

Cambio climático e infraestructuras de transporte por carretera

Climate Change and Road Transport Infrastructure

Laura Parra Ruiz^{1*} y Antonio Sánchez Trujillano²

Resumen

Las infraestructuras de transporte por carretera son elementos imprescindibles en las redes de transporte de un país, tanto a nivel económico como social, en tanto que permiten el flujo de mercancías y personas por todo el territorio. Ha de tenerse en cuenta, además, los elevados costes de construcción y mantenimiento que suponen, así como su extensa vida útil. Por otro lado, los impactos generados por la carretera son innegables: aproximadamente el 50% de las materias primas extraídas y consumidas en el mundo se destinan al sector de la construcción (BMZ, 2014); en España, en 2014, el 25% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero correspondieron al sector del transporte, de las que el 95% son atribuibles a la carretera (según datos del Ministerio para la Transición Ecológica). Así mismo, se estima que los impactos asociados a eventos climáticos en el transporte por carretera representan entre el 30 y el 50% de los costes de mantenimiento en Europa (CE, 2013). Ante esta situación, el presente artículo pretende enunciar algunas acciones que están en manos de los gestores de las infraestructuras de carreteras para contribuir a la mitigación del cambio climático, así como posibles medidas de adaptación ante los efectos previsibles de dicho cambio. Para ello, se indican algunos de los proyectos en los que el CEDEX está participando, con el objetivo de contribuir a entender y reducir las consecuencias negativas del cambio climático. Aunque, sin duda, hace falta un claro y decidido esfuerzo colectivo para atajar el calentamiento global y limitar sus efectos.

Palabras clave: cambio climático, infraestructura de transporte, carretera.

Abstract

Road transport infrastructures are essential elements to the transport network of a country, both economically and socially, as they allow the flow of freight and people throughout the territory. In addition, the high construction and maintenance costs involved, as well as its long design life, must be taken into account. On the other hand, the impacts generated by roads are undeniable. Construction sector consumes approximately 50% of the raw materials extracted in the world (BMZ, 2014). Furthermore, in Spain in 2014, 25% of the greenhouse gas emissions corresponded to the transport sector, 95% of which stems from road transport. Likewise, for road transport infrastructure, weather stresses represent from 30% to 50% of current road maintenance costs in Europe (EC, 2013). Given this situation, this paper aims to set forth both some actions that road infrastructure managers can implement in order to contribute to the mitigation of climate change, and possible adaptation measures to the foreseeable effects of such a change. Thus, some of the projects in which CEDEX is participating are presented with the aim to contribute to understanding and reducing the negative consequences of climate change. In any case, a clear and straightforward effort is needed to tackle global warming and limit its effects.

Keywords: climate change, transport infrastructure, road.

1. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE POR CARRETERA

Sin entrar en muchos detalles (ya conocidos e incluso expuestos a lo largo del presente número monográfico), las principales proyecciones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) son las siguientes:

- La tierra se calentará;
- el régimen de precipitaciones se verá modificado, de forma que si bien algunas zonas se pueden volver más húmedas, otras zonas se volverán más secas;

- los niveles del mar se elevarán y la altura de marea de tormenta aumentará;
- el manto de nieve y la extensión de hielo marino se reducirá;
- y la frecuencia y severidad de los fenómenos meteorológicos extremos (tales como tormentas, olas de calor, etc.) aumentarán.

Evidentemente, estos cambios van a tener un impacto significativo en la planificación, diseño, construcción y operación de las carreteras (Toplis, 2015).

En cuanto al origen del cambio climático, se puede decir que existe un amplio consenso en que la principal causa de este calentamiento global es el incremento de las emisiones de CO₂ debido a factores antropogénicos. Por otro lado, hay que tener en cuenta que, aunque las emisiones de CO₂ se redujeran a cero de forma inmediata, los efectos de calentamiento se seguirían sufriendo durante varias décadas, debido a que estos gases (llamados de efecto invernadero, GEI) persisten en la atmósfera.

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

¹Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios del Transporte (CET), del CEDEX.

²Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios del Transporte (CET), del CEDEX.

Ante esta situación, desde el punto de vista de la carretera (figura 1), es preciso actuar en dos frentes:

- El primero de ellos, se refiere a plantear medidas enfocadas a reducir la emisión de GEI vinculados al sector de las infraestructuras de transporte por carretera (mitigación);
- el segundo frente, se refiere a la necesidad de adecuar la infraestructura a esos posibles efectos del cambio climático (adaptación).



Figura 1. Vista de un tramo de autovía en la RCE.

2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN VINCULADAS A LAS INFRAESTRUCTURAS DE CARRETERA

Se puede decir que la mitigación del cambio climático se refiere a aquellas acciones que tienen como objetivo reducir los efectos potenciales del calentamiento global. Las medidas que se van a enunciar a continuación plantean alternativas encaminadas a disminuir la emisión de GEI en las distintas fases del ciclo de vida de una infraestructura de carreteras y a exponer los instrumentos para evaluar su efectividad.

2.1. Planificación y diseño de la infraestructura

Una adecuada **planificación** es fundamental para conseguir los objetivos propuestos. Tales objetivos deben responder a las necesidades sociales y económicas propias de un país o de contextos geográficos aún más amplios – Unión Europea, por ejemplo. Además, un buen plan debe estar dotado económicamente, debe contar con unos plazos, etc. Es decir, no se deberían llevar a cabo actuaciones (en este caso, construcción de carreteras) si no son fruto de una reflexión profunda y adecuadamente estructurada. Se hace por ello fundamental contar con una planificación adecuada que, además de los requisitos y atributos “tradicionales” propios de un plan, tenga en cuenta, además, los retos de cambio climático y de escasez de materias primas a los que el planeta se enfrenta.

Por su parte, el **diseño** de la infraestructura es un aspecto clave, ya que un mayor o menor impacto posterior dependerá, en gran medida, de las decisiones que se tomen en la fase de diseño, como pueden ser su trazado, la geometría de la vía, la estructura del firme (pavimentos de larga vida, desarrollo de mezclas ultradelgadas), los materiales

empleados (materiales reciclados, materiales locales, sistemas modulares), las características superficiales (regularidad, ruido, albedo, etc.) u otras.

2.2. Fase de producción de materiales, construcción y mantenimiento

La **fase de producción de materiales y construcción** se puede considerar como la generadora de mayores impactos en carreteras con baja intensidad de tráfico (Harvey, 2015; EU, 2016). Destacan, en estas fases, los procesos de producción del cemento y del betún, así como los transportes de materias primas y de los productos acabados –siendo éste un factor muy variable que depende directamente de las distancias entre los centros de producción y la obra. La administración de carreteras estadounidense propone como acciones específicas en este ámbito, las siguientes: aumentar el uso de materiales locales (incentivando el uso de materiales reciclados), consecución de firmes más duraderos, procesos de fabricación que impliquen menores consumos energéticos (mezclas en frío, templadas y semi-calientes), todo ello, a través de especificaciones y sistemas de organización y gestión adecuados (FHWA, 2015).

Es decir, es preciso exigir al sector el desarrollo de técnicas y materiales que reduzcan los consumos energéticos asociados a su fabricación y puesta en obra. No obstante, se debe garantizar que tales técnicas y materiales no comprometen la integridad ni la durabilidad de la infraestructura de carretera, ya que de otra forma, estaríamos no sólo mejorando su comportamiento ambiental sino empeorándolo, pues obligaría a adelantar las actuaciones de mantenimiento, con los consiguientes impactos asociados.

De manera específica, el CEDEX está participando en proyectos de investigación que tienen como objetivo la experimentación de tecnologías medioambientalmente sostenibles, acometiendo precisamente el rol de comprobar que los nuevos productos satisfacen las especificaciones técnicas vigentes y que efectivamente tienen efectos positivos en la reducción de determinados impactos. Así por ejemplo, cabe citar el proyecto europeo LIFESURE¹, en el que participan SACYR, CEDEX y el Ayuntamiento de Madrid. En el marco del proyecto, actualmente en marcha, se han puesto en obra mezclas bituminosas templadas recicladas a tasas del 70 y el 100%, en capas de base, intermedia y rodadura, en vías urbanas. El CEDEX ha evaluado el comportamiento de las distintas mezclas ensayadas a largo plazo (figura 2) y está en proceso de determinar la variación de los impactos ambientales derivados del empleo de mezclas templadas recicladas. Otros proyectos internos en los que el CEDEX está trabajando serían los vinculados al empleo de áridos reciclados (residuos de construcción y demolición, escorias de acería, neumáticos fuera de uso, etc.), tanto desde el punto de vista del cumplimiento de las especificaciones técnicas como del análisis de su comportamiento ambiental.

El empleo en la obra pública de estos materiales no convencionales comporta, además de la comprobación de sus características físicas, de resistencia y de cumplimiento de la normativa que rige el empleo de sus homólogos

¹ www.lifesure.es (Proyecto financiado por la UE LIFE12 ENV/ES/00072)



Figura 2. Proyecto LIFESURE. Ensayos en la pista de ensayos acelerados del CEDEX.

convencionales, la de garantizar que su utilización no es causa de contaminación ambiental ni de efectos perjudiciales para el suelo, las aguas, la atmósfera, la flora y la fauna, ni para el ser humano, tanto en su manipulación en las etapas de construcción como, posteriormente, para los usuarios de la carretera. Acerca de este tipo de ensayos de caracterización ambiental cabe expresar que el CEDEX viene participando tanto en su definición y en su normalización como en la realización en sus laboratorios de ensayos con materiales concretos, empleados o susceptibles de serlo, en firmes de carreteras.

En cuanto a la **fase de mantenimiento**, destacar en este artículo la importancia que tiene una adecuada conservación del pavimento, especialmente en carreteras con tráfico elevado, ya que la regularidad superficial y la resistencia a la rodadura de los firmes son dos de los elementos de la carretera que más influyen en el consumo de los vehículos y, en su caso, en sus costes de mantenimiento y reparación (Proyectos ROSANNE y MIRIAM; EU, 2016; EAPA, EUPAVE, FEHRL, 2016).

2.3. Fase de explotación

La Red de Carreteras en España (RCE) tiene, a 31 de diciembre de 2016, una longitud de 165.483 kilómetros, de los cuales 26.395 kilómetros conforman la Red de Carreteras del Estado. Según datos provisionales del Ministerio de Fomento², los vehículos por kilómetros totales recorridos en la RCE ascienden a 123.822 millones, de los cuales, en valores medios, el 86,7% corresponde a vehículos ligeros y el 13,3% a vehículos pesados.

Según datos del Observatorio del Transporte y la Logística en España (OTLE), las emisiones asociadas al transporte en 2015 fueron de 83.316 kt de CO₂ equivalente, de las cuales 79.166 kt corresponden a la carretera. Es decir, la carretera genera un 95% del total de las emisiones vinculadas al transporte que, a su vez, representan el 25% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en España y casi el 40% de las emisiones de los sectores difusos³.

² https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/5_historico-resumen_2017.pdf

³ <https://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.aspx>

Ello implica que una reducción de las emisiones está claramente asociada a la disminución de los vehículos kilómetros (por ejemplo, por medio de planes de transporte de movilidad sostenible) y al empleo de vehículos menos contaminantes (por ejemplo, el vehículo eléctrico). Para implementar soluciones de este tipo, es preciso que la carretera conozca y haga uso de las técnicas más modernas: aprovechamiento de los datos de los sistemas de información (técnicas de *big data*), desarrollos de plataformas de movilidad compartida (*car sharing*), implantación de puntos de recarga para vehículos eléctricos, técnicas de comunicación vehículo-infraestructura, etc. Es decir, la carretera debe hacer una reflexión sobre qué es lo que se espera de ella y de qué manera puede contribuir a una movilidad sostenible. En este proceso de reflexión es fundamental contar con el resto de administraciones (a nivel autonómico y local) y con el resto de agentes implicados (industria, tráfico, etc.).

Ahora mismo, son muy pocas las administraciones que incluyen parámetros de consumo de energía en sus sistemas de gestión, por lo que queda mucho por hacer en este ámbito.

Otros aspectos vinculados a la fase de explotación y que no deben omitirse son los relacionados con la iluminación y la señalización de las carreteras.

2.4. Sumideros de contaminantes

Sin duda, se han de plantear nuevas medidas de mitigación que contribuyan a reducir los efectos negativos generados por el transporte por carretera.

Como idea, recoger por ejemplo la relativa a la inclusión de sistemas naturales que funcionen como sumideros de CO₂. Se trataría de tomar en consideración, por un lado, las emisiones relacionadas con la afección a los sistemas naturales (suelos y vegetación) en las infraestructuras de carreteras y, por otro lado, las captaciones de los “nuevos” ecosistemas establecidos, que funcionarían a modo de sumideros (Berzosa, 2013).

Otra alternativa pasa por emplear materiales que contribuyan a fijar ciertos contaminantes. En esta línea se están desarrollando productos llamados fotocatalíticos, en tanto que son capaces de fijar óxidos de nitrógeno (NO_x) y azufre (SO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) por medio de reacciones químicas de fotocatalisis. Si bien estos contaminantes no están directamente relacionados con el cambio climático, son productos consustanciales al

transporte por carretera, por lo que se ha de tratar también de minimizar los riesgos que de ellos se pueden derivar. El CEDEX, junto con INECO, CIEMAT y el Ayuntamiento de Alcobendas, ha estado trabajando en el marco del proyecto LIFE MINO_x-STREET⁴, en el cual se estudiaron una serie de productos que incorporan dióxido de titanio (TiO₂) como fotocatalizador y se evaluó su efectividad en la reducción de los óxidos de nitrógeno. Como resultado del proyecto se ha elaborado una “Guía para el uso en exteriores de materiales fotocatalíticos con objeto de reducir la contaminación por NO_x en entornos urbanos” (2018). En ella se pone de manifiesto que se encontró una enorme variabilidad entre las eficiencias de descontaminación de NO_x en aire de los diferentes productos fotocatalíticos comerciales estudiados. Así mismo, durante los ensayos urbanos se reportaron bajas tasas de eliminación de NO_x ambiental. Teniendo en cuenta la alta relación entre el volumen de aire y la superficie fotoactiva, se tiene que el efecto macroscópico fotocatalítico inducido sea muy débil en ambiente real, produciéndose reducciones de NO_x solamente muy cerca de las superficies fotoactivas y siendo el efecto limitado a la altura del peatón. Por tanto, los resultados del proyecto son indicativos de que actualmente no compensa (en un análisis coste-beneficio) la implementación de estos materiales en escenarios urbanos. Se recomienda, por ello, seguir investigando en la mejora de las propiedades de estos materiales (tanto en lo relativo a su rendimiento fotocatalítico como en cuanto a su durabilidad y posible regeneración) con el fin de aprovechar sus capacidades descontaminantes.

2.5. Herramientas de evaluación

Una vez expuestos distintos aspectos relacionados con la generación de los GEI y posibles medidas para su reducción, procede enunciar la importancia de contar con las **herramientas** adecuadas para evaluar los impactos (medidos en forma de CO₂eq o por medio de otros indicadores) asociados a una determinada actividad a lo largo de su ciclo de vida. Los análisis de ciclo de vida (ACV), por ejemplo, permiten comparar varias alternativas de un bien (producto, tecnología, obra, servicio, suministro, etc.) para seleccionar la más conveniente desde el punto de vista medioambiental (Perelli, 2017). Sin embargo, su aplicación al caso concreto de las carreteras no es sencilla, por tratarse de un producto singular (puede decirse que no hay dos carreteras iguales) y complejo (abarca una gran cantidad de operaciones y sus impactos afectan a amplias zonas del territorio). Dicho esto, tales dificultades no deben ser óbice para el desarrollo de metodologías y aplicaciones específicas aplicables al caso español que permitan la valoración de distintas soluciones desde un punto de vista ambiental. Tal valoración podrá referirse sólo a los GEI (Huella de carbono) o abarcar otros impactos (consumo de materias primas, eutrofización, etc.); podrá referirse solo a la etapa de fabricación de materiales y construcción o tener un alcance mucho mayor; pero en todo caso, es preciso comenzar a recorrer el camino.



Figura 3. Importancia de disponer de herramientas para evaluar los impactos y costes ambientales en el ciclo de vida de firmes y pavimentos.

En el ámbito de los estudios de ACV, el CEDEX está coordinando el grupo de trabajo sobre esta materia aplicado a los firmes de carretera en el seno de la Asociación Técnica de Carreteras, en el que se está trabajando de manera intensa para contribuir a difundir estas metodologías, de enorme utilidad si el objetivo es avanzar en la sostenibilidad de las carreteras, y para llegar a disponer de una herramienta única para su aplicación a las carreteras españolas, de general aceptación por los diversos agentes afectados del sector de la carretera. Entre otras actividades en marcha, está prevista la realización de una jornada sobre “Análisis ambiental y de costes en el ciclo de vida de firmes y pavimentos” así como la publicación de una monografía sobre esta materia (figura 3).

Cabe esperar, en un futuro no lejano, que se comiencen a sentar las bases para el desarrollo de las herramientas de evaluación anteriormente mencionadas, tarea en la cual el CEDEX puede ser un actor clave. No obstante, hasta que tales herramientas estén disponibles, es posible ya trabajar con modelos sencillos con los que disponer de información ambiental. Esta información ambiental permitirá la selección e implementación de soluciones compatibles con los requisitos técnicos y comprometidas con la sostenibilidad del medio ambiente.

3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN EL ÁMBITO DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE CARRETERA

La adaptación se distingue de la mitigación, en tanto que implica actuar para minimizar los efectos del calentamiento global. Para una adaptación eficiente sería necesario, en primer lugar, conocer las previsiones de cambio climático e identificar la vulnerabilidad y la exposición de los elementos analizados para después proponer las medidas más adecuadas.

3.1. Desarrollo de servicios climáticos

Para una adecuada toma en consideración del cambio climático es necesario disponer de información adaptada a las necesidades del gestor de la infraestructura. Para ello, se están poniendo en marcha los llamados servicios climáticos, que son herramientas IT (*information technologies*) que proporcionan información sobre las variables climáticas relevantes para el usuario y las analizan con objeto de estimar la exposición y vulnerabilidad de los elementos y, consecuentemente, el riesgo asociado, con el

⁴ www.lifeminoxstreet.com (Proyecto financiado por la UE LIFE12 ENV/ES/00280)

objetivo de contribuir a una toma de decisiones informada ante las previsiones de cambio climático.

El CEDEX, a través del proyecto CLARITY⁵ -financiado por la Unión Europea en el marco del programa de investigación y desarrollo Horizonte 2020, en el área de acción climática, medio ambiente, eficiencia de recursos y materias primas, programa de trabajo SC5- quiere contribuir al desarrollo de servicios de apoyo a la toma de decisiones (por medio de comparación de estrategias alternativas) que permitan evaluar los efectos de las medidas de adaptación, así como las opciones de reducción de riesgos en el contexto específico del proyecto. Para ello, el CEDEX está apoyando el desarrollo de un servicio web que será contrastado en un tramo de carretera de la Autovía A-2 y que permitirá identificar las variables climáticas que más pueden afectar al caso piloto analizado y proponer medidas de adaptación en base a estudios coste-beneficio.

3.2. Identificación de las secciones vulnerables en la red

En el ámbito de la adaptación, el otro aspecto clave pasa por identificar las secciones más vulnerables de la red. A nivel de las infraestructuras de transporte, se han de destacar los trabajos desarrollados por el CEDEX para el Ministerio de Fomento y el Ministerio para la Transición Ecológica sobre las necesidades de adaptación de la red troncal de infraestructuras en España (CEDEX, 2013) y sobre las secciones más vulnerables de la red (CEDEX, 2018). En el primero de los estudios se efectuaba una identificación, fundamentalmente cualitativa de los principales impactos asociados al cambio climático y su posible afección a la red troncal de transporte. Asimismo, se relacionaban una serie de medidas de adaptación propuestas por el Grupo de Trabajo⁶, destacando entre ellas, de forma general, la evaluación periódica de la idoneidad y efectividad de los planes de contingencias ante las emergencias climáticas actuales. De forma específica, en materia de carreteras, se recomendaba, a corto-medio plazo, la revisión de la normativa y recomendaciones de diseño –fundamentalmente en los aspectos relacionados con fenómenos de sequías y precipitaciones más intensas. Por otro lado, se pone también el foco en la importancia de cuidar las tareas de vigilancia y mantenimiento preventivo. En el segundo de los informes, se ha analizado la totalidad de la Red de Carreteras del Estado y de la Red Ferroviaria de Interés General, con el fin de hacer una evaluación cualitativa, de los elementos a los que prestar atención con prioridad por razón de su vulnerabilidad frente al cambio climático, tanto a nivel actual como en el futuro. Como conclusión del estudio llevado a cabo, merece la pena destacar que el porcentaje de la red que se podría catalogar como de atención preferente por su vulnerabilidad es escaso. Otro aspecto de gran interés se refiere a la identificación de los elementos de la carretera más vulnerables, que son, de manera general, los relacionados

con obras de tierra y obras de drenaje, aspectos ambos respecto de los que ya se recomendaba en 2013 la conveniencia de revisar las normativas/recomendaciones empleadas para su diseño. Por último, cabe destacar también la necesidad de mejorar la información disponible sobre determinadas variables climáticas, especialmente relevantes para el gestor de la infraestructura, como pueden ser las relacionadas con la precipitación máxima en 24 horas (y en periodos de menor duración), la precipitación en forma de nieve o el riesgo de incendios.

3.3. Sistemas de alerta temprana y mantenimiento predictivo: carreteras resilientes

Conocidos los riesgos a los que nos enfrentamos, se hace preciso disponer de herramientas que permitan hacer un seguimiento de la carretera y con ello ir adaptando las estrategias de mantenimiento y conservación de la carretera (mantenimiento predictivo), incrementando su resiliencia. Para ello, se deben poner al servicio de la carretera las llamadas herramientas inteligentes (*smart tools*): drones, sensores introducidos en el firme u otros elementos de la carretera (por ejemplo, estructuras), sistemas de detección de hielo o sistemas de visión artificial.

El mantenimiento predictivo permite conocer el comportamiento de los firmes en tiempo real –tensiones, deformaciones, cargas de tráfico, climatología- y, consecuentemente, establecer las medidas de mantenimiento más adecuadas para el tipo de deterioro. De esta manera, las actuaciones en las carreteras se realizarían cuando se prevea la posibilidad de aparición de deficiencias estructurales o funcionales y no con carácter sistemático. Ello implicaría que la carretera estaría siempre en un estado de conservación adecuado conforme a los objetivos establecidos, lo que traerá como resultado que su capacidad de respuesta sea la requerida. En la actualidad el CEDEX está desarrollando las capacidades tecnológicas encaminadas a la instalación de estaciones en la Red de Carreteras del Estado para el seguimiento en tiempo real del comportamiento de los firmes de carretera, por medio de sensores instalados en el propio pavimento, con objeto de desarrollar modelos y procedimientos para el mantenimiento predictivo de estos firmes (figura 4).

El CEDEX está también trabajando en la obtención de datos de tráfico y cargas por medio de la instalación de sistemas de pesaje de vehículos en movimiento, esto es, a su velocidad normal de circulación por la carretera y sin interferir en su circulación. Esta información, combinada con la obtenida con los sensores de deformación y tensión introducidos en el pavimento, puede generar unos datos de gran valor para el estudio a escala real de los mecanismos de deformación del firme, de sus características estructurales y de su evolución en el tiempo así como, en su caso, de la aparición y desarrollo de los fenómenos de fatiga causantes de su degradación. Actualmente, parte de este trabajo de investigación se desarrolla en el marco del proyecto REPARA 2.0⁷ en el que el CEDEX colabora analizando, entre otros aspectos, la precisión de los datos obtenidos.

5 <http://www.clarity-h2020.eu> (Proyecto financiado dentro del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención nº 730355).

6 El grupo de trabajo estuvo formado por los Ministerios de Fomento y de Agricultura, Alimentación Medio Ambiente, ADIF, RENFE, Puertos del Estado, Aena Aeropuertos, Ineco, CEDEX, Oficina Española de Cambio Climático y AEMET.

7 <http://www.proyectorrepara.com/> (Proyecto financiado por el CDTI, organismo adscrito al Ministerio de Economía y Competitividad, dentro de la convocatoria CIEN).

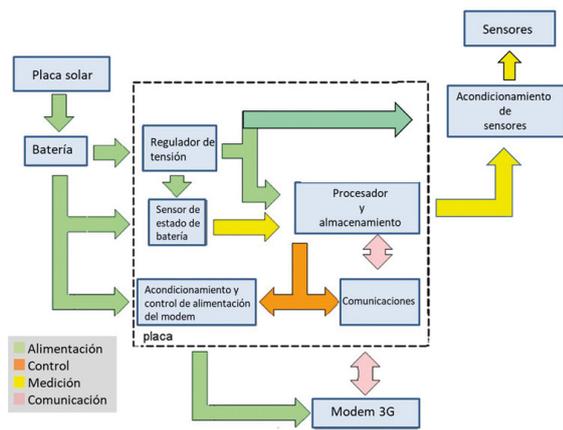


Figura 4. Estaciones de seguimiento en la RCE.



4. CONCLUSIONES Y RETOS

En última instancia, el desafío es desarrollar una visión de cómo se deben construir y mantener las carreteras del futuro. CEDEX, como miembro de FEHRL (Foro de Laboratorios Europeos de Investigación en Carreteras), participa de este desafío que consiste en la redefinición del transporte por carretera (www.foreveropenroad.eu). Esta visión debe tener en cuenta los escenarios presentes y futuros a los que nos enfrentamos: cambios en los patrones de movilidad, economía circular y baja en carbono, cambio climático, entre otros. Surgen pues numerosos retos.

Algunos de esos retos en el campo de la adaptación serían:

- Disponer de proyecciones de cambio climático de las variables climáticas más representativas para el gestor de la infraestructura de carretera.
 - Sería deseable contar con herramientas que permitan obtener la información deseada de manera dinámica (es decir, que se puedan modificar ciertos parámetros, como por ejemplo los periodos de estudio que se desean analizar, visualización de la información en mapas, etc.).
 - Es importante comprender, manejar y aplicar correctamente el concepto de incertidumbre asociado a las proyecciones de cambio climático.
 - Elaborar una metodología para el análisis del riesgo de tramos específicos de la red, para lo cual es necesario definir y establecer las pautas para calcular la exposición y la vulnerabilidad. Sería conveniente que el gestor de carreteras se familiarice con estos conceptos.
- Elaborar un catálogo de medidas de adaptación adecuadas para distintos escenarios.
- Avanzar en el desarrollo de metodologías para realizar análisis coste beneficio en los estudios de adaptación.
- Incorporar variables ambientales en los sistemas de gestión de las redes incluyendo, entre otras cosas, estrategias de actuación frente a los posibles fenómenos extremos del cambio climático.
- Consignar fondos y recursos específicos para adaptación.

- Revisión de la normativa y de las recomendaciones de diseño, en aquellos aspectos relacionados con variables ambientales.
- Abordar estudios específicos sobre la influencia de las variables climáticas en distintos elementos de la carretera y en su comportamiento; por ejemplo:
 - Estudio del comportamiento de la mezcla bituminosa a distintas temperaturas, analizando, entre otros aspectos, qué variable climática es la más significativa: temperatura máxima o mínima, percentil 95% de la temperatura máxima o mínima; radiación.
 - Variación de la capacidad estructural del firme en función de la temperatura. Igual que en el caso anterior, se habrá de analizar qué variable es más significativa.
 - Revisión de las dotaciones y momentos de extendido de sal en carreteras, incorporando parámetros tales como: humedad superficial del firme, temperatura en superficie del firme, viento, predicciones horarias.
- Despliegue de estaciones para la toma de datos en continuo del estado de la carretera (tensiones y deformaciones). Calibrado de modelos en tiempo real del comportamiento de los firmes de carretera. Esta información servirá de base para estudiar la posibilidad de desarrollar una propuesta de aplicación del mantenimiento predictivo en la red.
- Puesta en marcha de proyectos piloto para la monitorización de tramos de la red a nivel de obras de tierra.
- Investigación en el ámbito de la información vehículo – carretera.

Ya en el campo de la mitigación, se pueden mencionar otros retos tales como:

- Innovación en el campo de los materiales y las técnicas de construcción.
- Investigación sobre la efectividad de los sumideros de CO₂ vinculados a las carreteras (creación de zonas verdes, revegetación, etc.).
- Esquemas para la validación (tanto a nivel técnico como medioambiental) de la utilización de nuevos materiales y técnicas.

- Incorporación a la normativa o recomendaciones de aquellos materiales y técnicas que hayan sido validados, según los esquemas que se establezcan y con las cautelas pertinentes.
- Incorporación del cálculo del desempeño ambiental de materiales y técnicas constructivas.
 - Incentivando el uso de etiquetas o certificados ambientales.
 - Promoviendo la creación de bases de datos ambientales fiables.
 - Fomentando la compra verde (tanto a nivel de la administración como de particulares).
- Consignar fondos y recursos específicos para mitigación.
- Concienciación a todos los niveles.

La conclusión es que debemos estar preparados. En primer lugar, por medio de una infraestructura bien conservada y bien gestionada. En segundo lugar, estando atentos a las necesidades de los usuarios, que demandan: seguridad, información, conectividad, ayudas a la movilidad (sobre todo aquellos con capacidades reducidas –ancianos, discapacitados-), soluciones a los problemas de congestión...

5. BIBLIOGRAFÍA

- Berzosa, A. (2013). *Análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del ciclo de vida de las carreteras*. Tesis Doctoral. Madrid: Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid (UCM).
- CEDEX (2013). *Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España*. Madrid: CEDEX.
- CEDEX (2018). *Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de variabilidad y cambio climáticos*. Madrid: CEDEX.
- EAPA, EUPAVE, FEHRL (2016). *Road pavement industries highlight huge CO₂ savings offered by maintaining and upgrading roads*. Disponible en: <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/eupave-eapa-fehrl-co2-savings-by-maintaining-and-upgrading-roads.pdf>
- European Commission (2013). *Adapting infrastructure to climate change*. Disponible en: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/publications/adapting-infrastructure-to-climate-change>
- European Commission (2016). *EU Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance*. Disponible en: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/revision-green-public-procurement-criteria-road-design-construction-and-maintenance-0>
- Harvey, J., et al. (2015). *The Role of Life Cycle Assessment in Reducing Greenhouse Gas Emissions from Road Construction and Maintenance*. EEUU: National Center for Sustainable Transportation. Disponible en: https://ncst.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2014/08/07-06-2015-NCST_Reducing-GHG-in-Road-Construction-FINAL.pdf
- Proyecto LIFE MINOX-STREET (2018). *Guía para el uso en exteriores de materiales fotocatalíticos con objeto de reducir la contaminación por NO_x en entornos urbanos*. Disponible en: <http://www.lifeminoxstreet.com/life/eventos/eproyecto/detalle/?uuid=-367f20e9-c8d2-4603-af32-51421ec197c3>
- Toplis, C. et al. (2015). *Marco internacional para la adaptación de la infraestructura de carreteras ante el cambio climático*. Francia: Asociación Mundial de la Carretera.