

Premio Mundial PIARC “Resiliencia de la carretera, adaptación al cambio climático”

Incremento de la resiliencia de las obras de tierra de las carreteras del Estado en el Norte de España. Lecciones aprendidas en el periodo 2011-2018

Increasing resilience of earth structures on road of Northern Spain. Lessons learned in the period 2011-2018

Felipe Collazos Arias

*Dirección General de Carreteras
MITMA*

Laura Parra-Ruiz

CEDEX

Mónica Laura Alonso Plá

CEDEX

En esta comunicación se analizan las últimas experiencias en materia de drenaje de taludes y cimentaciones, así como la gestión del agua de escorrentía para mejorar la resiliencia de las infraestructuras viarias. Las actuaciones fueron consecuencia de las lluvias temporales y las condiciones meteorológicas adversas entre los meses de enero y febrero de 2010 y 2018, que provocaron daños singulares en varios taludes de carreteras del Norte de España. El objetivo de la reparación fue restablecer la seguridad vial y la estabilidad de las carreteras. En cuanto al drenaje de taludes y terraplenes, la actuación realizada en el talud de la autopista A-8 incluye su estabilización mediante Ingeniería Biológica. Todas las actuaciones presentadas en este artículo han demostrado su validez a lo largo de los últimos años de explotación de la carretera.

This paper presents and evaluates some of the most recent experiences and research projects related to increasing resilience and sustainability on roads of northern Spain.

The most remarkable actions carried out to adapt the roads to the effects of climate change have been due to the need to respond to extreme weather events occurred during Winter seasons. From 2011 to 2018, cantabrian roads suffered several damages due to continuous intense rainfall, wind and snow. Works to restore road and pedestrian safety together with recovering stability of the road infrastructure were accounted as emergency.

Based on recent years experiences, lessons learnt are presented through a collection of successful practical actions implemented to solve the problems occurred, prevent emerging risks and increase the resilience of the road network at operation stage.

An economic assessment of the climate impacts has been done, taking into account both direct and indirect costs. This objective information will help to quantify damages related to climate change on roads of northern Spain and support decision making.

As a whole, it can be said that the region of Cantabria (North of Spain) is an international benchmark both in terms of exploitation of resilient infrastructures and in pioneering research aimed at increasing the sustainability of our roads.

1. Introducción

La región de Cantabria, en el norte de España, tiene 5321 km². Básicamente, la región de Cantabria soporta dos zonas climáticas diferentes, el clima oceánico templado y el clima mediterráneo cálido-veraniego.

El Gobierno español, a través de su Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y su Dirección General de Carreteras, posee 600 km de carreteras estratégicas en la región de Cantabria, que dan acceso a los principales servicios sanitarios, turísticos y comerciales.

Las fuertes inclemencias del tiempo, los fenómenos extremos y el cambio climático han provocado impactos transversales principalmente en algunos activos viales, como los taludes. Así, en los últimos años, los gestores de carreteras han experimentado la necesidad de un número creciente de actuaciones de emergencia en esta red estratégica de transporte; lo que puede entenderse como una necesidad de aumentar la resiliencia de la red de carreteras.

Varios activos viales se están volviendo más vulnerables al cambio climático en todo el mundo (Alonso & Parra 2022) preocupando a la comunidad científica y a los gobiernos. En España, el 45% de la red principal y el 4% de la longitud total sufren algún tipo de impacto climático (CEDEX, 2018). La región cántabra no es una excepción, diversos estudios constatan los crecientes impactos relacionados con el clima en las infraestructuras, tanto en eventos extremos como en procesos de lenta evolución.

Esta comunicación expone y analiza algunas de las últimas experiencias, aplicaciones y proyectos de investigación enfocados a aumentar la resiliencia y la sostenibilidad en la red de carreteras de Cantabria.

2. El cambio climático y sus efectos

El cambio climático y sus efectos en cascada suelen estar asociados a las lluvias intensas, el granizo, la nieve y el hielo, los vientos fuertes, los cambios rápidos de temperatura, las altas temperaturas, la subida del nivel del mar o la crecida del nivel de los ríos y las inundaciones, entre otros. Los eventos relacionados con las lluvias intensas suelen provocar una capacidad insuficiente de los sistemas de drenaje y pueden causar problemas como desprendimientos de tierra, desprendimientos de rocas, erosión de taludes, fallas en los terraplenes, baches y daños en los pavimentos, descalcificación de los cimientos, daños en los pilares, socavación de pilares y obras de contención. Esto, a su vez, provoca pérdidas socioeconómicas, interrupciones del tráfico, retrasos en los desplazamientos y afecta a las condiciones funcionales y físicas de la carretera, dificultando las conexiones de transporte y su servicio a la sociedad que garantizan el acceso, la movilidad y la competitividad de todos los sectores sociales. Por lo tanto, junto con los costes directos de mantenimiento y reconstrucción de carreteras asociados a los eventos relacionados con el clima, también deben identificarse los impactos socioeconómicos. Algunos de ellos están relacionados con las pérdidas económicas (servicios de transporte) pero también con las lesiones y muertes por accidentes de tráfico en la carretera. Estos accidentes pueden ser causados por situaciones inesperadas en la carretera y por la pérdida de control del vehículo en condiciones meteorológicas desfavorables que limitan las características de seguridad de la carretera y pueden llevar a la concentración de puntos peligrosos en zonas donde no se mantienen las expectativas del conductor (Alonso, Alonso, Esteban & Calatayud 2013, Alonso 2015).

En el marco del grupo de trabajo dedicado a la evaluación del cambio cli-

mático y la resiliencia de las carreteras en la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), se está desarrollando una metodología para evaluar la vulnerabilidad de los tramos de carretera a los efectos del cambio climático. Se espera que esta metodología ayude a reducir los riesgos y a aumentar la resiliencia de las redes de carreteras en España. Es importante tener en cuenta que las conclusiones de los trabajos realizados en el grupo de trabajo ayudarán y permitirán una toma de decisiones informada y más eficiente en el futuro (Alonso & Parra 2022). No obstante, los estudios deben ser actualizados teniendo en cuenta los escenarios RCP y cubriendo la falta de información a escala fina de resolución.

Como primer paso, se está probando la metodología en un caso piloto localizado en Cantabria, por su singularidad y experiencias en movimientos de tierra y teniendo en cuenta que en esta región se esperan cambios significativos en las temperaturas y precipitaciones (Gutiérrez et al 2010, Losada et al 2014). Este grupo debe identificar caminos relacionados con todos los niveles de resiliencia de la región.

Además, existe una gran experiencia en la región, como se presentará en este trabajo. En los últimos años, los técnicos de la Dirección General de Carreteras de la región han identificado a través de su juicio experto los elementos más expuestos y cuentan con una amplia experiencia en mantenimiento preventivo y actuaciones de emergencia. Se han utilizado diferentes medidas de mitigación y adaptación, pero se ha identificado que los datos deben ser debidamente registrados. Esto contribuiría a crear una base de datos de eventos relacionados con el clima que ayudaría a mejorar las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo. También se ha detectado que los inventarios de activos tienen un gran margen de mejora. Además, esto facilitaría la gestión de la información, y la cuantificación económica de las



Figura 1. Situación del PK 158,140 MI producido por las fuertes lluvias en la ladera rocosa (aguas arriba) sin actuar.



Figura 2. Situación producida tras las intensas lluvias con caída de piedras.

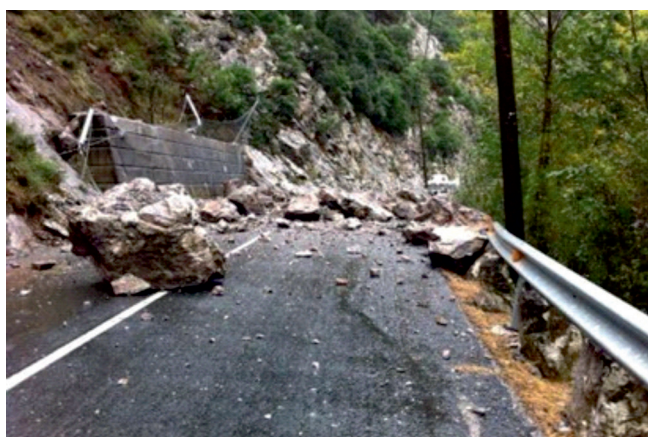


Figura 3. Seguridad comprometida por la caída de piedras en la carretera N-621 tras las intensas lluvias



Figura 4. Problemas de seguridad vial por la caída de piedras en la carretera N-621 tras las intensas lluvias

medidas, mediante la recopilación de datos económicos de los costes de las diferentes acciones realizadas, permitiría incidir y objetivar, desde un punto de vista económico, la importancia de aumentar la resiliencia de la red a partir de un análisis coste-beneficio basado en las lecciones aprendidas.

Por último, hay que señalar que, en el futuro, se requerirá la implantación de sistemas de monitorización, de alerta temprana y de herramientas para compartir la información con los usuarios finales; todo ello contribuirá a la transparencia y a la difusión de la información, facilitando en última instancia el compromiso de la sociedad civil, tal y como se recoge en algunas de las últimas políticas europeas.

La UE fomenta firmemente que la información climática se refleje en in-

dices climáticos que sean útiles en el proceso de toma de decisiones en diferentes actividades. Además los índices de vulnerabilidad y diferentes indicadores aparecen como útiles para “climate proofing” (UE, 2021). Para ello, los llamados servicios climáticos son de gran interés. Una herramienta de este tipo se encuentra en el proyecto CLARITY, financiado por el programa H2020 de la UE. para la evaluación de riesgos en infraestructuras urbanas y de transporte (Parra 2021).

3. Acciones

Las principales actuaciones llevadas a cabo para adaptar las carreteras cántabras a los efectos del cambio climático y aumentar la resiliencia se han debido a la necesidad de respon-

der a las condiciones meteorológicas extremas del invierno. Desde 2011 hasta 2018, las carreteras cántabras sufrieron varios daños y erosión del suelo debido a las continuas precipitaciones extremas, el viento y la nieve. Los daños fueron reparados por Obras de emergencia para restablecer la seguridad vial y peatonal devolviendo su servicio a la sociedad (Collazos et al 2017, Collazos et al 2022). Los temporales de 2011 y 2018 provocaron numerosas complicaciones en el entorno y en las carreteras que discurren por Cantabria.

Las lecciones aprendidas se basan en la experiencia adquirida en los últimos años, con acciones prácticas exitosas implementadas para resolver los problemas ocurridos, nuevos medios de prevención de riesgos emergentes y

aumento de la resiliencia de la carretera dentro de la fase de explotación.

La información histórica registrada permite a los gestores de carreteras analizar los beneficios y cuantificar los costes de los fenómenos meteorológicos extremos y los impactos climáticos, con ventajas para la toma de decisiones futuras.

En los últimos años, se han identificado tres tipos principales de problemas: la estabilidad de los taludes, la interrupción del tráfico debido a las inundaciones y el asentamiento y el vuelco de los muros de contención.

Nos centraremos en esos tres problemas, y en concreto en la actuación llevada a cabo en el talud de la autopista A-8 incluyendo su estabilización mediante Ingeniería Biológica.

3.1. Riesgos e impactos

3.1.1. Interrupción del tráfico debido a las intensas lluvias

El agua de escorrentía debida a un fuerte aguacero puede llegar bruscamente a la carretera y detener (o dificultar) la circulación del tráfico (Figura 1).

Otro posible impacto relacionado con las fuertes lluvias es la caída de rocas. Este impacto se produce en las zonas kársticas. En el tramo del Desfi-

ladero pueden caer una media de 50 piedras al día (Figura 2). En 2009, en el PK 171+800 se registraron 58 incidencias de caída de piedras, con un total de 212 piedras a lo largo del año (Figura 3). En 2014, tras la implantación de algunas medidas de protección, sólo se registraron 21 incidencias por el mismo motivo y 56 piedras (de 3-5cm a 30cm-30cm) (Figura 4). Hay que tener en cuenta que el objetivo de la actuación en dicho PK era canalizar la caída de agua, para no entorpecer el tráfico debido a la presencia de agua en el pavimento. De este modo, se ha reducido la caída de piedras (tamaño medio de 10x8 cm) en un 74%.

3.1.2. Deslizamientos de tierra debido a las intensas lluvias

En cuanto al problema de Tipo 2, se produjo un gran deslizamiento de la calzada derecha (Figura 5), en este caso el talud de la autopista A-8 en el PK 167, en Liendo, el 8 de febrero de 2013, con fuerte desplazamiento horizontal y vertical de la calzada derecha, del orden de 30 y 100 cm respectivamente. Esto provocó el cierre del tráfico en la calzada y la colocación urgente de carriles metálicos en la mediana para evitar que el deslizamiento afectara a la calzada izquierda, que es por donde circulaban los dos sentidos de circulación.



Figura 5. Problemas de seguridad vial por la caída de piedras en la carretera N-621 tras las intensas lluvias

3.1.3 Vuelco de muros de contención debido a lluvias intensas

Los problemas se centran en el asiento y vuelco de muros, generalmente de deslizamiento en su base (empuje excesivo) o en la masa de tierra sobre la que se apoyaban; o aumento de la compresibilidad de la cimentación húmeda. En la A-67, cerca de la localidad de Pujayo, se produjo un desprendimiento en el muro verde de 17 m de altura con una inclinación de 70°, que soporta la autovía en el relleno de acceso al viaducto de Pujayo. Se trata de un desprendimiento superficial de tipo "cuchara" con una longitud aproximada de 15 m y una altura de unos 6 m. También se observó en otras zonas del muro verde el inicio de un proceso de vuelco o rotura del escalón superior del muro (Figura 13).

3.2. Medidas de adaptación

3.2.1. Impactos relacionados con las lluvias intensas en zonas kársticas

La energía de estas cascadas que aparecen en zonas kársticas se ha dissipado mediante la colocación de secuencias de módulos metálicos a base de perfiles o varillas colocados en el terreno, pantallas dinámicas complementadas con mallas metálicas y pan-



Figura 6. Mapa mostrando la localización de las actuaciones.

tallas de cadena. La cortina de agua se canaliza hacia el río Deva mediante la colocación de una red metálica de apertura reducida. En ocasiones, el talud rocoso está muy cerca de la carretera, por lo que el agua de escorrentía cae directamente sobre la calzada, encharcándola y con escasa posibilidad de drenaje, incluso inundándola transitoriamente tras un fuerte aguacero.

Las actuaciones llevadas a cabo dentro de la Carretera Nacional N-621 (Figura 6) es la absorción de energía del agua de cascadas a base de Pantallas Dinámicas y Pantallas de Cadenas complementadas con Malla metálica, dispuestas según orografía en secuencia para la adecuada disipación de la energía.

3.2.2. N-621, PK 158+140 MI Absorción de Energía en Cascada “Lebeña”.

La cortina de agua se canaliza hacia el río Deva mediante la colocación de una densa red metálica y la realización de zanjas y alcantarillas (ODT) que cruzan bajo la carretera.

Se encuentra asociada a un farallón rocoso que desciende hasta el borde de la carretera, con una altura variable entre 50 m y 75 m y 17° de inclinación. Se ha disminuido la velocidad y energía de la fuerza del agua que brota de dos cavidades kársticas y canalizado al río Deva, mediante 5 niveles consecutivos. Se ha mejorado el cuenco receptor mediante picado en roca y se ha ejecutado un muro de mampostería, con realización de mechinales y mimetizado con el entorno natural, lo que le permite la integración paisajística (Figura 7).

3.2.3. N-621, PK 169+050 MI Absorción de Energía en Cascada “Las Higueras”.

Se ha disminuido la velocidad y energía de la fuerza del agua que desciende de cuatro canales que con-



Figura 7. Situación del PK 158,140 MI producida por lluvias intensas.

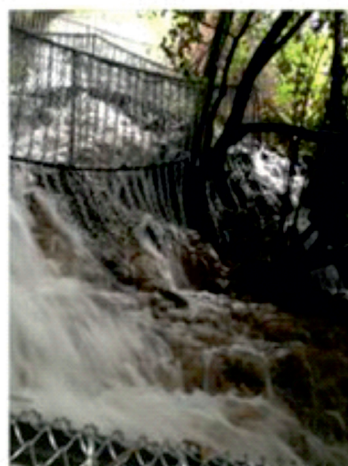


Figura 8. Situación del PK 169,050 MI producida por lluvias intensas y distribución de protecciones en canales 2, 3 y 4

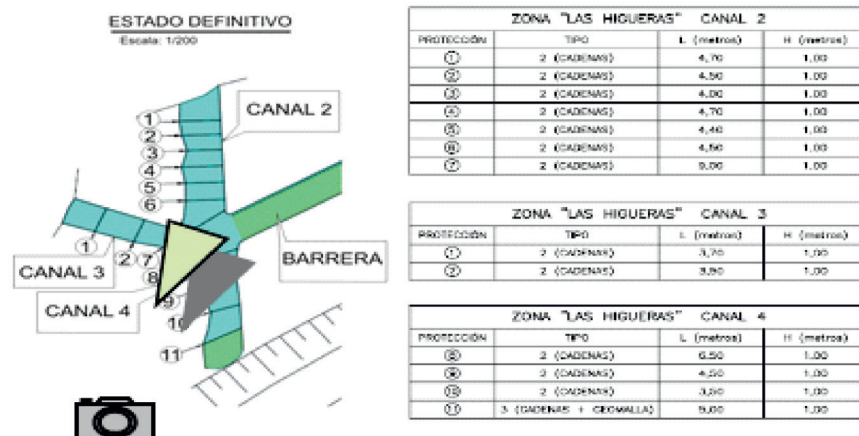


Figura 9. Protección en canales 2, 3 y 4.

fuyen en dos y son canalizados al río Deva. Todo ello mediante la disposición de los diferentes módulos mostrados (Figura 8).

3.2.4. N-621, PK 171+800 MD Absorción de Energía en Cascada “Murciélagos”.

Se ha disminuido la velocidad y energía de la fuerza del agua que desciende de dos torrentes y canalizado al río Deva, mediante: 26.00 m² de Pantalla Dinámica (Módulo nº 1) y 185.74 m² de Pantalla de Cadenas (Módulo nº 2) (Figura 10).

3.2.5. Soluciones de ingeniería biológica en la autovía A-8 (problemas tipo 2 y 3).

La actuación llevada a cabo en el talud comprende su estabilización mediante una medida de Ingeniería Biológica, consistente en la incorporación de un muro de gravedad formado por una estructura celular de troncos de madera de eucalipto, con estacas vivas y planta de contenedor, con el objetivo que el futuro desarrollo de la planta suplante la estructura de tronco. Se ha reforzado la estructura con un pie de escollera. Se ha completado la actuación con la ejecución de una cuneta de coronación con su correspondiente bajante.

Respecto a otras soluciones que se llevaron a cabo podríamos citar las siguientes:

En el caso de Liendo, malla de pilotes de mortero de 60 cm de diámetro (Figura 11). Malla de triángulos equiláteros de 2,40 m de lado, en los 80 m centrales y malla de triángulos equiláteros de 2.70 m de lado, en los 20 m laterales a la zona del hundimiento. Con un total 248 pilotes de entre 20 y 26 m de profundidad. Preparación de accesos, ejecución de dren de 4 m de profundidad relleno de material drenante, Construcción de cuneta revestida de

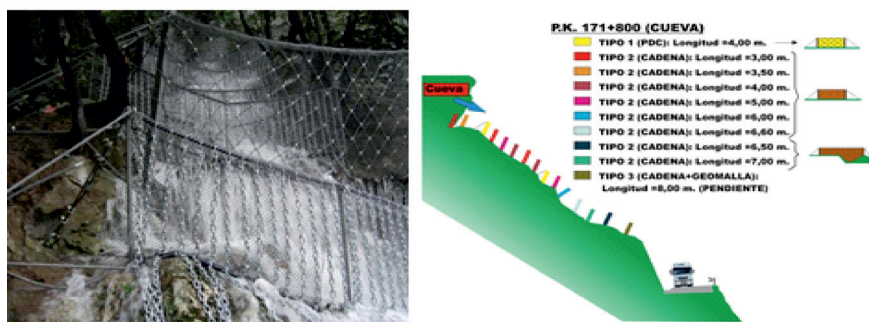


Figura 10. Funcionamiento de Módulos nº 2 en parte baja de talud ante episodios de lluvias

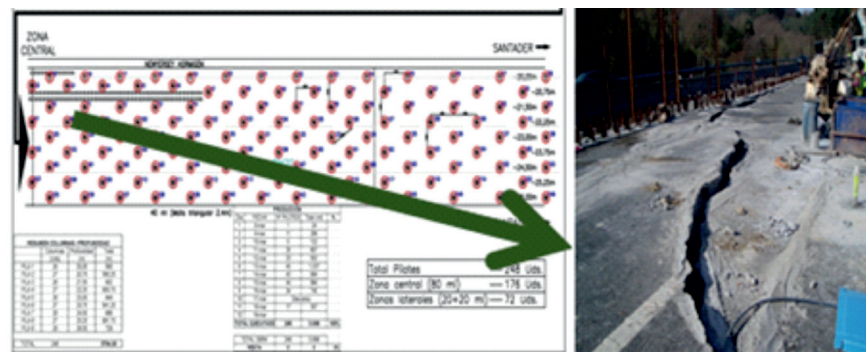


Figura 11. Estabilización del terraplén de la autovía A-8 (E-70)

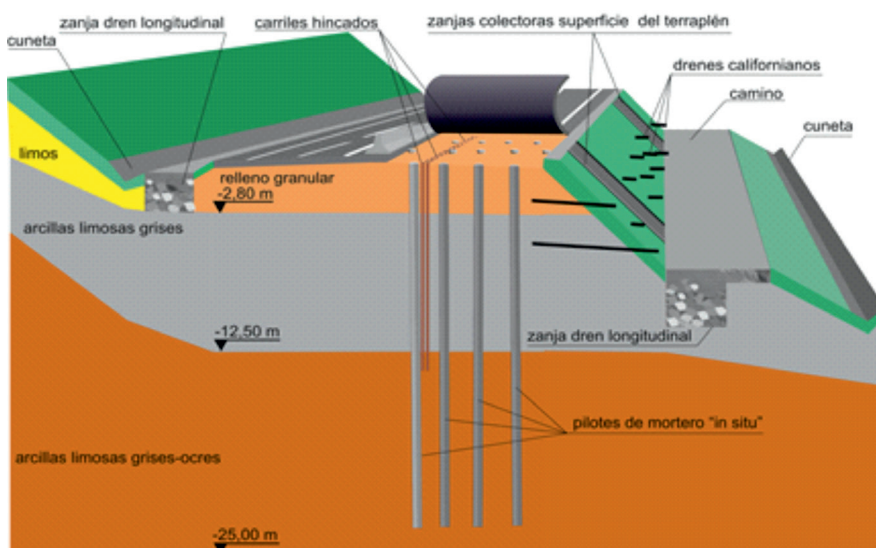


Figura 12. Comparación de la situación antes y después de la estabilización del terraplén de la autovía A-8 (E-70).



Figura 13. Muro verde con bulones autopercutorantes en la autovía A-67.



Figura 14. Hinca de carriles, colocación de geomalla, red de cables atornillados y reconstrucción de la canaleta de agua en la carretera N-623 a causa de las fuertes lluvias



Figura 15. Hundimiento de la plataforma de la carretera N-629 causado por las fuertes lluvias y señalización provisional



Figura 16. Deslizamiento de tierra provocado por las fuertes lluvias, causando el corte total de la carretera N-623 y N-623a en la tarde del 10 de marzo de 2016. PK 117+300 margen izquierdo



Figura 17. Problemas de seguridad por la caída de piedras en la carretera N-621 tras intensas lluvias. Situación del PK 158,140 margen izquierdo producido por las fuertes lluvias en la ladera rocosa (aguas arriba) donde se realizó la actuación.

hormigón. Ejecución de drenes californianos e hinca de carriles y control topográfico (Figura 12). Los movimientos registrados en el periodo previo al inicio de las obras de reparación son elevados, superiores a 20 cm en algunos puntos. Durante los trabajos de reparación, hasta un máximo de 3-4 cm. Tras la finalización de las obras de reparación, los movimientos tanto en la calzada como en el talud prácticamente han desaparecieron.

3.2.6 Impactos relacionados con el vuelco de los muros de contención

La solución consistió en asegurar la cabeza del talud de un muro verde con un sistema de refuerzo formado por una geomalla tridimensional volumétrica, malla de triple torsión y cable de acero de diámetro 16 mm, formando triangulaciones de 8x3 m, todo ello anclado al terreno mediante bulones tipo autoperforante y redes de cable. Al tratarse de un muro verde con relleno tipo pedraplén fue necesario el uso de bulones autoperforantes con una mayor dotación de mortero en su bulbo de anclaje que asegurar la resistencia que necesita el sistema (Figura 13).

Otro desprendimiento acaecido en el PK 118+300, el 20 de enero de 2013 (Figura 14), en el muro de sostenimiento de la N-623, carretera local de Corvera de Toranzo, la cual no sufrió ningún desperfecto debido a la hinca de carriles que se realizó en su día y que ha quedado al aire. La solución consistió en el saneo del talud, colocación de geomalla y red de cables bulonada. Encauzamiento del manantial. Ampliación de la hinca de carriles como refuerzo de la ya existente con cabeza soldada y hormigonada.

En la carretera N-629 (Figura 15), en el PK 50+100, a la altura del Puerto de Los Tornos. Se produjo otro desprendimiento en el año 2012, es una carretera muy antigua, con más de 100 años y un

paquete de firme exiguo, entre las soluciones adoptadas, está la instalación de estructura metálica compuesta por vigas tipo UPN-160 y HEB-160, arriostada y bulonada al terreno mediante bulones autoperforantes de 30 mm, semejante a la que se hizo en el año 2016, en la carretera N-623a (Figura 16) y, donde además, se ejecutó una escollera y se rehizo un muro de mampostería

Destacan los buenos resultados obtenidos con el uso de las cortinas de cadenas en el desfiladero de la Hermita (Figura 17), logrando mejorar sustancialmente las condiciones de seguridad vial en tiempos de lluvia intensa.

4. Lecciones aprendidas

Los efectos del cambio climático son cada vez más frecuentes. Cantabria, por su orografía y climatología se ve especialmente afectada por ellos. Los episodios de lluvias intensas provocan con frecuencia impactos en las carreteras, que acaban provocando interrupciones del tráfico y costosas reparaciones.

En este trabajo se han documentado los recientes episodios que han afectado a varios tramos de carretera en Cantabria durante 2011 y 2018. Las actuaciones llevadas a cabo para restablecer las condiciones de tráfico durante esos episodios han sido diseñadas con el propósito de no sólo volver a la situación inicial sino de mejorar el comportamiento del tramo de carretera en el caso de que esos eventos vuelvan a producirse. Es por ello que las medidas implementadas deben ser consideradas como medidas de adaptación, ya que contribuirán a reducir la vulnerabilidad de los tramos de carretera ante los intensos episodios de lluvia que frecuentemente afectan a la región.

Es importante que se haga un seguimiento de los resultados obtenidos con la aplicación de estas medidas de adaptación, para validar su eficacia. De

este modo, todo el proceso contribuirá a la identificación, evaluación, selección y priorización de las respuestas de adaptación.

Por último, y en consonancia con los pasos establecidos en el marco internacional de adaptación al cambio climático de la AIPCR, los resultados deberán integrarse en los procesos de toma de decisiones (programas, inversiones, estrategias y sistemas de infraestructuras viarias).

Estas acciones, si se evalúan a nivel de red y cuentan con la participación de todos los actores afectados, sentarán las bases de un sistema de transporte por carretera más resiliente.

Para lograr este objetivo, se proponen las siguientes acciones adicionales:

- Creación de una base de datos de eventos relacionados con el clima en la red de carreteras. Esta base de datos contendrá información relacionada con el activo vial afectado, el evento climático que causó el impacto y las consecuencias.
- Creación de un repositorio donde se documenten las diferentes medidas de adaptación implementadas, junto con actualizaciones periódicas sobre su eficacia.
- Difusión de los resultados obtenidos hasta el momento.

5. Conclusiones

Se puede afirmar que la región de Cantabria es un referente internacional tanto en la explotación de infraestructuras resilientes como en la investigación pionera orientada a una mayor sostenibilidad de las carreteras españolas.

Los eventos meteorológicos ocurridos tras la instalación de las intervenciones, pueden calificarse como aún más extraordinarios si se comparan (en términos de magnitud y frecuencia) con

los ocurridos antes de la puesta en marcha de las intervenciones. Por ejemplo, la cantidad de precipitación recogida el pasado mes de noviembre de 2020 en la estación de Tresviso, fue de 648 mm (254,0mm normal) y constituye el valor máximo registrado desde que se inició la serie en 1980. El tiempo transcurrido tras la ejecución de las soluciones presentadas en este trabajo (1-2 años y más) demuestra su eficacia. Cabe destacar la estabilidad conseguida con el uso de la estructura celular de troncos de eucalipto en la autopista A-8, que evita los accidentes por deslizamiento durante el invierno.

Hay que destacar los problemas encontrados al tratar de abordar los movimientos de tierra y los taludes en la aplicación de un análisis de resiliencia al Cambio Climático, la importancia de documentar cualquier actuación, inventariar y monitorizar, cuando sea posible, los activos de los movimientos de tierra y los taludes. Y no sólo para la acción preventiva, sino también para la adquisición de conocimientos basados en estas experiencias previas documentadas. Cualquier base de datos y su gestión, integración y cruce entre ellas es crucial. Y trabajar a escala local con mejores predicciones meteorológicas buscando el objetivo de anticiparse a los problemas en la previsión climática, teniendo en cuenta el cambio climático en todas las fases del ciclo de vida de las infraestructuras desde su diseño y proyecto hasta su posterior explotación.

6. Agradecimientos

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX, Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana -Gobierno de España, Grupo de Investigación en Tecnologías de la Construcción (GITECO) de la Universidad de Cantabria.

Referencias

- [1] Alonso, M. (2015). La integración del factor humano en el ámbito técnico de la gestión de las carreteras y la seguridad vial: un enfoque investigativo. Tesis doctoral. Valencia: Universitat de València.
- [2] Alonso, M.L. & Parra, L. 2022. Towards a more resilient spanish road network. PIARC. XVIth World Winter Service and Road Resilience Congress, Adapting to a Changing World. Calgary. Not yet published.
- [3] Alonso, F. Alonso, M., Esteban, C., Calatayud, C. 2013. Study protocol of the "Research, development and innovation for the design and development of a comprehensive plan for elimination and eradication of black spots on the roads of the provincial Council of Valencia". *Securitas Vialis* 02/2013; 14: p.5-25. 26-45
- [4] Castanon-Jano, L., Blanco-Fernandez, E., Castro-Fresno, D., Ferreño, D. 2018. Use of explicit FEM models for the structural and parametrical analysis of rockfall protection barriers. *Engineering Structures*, 166, pp. 212-22
- [5] CEDEX et al, Grupo de Trabajo para el análisis de las necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. 2013. Needs for adaptation to climate change of the main transport infrastructure network in Spain. Final report.
- [6] CEDEX. 2018. State network sections of land transport infrastructure potentially more exposed due to climate variability and change. Final report.
- [7] Crespo et al, 2020 Climate-Change-Adaptation Analysis Methodology of Transport Infrastructures *Revista Ingeniería Civil*, 197/2020: p. 118-129.
- [8] Collazos, F., Mas, J.C., Castro, D & Rodriguez J. 2015. Presentation: Management of runoff water in karstic terrain and stability of slopes and foundations in northern Spain. Final proceedings. PIARC XXVth World Road Congress. Seoul (South Korea)
- [9] Collazos, F (2015). Gestión del agua de escorrentía en terrenos kársticos y estabilidad de taludes y cimientos en el norte de España. Actas finales. Presentación oral. XXVth World Road Congress. Seoul (South Korea) Road Congress. PIARC- Seoul (South Korea).
- [10] Collazos, F., Ayres, L. & Sanchez, S. 2017. Slope landslides on state roads in Cantabria in recent years (2011-2016). IX Slopes symposia, Santander
- [11] Collazos, F, Mas, J., Castro D., Rodriguez, J., Blanco, E., Castanon, L. García, D. & Beltran I. 2021. Runoff water management on karstic terrain and stability of slopes and foundations in Northern Spain. 4th International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG). May 24 - 27, 2021, Chicago, Virtual. Main conference event of International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) Technical Committee (TC) 202 on Transportation Geotechnics. not yet published in the Official Journal
- [12] Collazos, F., Parra, L. & Alonso, M.L. 2022. Increasing resilience of earth structures on road of northern Spain. Lessons learned in the period 2011-2018. PIARC. XVIth World Winter Service and Road Resilience Congress, Adapting to a Changing World. Calgary. Not yet published in the Official Journal.
- [13] EU, European Commission, 2021. Commission Notice Technical guidance on the climate proofing of infrastructure in the period 2021-2027. C(2021) 5430 final
- [14] Gobierno de Cantabria. 2010. Decreto 57/2010, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de Cantabria ante el Riesgo de Inundaciones, INUNCANT. Santander, 2010.
- [15] Gutiérrez Llorente, J. M., Herrera García, S., San-Martín, D., Sordo, C. M., Rodríguez, J. J., Frochoso, M. & Rodríguez, M. Á. 2010. Escenarios regionales probabilísticos de cambio climático en Cantabria: termoplumiometría.
- [16] Hoek, E & Brown, K. 2002. "Rock Slope Engineering" I.N.M. London. Odón Hernández Holgado. Agencia Estatal de Meteorología. 2013. Una aproximación a la nivología en Picos de Europa, pp 34-38.
- [17] Losada, I., Izaguirre, C., & Díaz, P. (2014). Cambio climático en la costa española. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: Madrid, Spain, 133.
- [18] MAGNA. Mapa Geológico 1:50.000, hoja nº 56 (Carreña-Cabres), editado por el Instituto Geominero de España (MAGNA).
- [19] Oteo, C. 2009. Doce lecciones sobre geotecnia de infraestructuras lineales del transporte. Asociación Técnica de la Carretera, pp 77-111.
- [20] Parra, L. et al. 2018 Presentation: "Infrastructure management and climate change within the framework of the CLARITY project". Simposio Nacional de Firmes de Carreteras. Madrid, 16-18 de octubre de 2018.
- [21] Parra, L., Cubillo, J., Postigo, M., Torres L. 2021. CLARITY para infraestructuras de transporte. not yet published in the Official Journal.