

La herramienta CLARITY para infraestructuras de transporte

CLARITY as a Tool for Transport Infrastructures

Laura Parra^{1*}, José Cubillo², María Postigo³, Luis Torres⁴

Resumen

Que el CO₂ acumulado en la atmósfera ha aumentado y que la principal causa de dicho aumento es antropogénica, es una afirmación ampliamente conocida y demostrada por la comunidad científica.

El efecto previsible de este aumento de CO₂ y otros gases de efecto invernadero también generados por la actividad humana es un cambio del clima que ya comenzamos a experimentar. En España, se prevé un aumento de las temperaturas medias y un incremento de la intensidad de precipitación en periodos de tiempo más cortos, entre otros aspectos.

La UE anima, de manera decidida, a que la información climática se plasme en índices climáticos que sean de utilidad en la toma de decisiones (energía, agricultura, vivienda, transporte, etc.). Para ello, resultan de gran interés los llamados servicios climáticos, que son servicios web en los que los usuarios podrán obtener la información climática adaptada a sus necesidades.

En este sentido, el proyecto CLARITY, financiado en el marco del programa H2020 de la UE, ha desarrollado un servicio climático (CSIS) que alberga una herramienta online para la evaluación del riesgo en infraestructuras urbanas y de transportes, proporcionando las proyecciones de las variables climáticas que se han considerado más representativas de las potenciales amenazas a las que se pueden enfrentar tanto las ciudades como las carreteras.

El presente artículo tiene como objetivo presentar el análisis que se ha efectuado de los posibles cambios vinculados al clima que hay que tener en cuenta en el diseño y explotación de infraestructuras de transporte –principalmente carreteras–, los resultados obtenidos de la aplicación del estudio a un caso piloto en España y mostrar de qué manera esta metodología se ha materializado como servicio climático.

En España, la Ley 21/ 2013 de Evaluación de Impacto Ambiental, modificada por la Ley 9 de 2018 que recoge aspectos de evaluación de impacto ambiental entre otros contenidos, refuerza la idea de cuantificar la consideración de los factores climáticos y los posibles efectos sobre los proyectos. Esta última norma afianza aún *más las cuestiones medioambientales de eficiencia en el uso de los recursos, y los riesgos de accidentes y catástrofes, como consideración previa a la elaboración del proyecto*. Asimismo, la inminente ley de cambio climático es el marco perfecto para conseguir que todos los actores involucrados en la planificación, gestión y conservación de infraestructuras incorporen en sus actividades información sobre las proyecciones climáticas, basadas el conocimiento existente (inteligencia climática). Herramientas como CLARITY ayudarán a acometer este apasionante reto, con el objetivo de que nuestras ciudades e infraestructuras sean más sostenibles y resilientes ante los posibles efectos del cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, carreteras, transporte, resiliencia, adaptación.

Abstract

The increase of accumulated atmospheric CO₂ caused mainly by human activities is a statement widely known and proved by the scientific community. The foreseeable effect of this CO₂ and other greenhouse gases also generated by human activity is a change in the climate that we are already beginning to experience. In Spain, an increase in average temperatures and in the intensity of precipitation in shorter periods of time, among other effects, is expected.

The EU strongly encourages climate information to be reflected in climate indices that are useful in the decision-making process in different activities (energy, agriculture, housing, transport, etc.). In doing so, the so-called climate services are of great interest. Climate services consist of web applications where users can obtain climate information adapted to their needs.

In this sense, the CLARITY project, financed under the EU's H2020 program, has developed a climate service (CSIS) that hosts an online tool for risk assessment in urban and transport infrastructure, providing projections of the climate variables that have been considered more representative of the potential threats to both cities and roads.

The objective of this article is to present the analysis of the possible changes related to the climate that must be taken into account in the design and operation of transport infrastructures -mainly roads–, the results obtained from the application of the study to a pilot case in Spain, and, finally, present how this methodology has been implemented as a climate service.

In Spain, Law 21/2013 on Environmental Impact Assessment, amended by Law 9 of 2018, which includes aspects of environmental impact assessment among other contents, reinforces the idea of quantifying the consideration of climatic factors and the possible effects on projects. It further strengthens the importance of promoting the efficiency in the use of resources and assessing the risks of accidents and catastrophes, as considerations prior to the preparation of the project. The imminent climate change law is the perfect framework to ensure that all actors involved in infrastructure planning, management and conservation incorporate climate information into their activities, based on the existing knowledge (climate intelligence). Tools like CLARITY will help tackle this exciting challenge, with the aim of making our cities and infrastructures more sustainable and resilient to the possible effects of climate change.

Keywords: climate change, roads, transport, resiliency, adaptation.

* Autora de contacto: laura.parra@cedex.es

¹ Ingeniera de caminos, canales y puertos. Centro de Estudios del Transporte del CEDEX.

² Licenciado en Física y doctor ingeniero químico. Acciona Ingeniería.

³ Licenciada en Ciencias Físicas. AEMET.

⁴ Licenciado en Ciencias Físicas y Máster en Meteorología Teórica y Aplicada. METEOGRID.

1. INTRODUCCIÓN: EL PROYECTO CLARITY

Las áreas urbanas y las infraestructuras de transporte que vertebran los territorios son elementos altamente

vulnerables al cambio climático. Incorporar el conocimiento existente sobre la variabilidad climática a la que se pueden ver expuestas las ciudades y las redes de transporte puede aumentar su resiliencia, generando valor añadido para las empresas (consultorías, servicios, etc.) así como para la sociedad en general.

Sin embargo, en la práctica se ha visto que la aplicación de la llamada “inteligencia climática” a las distintas actividades económicas o tecnológicas no es inmediata, sino que existe un cierto salto (o *gap*) entre la información disponible –que muchas veces se antoja etérea y excesivamente compleja- y las necesidades concretas del usuario final.

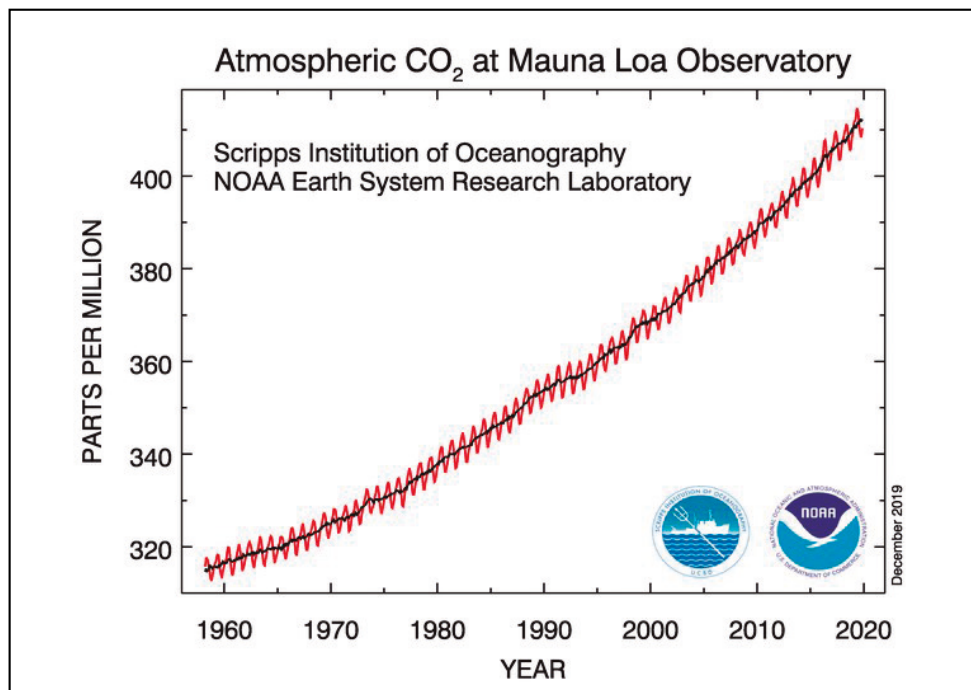


Figura 1. La medida continua de CO₂ atmosférico en el Observatorio de Mauna Loa muestra un incremento constante de 2 ppm desde el año 1958 hasta el año 2020.

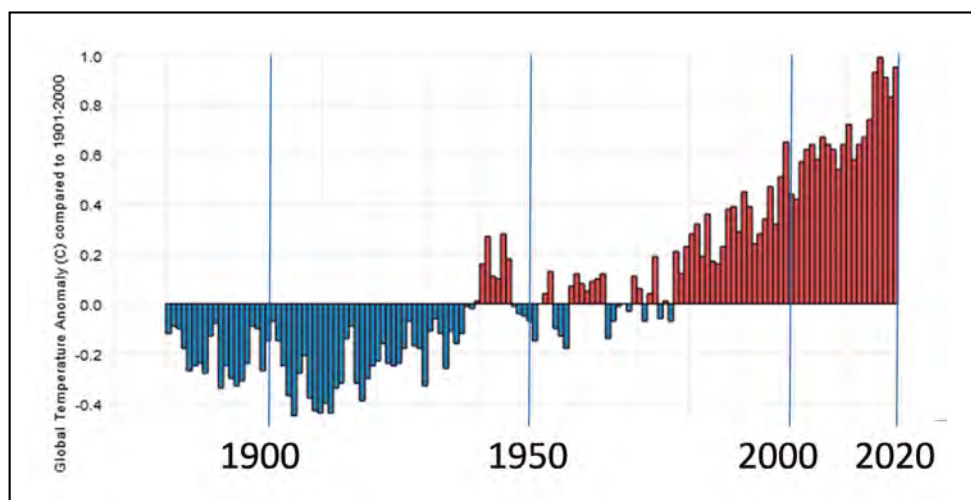


Figura 2. Asociado a este incremento de CO₂ atmosférico se ha producido un incremento en la temperatura global media de aproximadamente 1 °C en los últimos 70 años.

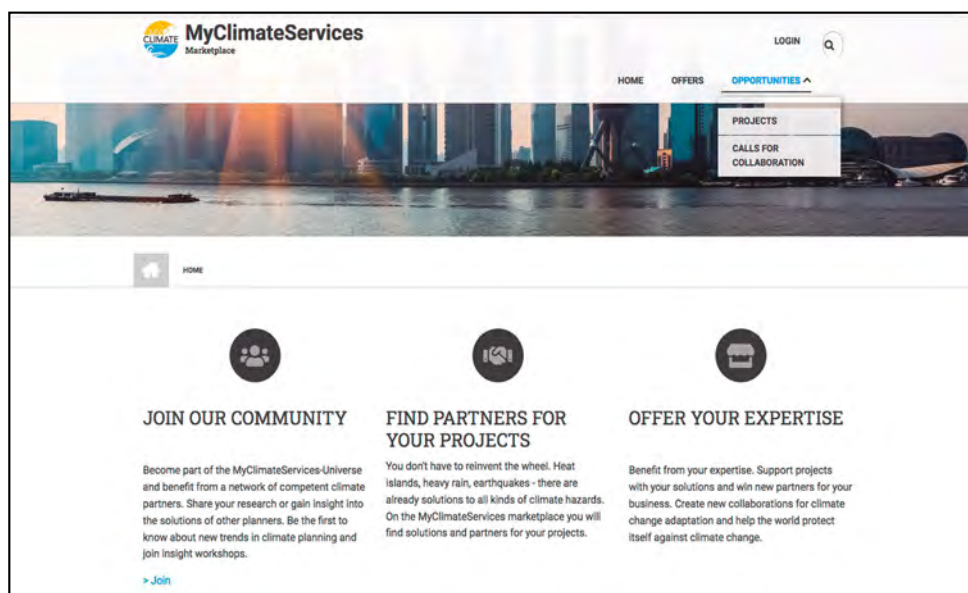


Figura 3. My Climate Service Marketplace.

En el proyecto CLARITY¹, el **objetivo** ha sido adaptar esa “inteligencia climática” existente a las necesidades de esos posibles usuarios, en forma de índices representativos para su inclusión en los procesos de planificación, diseño, gestión y conservación de infraestructuras (urbanas y de transporte). Así mismo, se ha considerado necesario concretar el proceso de análisis del riesgo vinculado a los posibles impactos que el cambio climático puede causar en una infraestructura, para facilitar la inclusión de estas consideraciones en los flujos que sustentan la toma de decisiones. Basado en los resultados del proyecto, se ha creado un Sistema Integrado de Información de Servicios Climáticos (CSIS) para incorporar la resiliencia en las infraestructuras urbanas y de transporte.

CSIS es un sistema alojado en la nube que permite calcular y presentar los posibles efectos de las amenazas inducidas y amplificadas por cambio climático, evaluando la exposición de los elementos, su vulnerabilidad y el impacto esperable. De esta forma, CLARITY se convierte en una herramienta de apoyo para el estudio de distintas medidas de adaptación y opciones de reducción de riesgos en el contexto analizado, lo que permitiría comparar estrategias alternativas.

El servicio climático CSIS se ha desarrollado en dos grandes niveles; un primer nivel básico (*screening services*) y un segundo nivel avanzado (*expert services*). Los estudios a nivel *screening* se refieren a herramientas o aplicaciones sencillas y fáciles de usar, basadas en datos que ya están calculados y estarán cargados en la web y que permitirán realizar un primer análisis aproximado de la resiliencia de un proyecto. Por su parte, los servicios expertos están enfocados a la realización de estudios de evaluación del riesgo de cambio climático en un emplazamiento específico, precisando los impactos esperables y proponiendo medidas de adaptación para mitigar los efectos adversos.

Así mismo se ha desarrollado una plataforma (*Marketplace*) que será punto de encuentro entre usuarios que precisan

de estudios climáticos para sus proyectos y los proveedores de información climática. Será también un lugar de intercambio de noticias y eventos, con la posibilidad de crear comunidades de interesados en ámbitos específicos (figura 3).

Este servicio de adaptación al clima está disponible en línea (<https://csis.myclimateservice.eu/>) y permite la detección automatizada de los riesgos climáticos en toda la UE, siguiendo la metodología estandarizada que se ha propuesto en las recomendaciones EU GL [1] (figura 4).



Figura 4. Metodología CLARITY basada en las recomendaciones EU GL.

Se trata de un flujo de trabajo que permite analizar la resiliencia a través de opciones alternativas de diseño y distintos escenarios de adaptación. Los pasos que se siguen son:

1. Caracterización de las amenazas que pueden afectar al área de proyecto.
2. Evaluación de la exposición de los elementos a estas amenazas.
3. Análisis de la vulnerabilidad de estos elementos antes las amenazas.

¹ Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n° 730355.

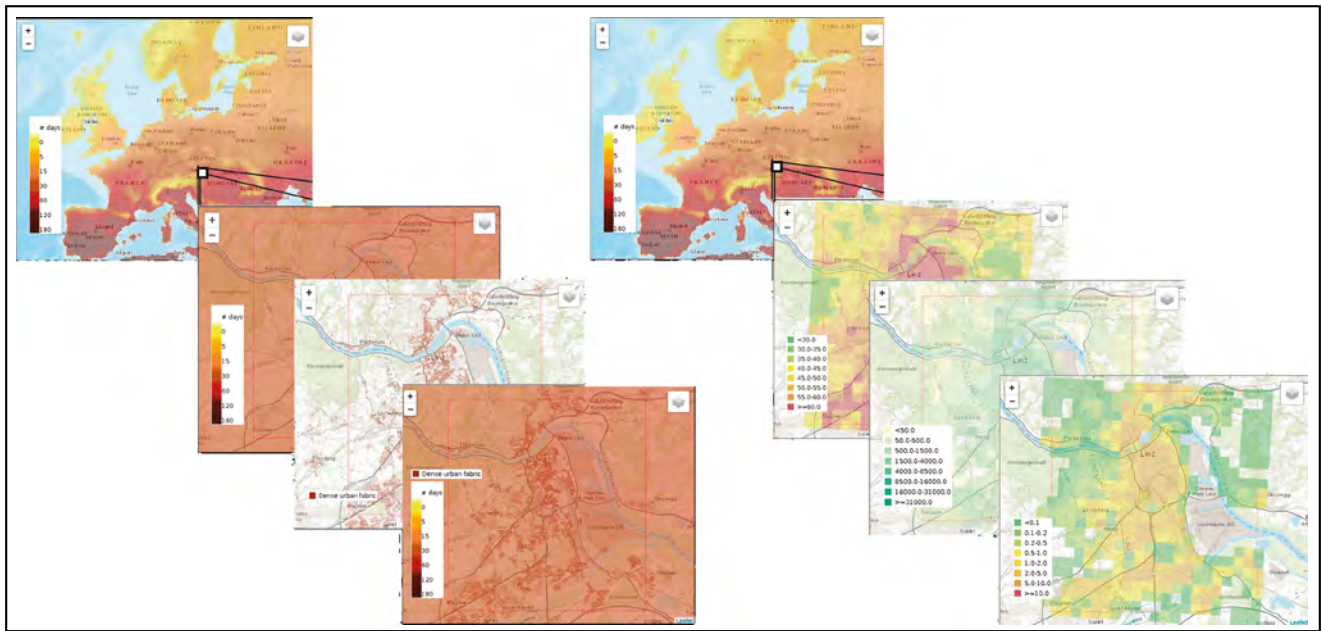


Figura 5. A la izquierda se muestra un ejemplo de “Evaluación básica”, consistente en la superposición de distintos conjunto de datos (p. ej. datos climáticos y de uso del suelo). A la derecha se muestra un ejemplo de “Evaluación avanzada”, en el que se han calculado los índices de amenaza de calor a una mayor resolución y, cruzando esta información con los datos de población, se han evaluado los impactos.

4. Evaluación de los riesgos y de los impactos.
5. Identificación de las opciones de adaptación.
6. Estudio de las opciones de adaptación, relevantes para el proyecto y para el área en la que se ubica.
7. Integración de las opciones de adaptación en el proyecto y re-análisis.

Esta metodología es la que se ha implementado en el CSIS. En él se puede acceder de manera sencilla a los datos climáticos disponibles públicos y a datos sobre usos del suelo. Y tal y como se ha comentado, permite una opción de evaluación básica y otra avanzada (figura 5).

Como resultado de las evaluaciones en línea se obtienen informes con toda la información que se genera de manera automática.

La metodología y los cálculos han sido probados y validados en cuatro casos piloto, que han permitido, además, comprobar el buen funcionamiento del servicio climático desarrollado en diferentes contextos climáticos y regionales, para distintas tipologías de infraestructuras y para amenazas no coincidentes en Italia, Suecia, Austria y España.

2. CLARITY PARA INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

El servicio desarrollado, CSIS, permite analizar tanto ciudades como infraestructuras de transporte. Pese a que la metodología es común para ambas, la aplicación al caso de las infraestructuras lineales presenta algunas particularidades.

El interés de desarrollar una aplicación para el estudio de impactos en infraestructuras de transporte en España viene motivado por el hecho de que nuestro país cuenta con una extensa y madura red, tanto de carreteras como de ferrocarriles. La Red de Carreteras del Estado (RCE) cuenta con más de 26.000 km, de los cuales unos 12.000 son autopistas, carreteras multivías y carreteras multicarril. La Red Ferroviaria de Interés General (RFIG), por su parte, tiene una

longitud de unos 15.300 km, siendo aproximadamente 2.600 km vías de alta velocidad. Un estudio reciente acometido por el CEDEX [2] estimaba que, aproximadamente, el 45 % de la RCE sufría impactos vinculados al clima y en un 6 % esos impactos se podían catalogar como importantes. En ferrocarriles, la situación es similar, siendo el porcentaje de km afectados por eventos climático del 60 % y el de severas afecciones un 12 %². De aquí se intuye ya la importancia de incluir la información climática en la conservación de la red y, por extensión, también en los estudios previos, como son la planificación y el proyecto de actuaciones -bien sean de obra nueva o rehabilitación-.

De esta forma, y como complemento al estudio efectuado a nivel de red en 2018, surge la oportunidad, a través del proyecto CLARITY, de efectuar un análisis de detalle de una sección de la red, en concreto, en la autopista A-2, entre los pp.kk. 62+000 y 139+500. Este tramo está actualmente en explotación, en régimen de concesión por un periodo de 19 años mediante peaje en sombra hasta 2026 a ACCIONA Construcción.

El estudio sigue la metodología CLARITY (figura 4), si bien merece destacarse que se ha implementado de tal forma que sea coherente con otras metodologías (PIARC, México y FHWA, en concreto) y, por supuesto, alineada con los trabajos previos llevados a cabo en España [2].

La evaluación comienza (paso 1) con el análisis de los principales impactos o **amenazas** que, con la colaboración de técnicos del MITMA de las distintas demarcaciones, se habían identificado para la RCE. Algunos de estos impactos se relacionan en el cuadro siguiente (figura 6), en el que se aprecia que los impactos están directamente asociados a

² El hecho de que, como resultado del ejercicio efectuado [2], la vulnerabilidad actual de la red ferroviaria resultara superior a la de la red de carreteras se ha de interpretar teniendo en cuenta que la sensibilidad frente al clima de algunos elementos de la infraestructura y los protocolos de explotación de una y otra red no son equiparables.



Figura 6. Relación de impactos en carreteras vinculados al clima (precipitaciones y temperaturas).

un evento climático, que puede ser la precipitación, la temperatura, la formación de hielo, niebla, u otros.

Para cada uno de estos impactos o amenazas se propuso un índice climático, buscando que tal índice fuera determinante en el mismo (es decir, a mayor nivel de índice, mayor impacto esperable). Estos índices han sido calculados para toda España por AEMET, para distintos horizontes temporales y distintos escenarios de radiación (RCP, por sus siglas en inglés, *Representative Concentration Pathways*, trayectorias representativas de concentraciones). En la tabla siguiente (figura 7) se muestran los índices calculados y el elemento de la carretera potencialmente afectado. Procede poner de manifiesto que no solo se analiza el elemento de la infraestructura, sino también las condiciones de vialidad, que pueden verse afectadas por el evento climático.

Variable climática	Elemento de la carretera
Temperaturas máximas (Percentil 95 y 99 $T_{máx}$)	Formación de roderas
Temperaturas mínimas (Percentil 5 y 1 $T_{mín}$)	Fisuración del firme
Número de días $T < 0^{\circ}\text{C}$	Vialidad invernal
Precipitaciones (P_m , P_{24})	Drenaje
Índice de incendios	Mantenimiento y explotación

Figura 7. Índices climáticos calculados.

El segundo paso consiste en el análisis de la **exposición**. Esta etapa consiste en identificar los elementos potencialmente vulnerables, situarlos sobre el mapa y analizar sus características, ya que son los aspectos que determinan la exposición y, por tanto, van a influir en su vulnerabilidad.

La **vulnerabilidad** (paso 3) se calcula –para cada elemento– teniendo en cuenta cómo de severo se espera que sea el impacto (desde inexistente a importante) y cómo de probable es que el impacto afecte al elemento (desde poco probable a muy probable), a la vista de las proyecciones climáticas calculadas (para distintos horizontes temporales y diferentes RCP). Para calcular la vulnerabilidad hay, de manera general, dos enfoques; el primero de ellos (implementado en el CSIS urbano) pasa por emplear funciones

de vulnerabilidad y el segundo (el propuesto en el CSIS de transportes) consiste en recurrir al juicio experto. La opción de usar funciones de vulnerabilidad en carreteras queda, en este momento, descartada por su complejidad, ya que habría que tener información sobre el nivel de daño que han sufrido los distintos elementos potencialmente vulnerables (desmontes, terraplenes, pavimentos, obras de drenaje, estribos, cimentaciones de pilas, etc.) para distintos umbrales de eventos climáticos. Haría falta, por tanto, una base de datos detallada de daños (valorados quizás en euros, horas de retraso del tiempo de viaje e incluso índices de mortalidad) para las distintas tipologías de cada uno de los elementos vulnerables anteriormente enumerados (puesto que no se comporta igual un pavimento de mezcla bituminosa que uno de hormigón ni una obra de paso prefabricada que una estructura singular, por poner ejemplos significativos). Y todo ello, en un número de años suficientemente representativo para poder obtener, con cierta fiabilidad, esas funciones de vulnerabilidad. Se recurre, por tanto, al juicio experto del proyectista, del gestor de la carretera y/o de los responsables de conservación de los tramos analizados.

Una vez efectuado este análisis, se lleva a cabo la evaluación del **riesgo** (paso 4). Este proceso, una vez definidas las matrices que relacionan el nivel de riesgo con la severidad y la probabilidad (figura 8), resulta semiautomático.

Como resultado de esta etapa, se obtiene el nivel de riesgo de los elementos estudiados, que puede ir de despreciable a muy alto. Conocidos los riesgos, se ha de valorar cuáles se pueden asumir y cuáles no. Este proceso ha de depender del nivel de criticidad de la infraestructura. Ello implica que para aquellas infraestructuras de la red principal y, en general, para todas aquellas que tengan un IMD relevante –y aun no teniéndola den acceso a servicios esenciales (aeropuertos, puertos, hospitales, etc.)– no se deberían asumir riesgos medio-altos, por la importancia de mantener esa red operativa en todo momento.

Como siguientes etapas (pasos 5 a 8), para todos aquellos elementos en los que se haya identificado un riesgo que no se debería asumir, se han de proponer medidas de

		Probabilidad afectación				
		Muy improbable	Improbable	Posible	Probable	Muy probable
Severidad afectación	Inexistente	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable
	Reducida	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable	Riesgo bajo
	Moderada baja	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable	Riesgo bajo	Riesgo medio
	Moderada alta	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
	Notable	Riesgo despreciable	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto
	Importante	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto	Riesgo muy alto
Escala del nivel de riesgo		Riesgo despreciable	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto

Figura 8. Matriz de riesgo.

adaptación y re-evaluar las ventajas (análisis coste beneficio) de su implementación, frente a la opción de no hacer nada. Este análisis debe realizarse de forma rigurosa.

Toda esta información, en definitiva, ha de servir para analizar los riesgos existentes, las alternativas de diseño o de gestión que están a disposición para adaptar la carretera y sus ventajas e inconvenientes, a efectos de ayudar a la implementación de las soluciones de proyecto, conservación o explotación más adecuadas.

3. CÁLCULO DE LAS PROYECCIONES CLIMÁTICAS

La conversión de la información climática en índices de aplicación directa a las actividades de conservación y explotación de carreteras ha sido efectuada, en el ámbito del proyecto CLARITY, por AEMET.

El estudio de la evolución del clima se hace estudiando modelos de comportamiento terrestre. Estos modelos

climáticos se basan en procesos físicos perfectamente conocidos que simulan la transferencia de energía y material a través del sistema. Utilizan ecuaciones matemáticas para representar los procesos físicos que caracterizan cómo interactúa la energía y la materia en distintas partes de la tierra, del océano y de la atmósfera.

Debido a la naturaleza caótica del sistema climático, las **incertidumbres** son debidas a varias causas; escenarios de emisiones, modelos climáticos, algoritmos de regionalización, variabilidad interna, etc.

Las incertidumbres debidas al escenario de emisiones se deben a que el clima futuro depende de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) ha planteado cuatro escenarios diferentes asumiendo diferentes niveles de esfuerzo de reducción de emisiones de GEI a nivel global. Estos escenarios se conocen como *Representative Concentration Pathways* (RCPs) y se asocian a situaciones en

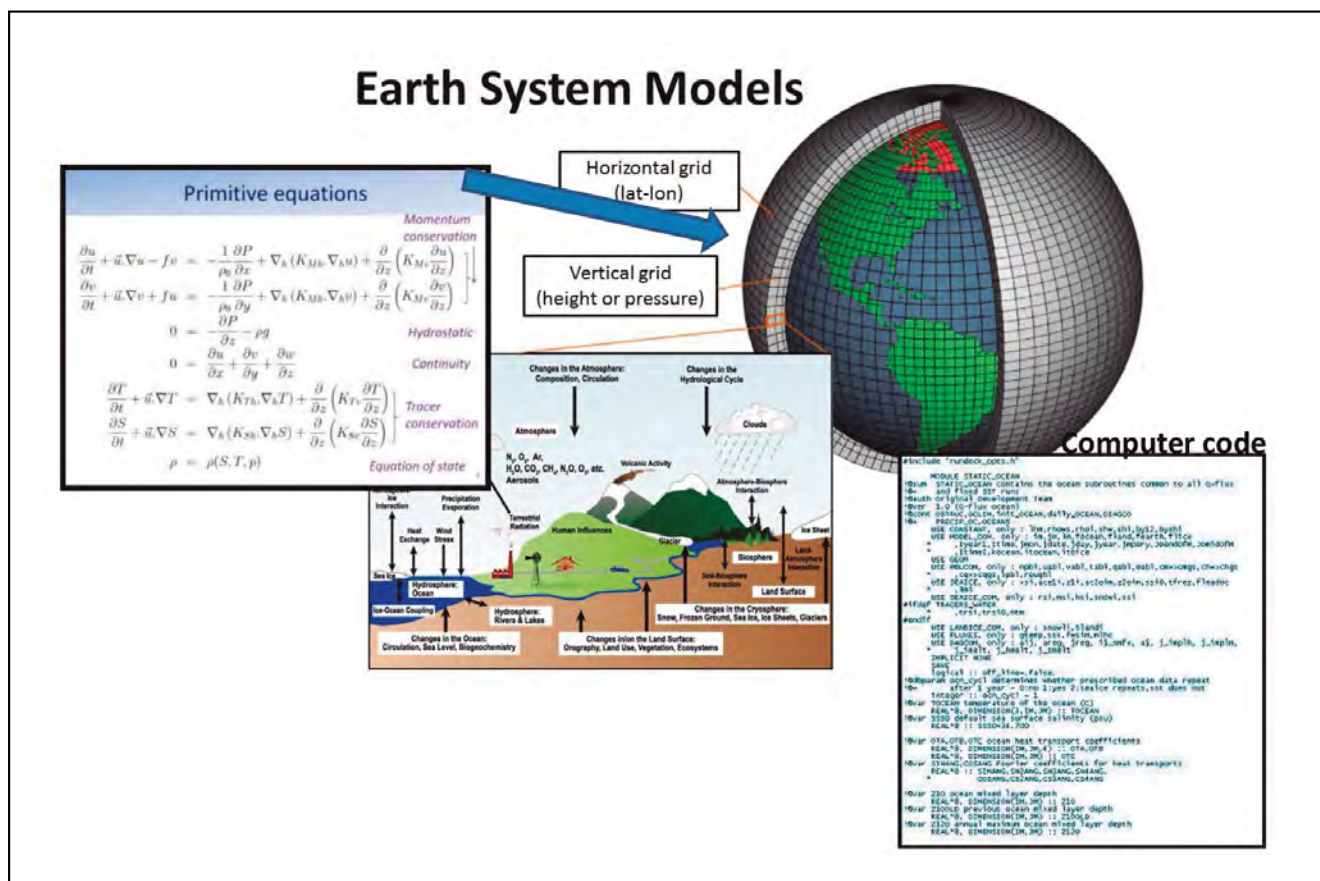


Figura 9. Modelos de comportamiento terrestre para el estudio del clima.

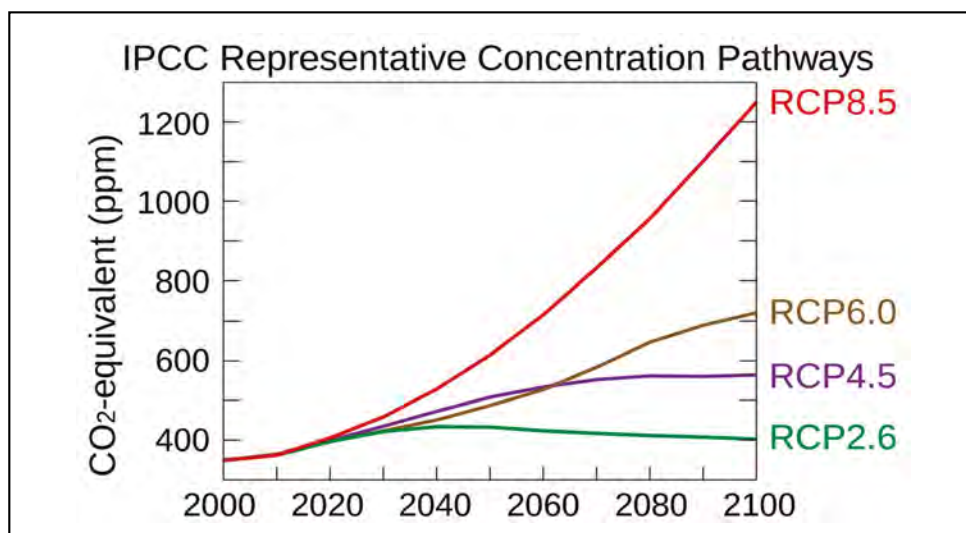


Figura 10. IPCC RCPs.

las que: a) no se cambia nada en el modelo productivo e incluso se produce un incremento de las emisiones de GEI a lo largo del tiempo, con lo que se estima que la temperatura no aumentaría de 4 °C (RCP 8.5); b) el forzamiento radiativo se estabiliza un poco luego del 2100, de manera que la temperatura probablemente excede los 2 °C (RCP 6.0); c) se estabiliza el forzamiento radiativo en 2100 (RCP 4.5); y d) se asume una reducción sustancial de las emisiones de GEI a lo largo del tiempo para lograr que su forzamiento radiativo llegue primero a 3.1 W/m² en 2050 y a 2.6 para 2100. La temperatura probablemente no excede los 2 °C. (RCP 2.6). Cada RCP indica el forzamiento expresado en Watts/m², que resultaría de los diferentes escenarios de GEI en la atmósfera (figura 10).

Por otra parte, también ha de tenerse en cuenta que cada modelo suministra resultados distintos, siendo los valores finales que se proporcionan, la media de los obtenidos en los modelos. Ello implica incorporar otra no despreciable incertidumbre, que es mayor en las variables relacionadas con la precipitación que en las vinculadas a temperaturas, por ser más difícil de modelizar los fenómenos relacionados con las primeras.

Por todo ello es necesario realizar conjuntos de simulaciones, para tratar de disminuir, en lo posible, las incertidumbres inherentes al proceso de proyección del clima.

El objetivo es plasmar la evolución del clima en una serie de índices climáticos que son, en definitiva, magnitudes relativamente sencillas que se emplean para evaluar ciertas características del clima. Los índices se calculan a partir de los modelos de EURO-CORDEX.

EURO-CORDEX es la rama europea dentro de CORDEX, del *World Climate Research Program* (WRCP). Para cada país se realiza una regionalización dinámica de los datos contenidos en EURO-CORDEX, obtenida de los modelos globales de clima. Los datos proporcionados se dan en rejilla de unos 10 km de resolución.

En CLARITY las simulaciones se han efectuado para los escenarios, RCP 4.5 y 8.5 y en tres horizontes temporales, actual (2011-2040), medio plazo (2041-2070) y largo plazo (2071-2100). Cada horizonte temporal se calcula como la media de 30 años, que es el intervalo de tiempo acordado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para definir el clima.

Algunos de los principales índices climáticos obtenidos a partir de las variables temperatura y precipitación para el módulo de transportes de CLARITY han sido los siguientes: Tx99 (días donde la temperatura diaria máxima es mayor o igual que el percentil 99), Tn95 (días donde la temperatura mínima diaria es mayor que el percentil 95), percentil 99 de la oscilación térmica diaria, la precipitación media anual y la precipitación total en día húmedos.

4. RESULTADOS AUTOVÍA A-2

El piloto español (Demo Case 4, DC4) se ha referido a la caracterización de las amenazas y evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo en un tramo de la autovía A-2.

La sección estudiada está ubicada entre el P.K. 62+000 y el P.K. 139+500, provincia de Guadalajara. El tramo consta de dos calzadas con dos carriles por sentido. Desde el enlace con la autopista R-2 atraviesa los siguientes municipios: Torija, Trijueque, Muduex, Gajanejos, Ledanca, Almadrones, Mandayona, Mirabueno, Algora, Torremocha del Campo, Saúca y Alcolea del Pinar. Este tramo de autovía, en estos momentos, está operado por la empresa ACCIONA Construcción, bajo un contrato de concesión que tiene una duración de 19 años, en la modalidad de peaje en sombra.

De acuerdo con la metodología adoptada, se identificaron en el tramo de estudio los emplazamientos o secciones de la carretera que previsiblemente podían verse más comprometidos por razón de las amenazas climáticas. Se trataba, en todos los casos, de emplazamientos o secciones que ya se ven comprometidos hoy en día, en mayor o menor medida, por las condiciones climáticas actuales.

Para valorar la severidad de la afectación en 2048 y 2098 se supuso que no se acometen actuaciones de mejora o reposición en todo el periodo cubierto por la evaluación, salvo en el caso de los firmes, en los que se ha de suponer que se actúa al término de su vida útil esperada. Se asumió, asimismo, que los estándares de mantenimiento ordinario del tramo se mantienen a lo largo del tiempo en un nivel similar al actual.

De la evaluación realizada se concluyó que:

- No se prevé que el nivel de riesgo en los **desmontes** varíe a lo largo del horizonte temporal cubierto por



Fotografía 1. Autovía A-2.

la evaluación (80 años). Dicho nivel de riesgo viene fundamentalmente determinado por el nivel que ya presenta en la actualidad cada desmonte.

- Se prevé que el nivel de riesgo por efecto del agua asociado a un **pontón** existente aumente en el futuro, pero no tanto como consecuencia del cambio climático sino por efecto del paso del tiempo.
- Por lo que se refiere a las **obras de drenaje transversal** que se consideran en riesgo, se estima que la severidad de la afectación a las obras pueda incrementarse ligeramente como consecuencia del

aumento de las precipitaciones máximas diarias, aunque ello no llegará a traducirse previsiblemente en un aumento del nivel de riesgo, que se mantendrá bajo.

- En lo que concierne al **encauzamiento** del arroyo del Valle de Torija, se presume que puede producirse un aumento en la frecuencia de las precipitaciones intensas que se traducirá en un posible aumento del nivel de riesgo, que pasaría de bajo a medio por lo que se refiere a la integridad del mismo, aunque sin que ello se traslade en un aumento del nivel del riesgo para las condicio-

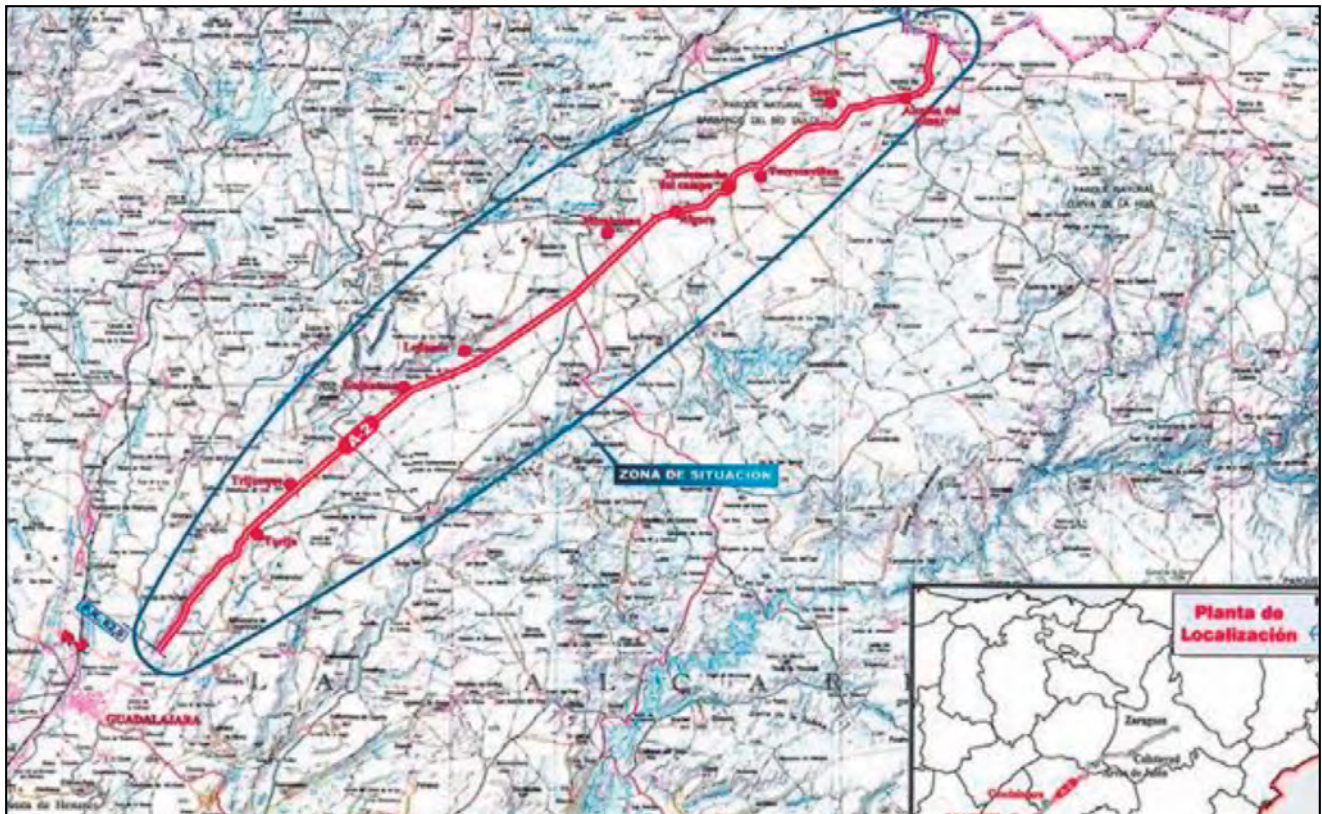


Figura 11. Mapa de situación del tramo objeto de estudio.



Pk.112



Pk.70



Pk.64

Figura 12. Vista de la autovía A-2.

- nes de circulación en la autovía, dada la ubicación del tramo de arroyo encauzado respecto de las calzadas.
- Por último, se apreció un cierto nivel de riesgo en algunas secciones de **firme** que en la actualidad presentan problemas por falta de capacidad portante debido a la presencia de agua, pero no se prevé que varíe a lo largo del tiempo. Tampoco se prevé que varíe el nivel del riesgo de aparición de roderas en el firme a lo largo del tiempo conforme aumenten las temperaturas máximas, dando por supuesto que –en el caso de que dicho aumento de temperatura pudiera suponer un riesgo para el pavimento– la normativa para el diseño y rehabilitación de los firmes a aplicar en su momento ya recogería esta eventualidad.
 - Por lo que se refiere a la **vialidad**, se prevé que el cambio climático suponga cierta relajación en cuanto a las altas exigencias actuales que presenta el mantenimiento invernal del tramo.
 - Por el contrario, es previsible que - como consecuencia del incremento de las temperaturas máximas y de la duración de las olas de calor - aumente el nivel de riesgo en los 8 kilómetros del tramo donde existe mayor riesgo de **incendio**. En todo caso, se estima que el nivel de riesgo para la vialidad se mantendrá bajo, al presuponer que el aumento de los esfuerzos que realicen las administraciones (en términos de prevención y de dotación de medios para la extinción) será acorde con el posible aumento que pueda irse produciendo con el paso del tiempo en el riesgo de incendio.
 - Por lo que se refiere a la **niebla**, a falta de proyecciones se presupone que el nivel de riesgo para la circu-

lación de los vehículos no variará en el tiempo y se mantendrá como en la actualidad, con riesgo bajo.

Esta evaluación es el fruto de sesiones de trabajo conjuntas entre los responsables del DC4 y los técnicos COEX (conservación y explotación) de la concesión. El ejercicio efectuado ha sido validado por medio de sesiones posteriores en las cuales se han dado de alta los distintos elementos analizados en la herramienta. La información de los elementos en riesgo se superpone con la información climática en las distintas capas de la herramienta. Todo ello facilita la estimación de la severidad y probabilidad de las potenciales afectaciones y la posterior evaluación del riesgo, dando resultados como los que se muestran a continuación.

En concreto, se analizaron con la herramienta desarrollada en el proyecto CLARITY los índices climáticos de precipitación máxima en 24h y T^a máxima diaria (percentil 95) para el escenario más severo RCP 8.5, a lo largo del tramo de la A-2 entre el pk. 43 y el pk. 103, comparando para diferentes horizontes temporales, 1970 hasta 2014. La herramienta diseñada, permitió la visualización de la posible afección futura de dichos índices climáticos, a lo largo de la infraestructura de transporte.

Se observa que, para el índice climático de precipitación máxima en 24h, se incrementa la altura en mm de dicha precipitación, para el escenario 2010 y 2040, frente a los datos de 1970, según se muestra en la figura 13.

Del mismo modo, para el índice climático analizado de T^a máxima diaria (percentil 95), se observa un incremento en de la temperatura, que afectará a lo largo de todo el tramo de la infraestructura (figura 14).

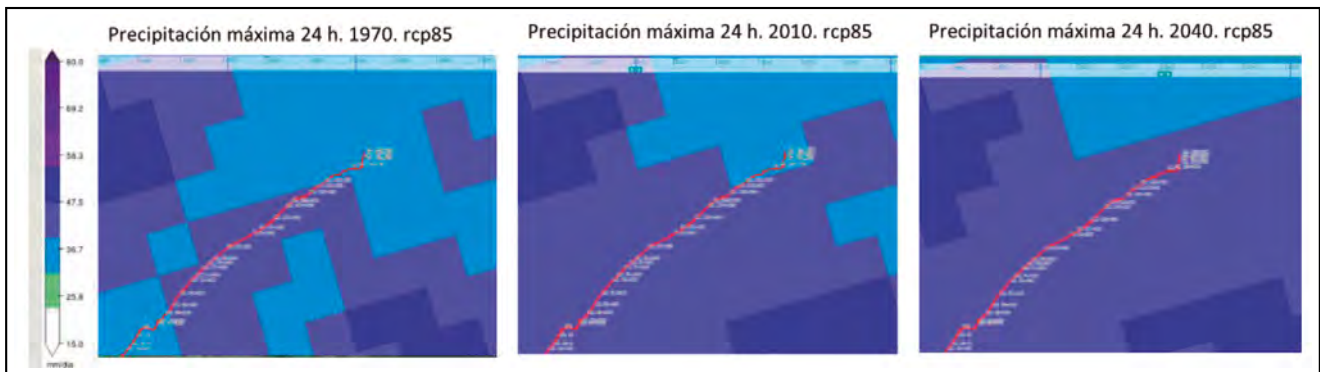


Figura 13. Precipitación máxima 24h rcp85 (1970-2040).

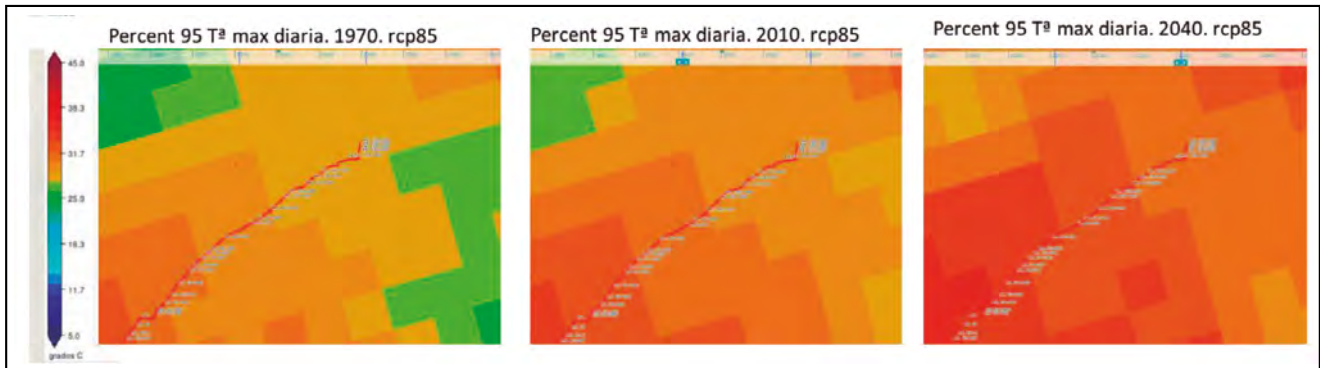


Figura 14. Tª máxima diaria (percentil 95) (1970-2040).

5. CONCLUSIONES

CLARITY permite evaluar los riesgos a los que está expuesta una infraestructura lineal en función del clima actual y de su variabilidad futura. Para ello, se ha sistematizado la metodología para evaluar los impactos por riesgo climático y se ha desarrollado una herramienta informática, que se espera que esté disponible en línea de manera gratuita a corto plazo.

Esta aplicación permitirá que el gestor de la carretera sea más sensible a la información climática, a la que podrá acceder de una manera sencilla. Todo ello, con el foco puesto en mejorar los procesos de planificación y proyecto de las infraestructuras –incorporando proyecciones climáticas en el diseño en aquellos elementos en los que se considere relevante- y también en conseguir una gestión más eficiente de la red –identificando y adaptando convenientemente los elementos más vulnerables-. Esta adaptación se puede llevar a cabo de distintas maneras, no solo con actuaciones de mejora de los estándares de diseño sino también por medio de sistemas de alerta temprana, con actuaciones de mantenimiento de limpiezas de cuentas y drenajes eficaces, con revegetaciones de taludes, sistemas de vigilancia de estructuras, etc.

CLARITY ha demostrado ser una herramienta útil para ello. No obstante, es preciso seguir trabajando para mejorar la aplicación –todavía en fase de prueba- y dar apoyo a los procesos de adaptación y mitigación que, previsiblemente, se irán implementando en la RCE.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todas las personas, tanto del proyecto CLARITY como ajenas a él, que han colaborado en la realización del ejercicio de la A-2.

7. REFERENCIAS

- [1] Non-paper Guidelines for Project Managers: Making vulnerable investments climate resilient (<http://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/guidances/non-paper-guidelines-for-project-managers-making-vulnerable-inve>).
- [2] Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos (https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/accit_informe_final_cedex.pdf).