IMD	7	BOSQUE
LONGITUD	3	APOYOS
LONGITUD	1	TALUDES
LONGITUD	5	TERRAPLENES
LONGITUD	1	INUNDABLES
LONGITUD	5	BOSQUE
APOYOS	1/3	TALUDES
APOYOS	1	TERRAPLENES
APOYOS	1/3	INUNDABLES
APOYOS	3	BOSQUE
TALUDES	3	TERRAPLENES
TALUDES	1	INUNDABLES
TALUDES	5	BOSQUE
TERRAPLENES	1/3	INUNDABLES
TERRAPLENES	3	BOSQUE
INUNDABLES	3	BOSQUE

8.1.2 Construcción de la matriz de relaciones

En base a la metodología explicada en el punto 5, se construye la siguiente matriz de comparaciones:

MATRIZ PRINCIPAL (A)								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S
S1	1	5	3	3	5	3	7	27,0
S2	1/5	1	3	1	5	1	5	16,2
S3	1/3	1/3	1	1/3	1	1/3	3	6,3
S4	1/3	1	3	1	3	1	5	14,3
S5	1/5	1/5	1	1/3	1	1/3	3	6,1
S6	1/3	1	3	1	3	1	3	12,3
S7	1/7	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1	2,5
SUMA	2,54	8,73	14,33	6,87	18,33	7,00	27,00	S

8.1.3 Matriz normalizada

Normalizando la anterior matriz A mediante la división de cada elemento por el sumatorio de su columna, se obtiene la siguiente matriz normalizada N:

MATRIZ NORMALIZADA (N)						
v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7
0,39	0,57	0,21	0,44	0,27	0,43	0,26
0,08	0,11	0,21	0,15	0,27	0,14	0,19
0,13	0,04	0,07	0,05	0,05	0,05	0,11
0,13	0,11	0,21	0,15	0,16	0,14	0,19
0,08	0,02	0,07	0,05	0,05	0,05	0,11
0,13	0,11	0,21	0,15	0,16	0,14	0,11
0,06	0,02	0,02	0,03	0,02	0,05	0,04

8.1.4 Vector de pesos

Y promediando cada fila, se obtiene el siguiente vector de pesos P:

PROMEDIO (P)
0,37
0,16
0,07
0,16
0,06
0,15
0,03
PESOS

8.1.5 Análisis de consistencia

El valor de relación de consistencia se obtiene partiendo del vector que resulta de la multiplicación matricial $A \cdot P$ y de la suma de los valores de dicho vector que tomará el nombre de $\lambda_{m\acute{a}x}$.

AxP
2,85
1,23
0,51
1,16
0,44
1,09
0,24
7,52

Y aplicando las fórmulas definidas en el punto 5 de este documento se obtiene:

RELACIÓN DE CONSISTENCIA	
Número de variables	7
Índice de Consistencia (IC)= $(\lambda_{max}-n)/(n-1)$	0,08684149
Consistencia aleatoria (CA)= $1,98 \cdot (n-2)/n$	1,41428571
Relación de consistencia (RC)= IC/CA	0,06140307
Si RC < 0,1 se ha ponderado razonablemente bien	

Obteniendo un valor de 0,06 que está claramente por debajo del nivel del 10%.

8.2 Modelo de decisión

El proceso AHP realizado nos ofrece los pesos de cada una de las variables de forma que el índice de decisión que se asignará a cada alternativa será:

$$Id_i = 2.85 \cdot C1_i + 1.23 \cdot C2_i + 0.51 \cdot C3_i + 1.16 \cdot C4_i + 0.44 \cdot C5_i + 1.09 \cdot C6_i + 0.24 \cdot C7_i$$

Siendo Cn_i el criterio n de la alternativa i, con:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
C1	Población servida / IMD
C2	Longitud trazado en estudio
C3	Número de apoyos en cauces
C4	Geometría media (moda): altura, ángulo
C5	% Longitud tramos de terraplén con h > 5m
C6	% Tramos de carretera dentro de zonas inundables PR 500 años
C7	% Longitud en zonas de bosque (arbolado)

9.0 Resultados de la aplicación de la metodología multi-criterio AHP para el análisis de plantas fotovoltaicas

A continuación, se presentan los resultados del proceso AHP para la decisión sobre acciones de adaptación al cambio climático de plantas solares

9.1 Modelo de determinación de pesos

Se parte de las siguientes variables seleccionadas:

Ámbito	Nº	Indicador	Efecto sobre la vulnerabilidad del parque solar
Características generales emplazamiento	1	Superficie paneles solares	Deterioro por exposición al polvo (erosión por sequedad, etc)
	2	% Reducción de potencia por lluvias de barro	El incremento de lluvias de barro reduce la producción energética
Paneles	3	% Reducción de potencia por temperatura	El incremento de la temperatura afecta al rendimiento de la instalación
	4	% reducción de generación por cielo cubierto	El incremento del % de cielo cubierto (skycover ratio) impactará en la producción energética
Estructuras	5	Número de apoyos de paneles y línea de evacuación en zonas con pendiente superior al 15%	A mayor número de apoyos en zonas erosionables, más riesgo de problemas en estructuras
Hidrología y drenaje	6	Número de apoyos línea de evacuación dentro de zonas inundables PR 500 años	A mayor presencia en zonas inundables, mayor riesgo de afectación
Incendios forestales	7	Longitud líneas de evacuación en zonas de bosque (arbolado)	A mayor presencia de zonas boscosas junto a la línea, mayor riesgo de afectaciones por incendios

Y se considera la siguiente caracterización de las mismas:

	1	2	3	4	5	6	7
Peso	25%		40%		10%	15%	10%
Ámbito	Características generales emplazamiento		Paneles		Estructuras	Hidrología y drenajes	Incendios forestales
VARIABLE	Superficie paneles solares	% Reducción de potencia por lluvias de barro	% de reducción de potencia por temperatura	% de reducción de generación por cielo cubierto	Nº de apoyos en zonas con pendiente >15%	% superficie parque dentro de zonas inundables PR 500 años	% Longitud línea evacuación en zonas de bosque (arbolado)
FUENTE	Proyecto ejecutivo	Cartografía oficial CCAA	Proyecto ejecutivo	Proyecto ejecutivo	Proyecto ejecutivo	Cartografía oficial SNCZI	Cartografía oficial MITECO
VALORES (UNIDAD)	m2	Coordenadas UTM	%	Uds	Uds	%	%
VALORES (RANGO)	0 a xx	XX;YY	0-100	1 a 100	1 a 100	0-100	0-100
PESO	10%	15%	25%	15%	10%	15%	10%
MÍNIMA UNIDAD TERRITORIAL CON DATOS DISPONIBLES	Estudio proyecto parque	Calcular para cada proyecto	Estudio proyecto parque	Estudio proyecto parque	Estudio proyecto parque	Calcular para cada proyecto	Calcular para cada proyecto
	Se estudia sobre proyecto ejecutado/as build	Se realiza sobre cartografía disponible	Se estudia sobre proyecto ejecutado/as build	Se estudia sobre proyecto ejecutado/as build	Se estudia sobre proyecto ejecutado/as build	Se realiza sobre cartografía disponible	Se realiza sobre cartografía disponible

9.1.1 Comparación de variables dos a dos

Los valores de comparación dos a dos de las siete variables son:

CRITERIO A	IMPORTANCIA DE A SOBRE B	CRITERIO B
SUPERFICIE	1/7	LLUVIAS BARRO
SUPERFICIE	1/9	POTENCIA
SUPERFICIE	1/7	CIELO CUBIERTO
SUPERFICIE	1/3	PENDIENTE
SUPERFICIE	1/5	APOYOS INUN
SUPERFICIE	1/5	BOSQUE
LLUVIAS BARRO	1/3	POTENCIA
LLUVIAS BARRO	1	CIELO CUBIERTO
LLUVIAS BARRO	7	PENDIENTE
LLUVIAS BARRO	5	APOYOS INUN
LLUVIAS BARRO	5	BOSQUE
POTENCIA	3	CIELO CUBIERTO
POTENCIA	7	PENDIENTE
POTENCIA	5	APOYOS INUN
POTENCIA	5	BOSQUE
CIELO CUBIERTO	7	PENDIENTE
CIELO CUBIERTO	5	APOYOS INUN
CIELO CUBIERTO	5	BOSQUE
PENDIENTE	1/5	APOYOS INUN
PENDIENTE	1/5	BOSQUE
APOYOS INUN	1	BOSQUE

9.1.2 Construcción de la matriz de relaciones

En base a la metodología explicada en el punto 5, se construye la siguiente matriz de comparaciones:

MATRIZ PRINCIPAL (A)								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S
S1	1	1/7	1/9	1/7	1/3	1/5	1/5	2,1
S2	7	1	1/3	1	7	5	5	26,3
S3	9	3	1	3	7	5	5	33,0
S4	7	1	1/3	1	7	5	5	26,3
S5	3	1/7	1/7	1/7	1	1/5	1/5	4,8
S6	5	1/5	1/5	1/5	5	1	1	12,6
S7	5	1/5	1/5	1/5	5	1	1	12,6
SUMA	37,00	5,69	2,32	5,69	32,33	17,40	17,40	S

9.1.3 Matriz normalizada

Normalizando la anterior matriz A mediante la división de cada elemento por el sumatorio de su columna, se obtiene la siguiente matriz normalizada N:

MATRIZ NORMALIZADA (N)						
v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7
0,03	0,03	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01
0,19	0,18	0,14	0,18	0,22	0,29	0,29
0,24	0,53	0,43	0,53	0,22	0,29	0,29
0,19	0,18	0,14	0,18	0,22	0,29	0,29
0,08	0,03	0,06	0,03	0,03	0,01	0,01
0,14	0,04	0,09	0,04	0,15	0,06	0,06
0,14	0,04	0,09	0,04	0,15	0,06	0,06

9.1.4 Vector de pesos

Y promediando cada fila, se obtiene el siguiente vector de pesos P:

PROMEDIO (P)
0,02
0,21
0,36
0,21
0,04
0,08
0,08
PESOS

9.1.5 Análisis de consistencia

El valor de relación de consistencia se obtiene partiendo del vector que resulta de la multiplicación matricial A*P y de la suma de los valores de dicho vector que tomará el nombre de $\lambda_{m\acute{a}x}$.

AxP
0,17
1,75
2,88
1,75
0,25
0,61
0,61
8,00

Y aplicando las fórmulas definidas en el punto 5 de este documento se obtiene:

RELACIÓN DE CONSISTENCIA	
Número de variables	7
Índice de Consistencia (IC)= $(n_{max}-n)/(n-1)$	0,1668081
Consistencia aleatoria (CA)= $1,98*(n-2)/n$	1,4142857
Relación de consistencia (RC)= IC/CA	0,1179451
Si RC < 0,1 se ha ponderado razonablemente bien	

Obteniendo un valor que se da como válido aún superando en un 1% el valor límite del 10% por estar trabajando con 7 variables.

9.2 Modelo de decisión

El proceso AHP realizado nos ofrece los pesos de cada una de las variables de forma que el índice de decisión que se asignará a cada alternativa será:

$$Id_i = 0.17 * C1_i + 1.75 * C2_i + 2.88 * C3_i + 1,75 * C4_i + 0,25 * C5_i + 0,61 * C6_i + 0,61 * C7_i$$

Siendo Cn_i el criterio n de la alternativa i, con:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
C1	Superficie paneles solares
C2	% Reducción de potencia por lluvias de barro
C3	% Reducción de potencia por temperatura
C4	% reducción de generación por cielo cubierto
C5	Número de apoyos de paneles y línea de evacuación en zonas con pendiente superior al 15%
C6	Número de apoyos línea de evacuación dentro de zonas inundables PR 500 años
C7	Longitud líneas de evacuación en zonas de bosque (arbolado)

10.0 Resumen y conclusiones

Cuando nos enfrentamos a decisiones por el hecho de tener que escoger entre alternativas debido a la escasez de recursos (tiempo y/o dinero), disponer de herramientas que objetiven dicha decisión es de suma importancia.

En el marco del presente trabajo de investigación se ha desarrollado dos algoritmos de decisión para acometer inversiones en proyectos de adaptación al cambio climático basado en criterio experto. Pero más allá de los algoritmos en sí, el trabajo propone una metodología aplicable a cualquier proyecto que requiera de un análisis multi-criterio en materia de adaptación al cambio climático.

Los algoritmos deben entenderse como una herramienta más que no debe excluir otras consideraciones también limitantes como puede ser la disponibilidad de recursos económicos. No obstante, a parte de su utilidad en la ayuda a la toma de decisiones, es sin duda una valiosa herramienta para comparar vulnerabilidad a los efectos físicos del cambio climático de proyectos e infraestructuras.

11.0 Bibliografía

- EU Technical Expert Group on Sustainable Finance: Taxonomy Technical Report (Grupo de expertos técnicos de la UE sobre finanzas sostenibles: Informe técnico sobre taxonomía junio, 2019)

https://ec.europa.eu/info/files/190618-sustainable-finance-teg-report-taxonomy_en

- Acto Delegado de Taxonomía de la UE – Julio 2021

[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=PI_COM:C\(2021\)2800](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=PI_COM:C(2021)2800)

- Identification of critical sections of the Spanish transport system due to climate scenarios. Emilio Ortega, Belén Martín, Ángel Aparicio, Journal of Transport Geography, Volume 84, 2020.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966692319307379?via%3Dihub>

- Climate-resilient Infrastructure OECD ENVIRONMENT POLICY PAPER NO. 14

<https://www.oecd.org/environment/cc/policy-perspectives-climate-resilient-infrastructure.pdf>

- Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections, Kepa Solaun, Emilio Cerdá, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 116, 2019.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119306239>

Anexo 1: VARIABLES DE RIESGO FÍSICO POR PROVINCIAS (ECODES, 2020)

Provincia	Riesgo		VFT	Variables de riesgo físico						
	RA	RCR		RF1	RF2	RF3	RF4	RF5	RF6	RF7
Albacete	46	40	44	6	0,0	54	10	58	0	89
Alicante	79	64	75	48	0,0	100	25	87	100	85
Almería	42	53	45	69	75,0	72	15	23	43	95
Álava	54	32	47	21	0,0	82	11	57	0	69
Asturias	93	38	77	95	100,0	90	26	93	4	68
Ávila	28	35	30	5	0,0	58	8	26	0	78
Badajoz	47	42	46	5	0,0	67	11	55	0	95
Balears, Illes	66	43	59	29	0,0	87	16	73	23	80
Barcelona	73	69	72	62	0,0	86	51	77	84	79
Bizkaia	82	39	69	88	0,0	82	18	87	21	68
Burgos	63	34	54	14	50,0	58	10	77	0	76
Cáceres	40	43	41	10	0,0	67	13	42	0	93
Cádiz	71	61	68	68	0,0	72	37	77	43	94
Cantabria	73	59	69	71	0,0	95	31	73	99	67
Castellón	52	67	56	33	0,0	100	35	45	100	81
Ciudad Real	44	39	42	4	0,0	54	7	54	0	91
Córdoba	63	51	59	31	0,0	72	36	73	0	91
Coruña, A	49	45	47	31	0,0	85	24	45	31	72
Cuenca	32	40	34	4	0,0	54	12	34	0	88
Guipúzcoa	82	46	71	100	0,0	82	35	84	21	68
Girona	79	61	74	88	50,0	86	32	77	84	78

Provincia	Riesgo		VFT	Variables de riesgo físico						
	RA	RCR		RF1	RF2	RF3	RF4	RF5	RF6	RF7
Granada	71	59	68	60	75,0	72	35	73	43	91
Guadalajara	38	38	38	10	0,0	54	8	43	0	86
Huelva	67	50	62	43	0,0	72	10	77	43	94
Huesca	58	36	51	47	0,0	64	11	63	0	79
Jaén	50	55	51	41	75,0	72	48	42	0	90
León	60	35	52	41	50,0	58	11	66	0	76
Lleida	71	43	62	47	50,0	86	28	73	0	79
Lugo	55	48	53	57	0,0	85	32	49	31	72
Madrid	55	38	50	6	0,0	53	13	73	0	81
Málaga	72	78	74	75	0,0	72	78	77	43	95
Murcia	78	57	72	23	25,0	68	26	100	52	91
Navarra	74	39	63	55	75,0	69	24	80	0	72
Ourense	61	33	53	30	0,0	85	11	66	0	73
Palencia	55	34	49	9	0,0	58	8	70	0	77
Palmas, Las	39	13	31	49	0,0	72	10	28	48	0
Pontevedra	57	41	52	49	0,0	85	12	54	31	74
Rioja, La	40	36	39	24	75,0	52	19	37	0	72
Salamanca	42	34	40	7	0,0	58	5	49	0	78
Sta. Cruz Tenerife	38	17	32	45	25,0	72	18	26	48	0
Segovia	20	32	24	3	0,0	58	4	13	0	77
Sevilla	76	47	68	26	0,0	72	24	97	0	94
Soria	30	32	30	3	0,0	58	4	29	0	76
Tarragona	68	63	67	32	0,0	86	34	77	84	81
Teruel	31	37	33	4	0,0	64	13	29	0	80
Toledo	55	38	50	3	0,0	54	7	73	0	89
Valencia	68	61	66	29	0,0	100	19	73	100	83
Valladolid	64	32	55	1	0,0	58	3	87	0	78
Zamora	52	33	47	7	0,0	58	5	66	0	78
Zaragoza	65	36	56	5	75,0	64	9	80	0	80
Ceuta	24	42	30	1	0,0	82	0	13	34	89
Melilla	22	5	17	1	0,0	72	0	13	26	0

