



Estrategia de carreteras y cambio climático

Action C.6.6

Grant Agreement nº. LIFE 16 IPC/ES/000001

Towards an integrated, coherent and inclusive implementation of
Climate Change Adaptation policy in a region: Navarre

[LIFE-IP NAdapta-CC]

LIFE 2016 INTEGRATED PROJECTS CLIMATE ACTIONS

Project start date: 2017-10-02

Project end date: 2025-12-31

Coordinator:

Partners:

DISSEMINATION LEVEL		
PU	Public	☐
PP	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	☐
RE	Restricted to a group specified by the consortium (including Commission Services)	☐
CC	Confidential, only for members of the consortium (including Commission Services)	☒

Autoría:

Navarra de Suelo y Vivienda, S.A. [NASUVINSA], con la asistencia técnica de:

-  David López Oliver, INES Ingenieros Consultores [Asistencia técnica]
-  Adriana Mata Calvo, INES Ingenieros Consultores [Asistencia técnica]

Referencia recomendada a efectos bibliográficos:

López Oliver, D.; Mata Calvo, A.. [2023]. *Evaluación de los efectos del Cambio Climático en la Red de Carreteras de Navarra. Medidas de Adaptación y Plan de Acción*. Acción C.6.6 del Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC [LIFE 16 IPC/ES/000001] de la Unión Europea. Madrid. INES Ingenieros Consultores para Navarra de Suelo y Vivienda, S.A. [NASUVINSA] y Servicio de Economía Circular y Cambio Climático del Gobierno de Navarra.

El Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC LIFE 16 IPC/ES/000001 está ejecutado con la contribución financiera del programa LIFE de la Unión Europea

El contenido de este informe no refleja la opinión oficial de la Unión Europea. La responsabilidad de la información y los puntos de vista expresados en esta publicación recaen completamente en su autoría.

www.lifenadapta.eu

Versión 1. julio de 2023

Tabla de contenidos

0. SUMMARY	6
1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y ALCANCE	7
2. REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR	10
2.1 Marco Normativo	10
2.2 Organización. Roles y responsabilidades	10
2.3 Metas.....	15
2.4 Punto de partida	16
3. INFORMACIÓN DE REFERENCIA.....	18
4. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	23
4.1 Medidas institucionales.....	23
4.1.1 Medidas de regulación.....	24
4.1.2 Medidas de gobernanza.....	24
4.2 Medidas sociales	25
4.2.1 Medidas de concienciación	25
4.2.2 Medidas de generación de conocimiento	25
4.3 Medidas organizativas – Asignación de tareas.....	26
4.3.1 Negociado de Normalización y Proyectos	26
4.3.2 Negociado de Gestión Ambiental de Obras y Conservación	27
4.3.3 Negociado de Ensayos y Laboratorio	27
4.3.4 Negociado de Conservación y Vialidad	28
4.3.5 Negociado de Centro de Control e Infraestructuras.....	29
4.3.6 Negociado de Aforos, Inventarios y Estudios.....	30
4.4 Medidas estructurales	31
4.5 Otras recomendaciones	37
5. CONCLUSIONES	38

Índice de tablas

Tabla 1-1. Relación de puntos críticos identificados. Fuente: DC6.6_2.....	8
Tabla 4-1. Medidas de adaptación estructurales para los activos en estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía.	33

Índice de figuras

Figura 1. Organigrama de Navarra. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía.	11
Figura 2. Marco de trabajo del RIMAROCC.	18
Figura 3. Estructura del ROADAPT.	19
Figura 4. Marco de trabajo propuesto por la FHA.	20
Figura 5. Procedimiento de trabajo propuesto en la Guía de Buenas Prácticas para la Adaptación de las carreteras al Clima.	21
Figura 6. Ejemplo ficha resumen de medidas de adaptación.	21
Figura 7. Etapas propuestas en el Marco Metodológico para la Adaptación de la Infraestructura Carretera ante el Cambio Climático en México.	22
Figura 8. Esquema de tareas para el Servicio de Estudios y Proyectos. Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 9. Esquema de tareas para el Servicio de Conservación. Fuente: Elaboración propia. .	28
Figura 10. Variabilidad y cambio climático en el contexto de la vida útil de una infraestructura de transporte. Fuente: <i>World Bank Group</i> , 2015.	31

0. SUMMARY

This document represents the third report derived from the project "REALIZACIÓN DE UN MAPA E INFORME DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS EN LA RED DE CARRETERAS DE NAVARRA". The primary focus of this report is to outline the Adaptation Strategy against climate change for the Navarra regional Roads.

In light of the risks and hotspots identified in the project second report, the main objective of this document is to propose solutions that can mitigate the impacts of climate change on road assets, reducing their vulnerability and enhancing the resilience and safety of the infrastructure.

The Adaptation Strategy encompasses various sets of measures. Firstly, it emphasizes the importance of fostering a collaborative environment to enhance Governance that enables the development of specific activities. This includes implementing policy changes, establishing institutional support, raising awareness, and conducting research. All specialists involved in any phase of road development and maintenance must have access to comprehensive information and documentation to understand the challenges they will face and be equipped to undertake the necessary actions.

Secondly, the strategy allocates specific tasks to each section of the Department of Civil Works of the Government of Navarra [Dirección General de Obras Públicas e Infraestructuras del Gobierno de Navarra], based on their organizational roles and responsibilities, in line with the project objectives.

Finally, a series of technical adaptation measures are proposed for each asset, focusing particularly on preventive maintenance, and addressing the various failure modes that have been identified. It is emphasized that efficient implementation of these technical measures requires prior adherence to the aforementioned steps.

Furthermore, the current state of the art regarding risk-based maintenance management is taken into consideration. The strategy builds upon the existing situation and aims to progress towards a more desirable future state. As the measures are progressively implemented, the road network will become better equipped to withstand climate change and extreme weather events.

This document is the background of the Action Plan to be defined in the next deliverable report, which will include an economic study of the applicability of the measures proposed in the Adaptation Strategy, its prioritization and chronological ordering according to current strengths and weaknesses.

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y ALCANCE

El presente documento comprende el tercer entregable correspondiente al Contrato *“REALIZACIÓN DE UN MAPA E INFORME DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS EN LA RED DE CARRETERAS DE NAVARRA”* como parte de la Acción 6.6 del proyecto LIFE IP-NADAPTA-CC, en el cual se proponen las estrategias de adaptación al cambio climático para la red de carreteras de Navarra.

Tal y como se desarrolla en la Hoja de Ruta del Cambio Climático de Navarra [HCCN – KLINA 2017-2030-2050], Navarra es una comunidad que cuenta con fuertes contrastes térmicos y pluviométricos debido a su diversidad climática, donde confluyen tres áreas biogeográficas [Alpina-pirenaica, Atlántica y Mediterránea] y diferentes climas [Oceánico, Continental, mediterráneo y de montaña]. En este contexto, los principales objetivos de adaptación del proyecto europeo LIFE-NAdapta-CC son maximizar y facilitar la coordinación administrativa a través del Pacto de Alcaldías por el Clima y Energía, monitorizar la variabilidad climática de Navarra y monitorizar los efectos del cambio climático en el territorio y en diferentes servicios públicos.

La infraestructura de carreteras es un elemento fundamental en la cohesión de un territorio, por este motivo, disponer de una red de carreteras segura y funcional es esencial para el desarrollo económico y social de Navarra. Sin embargo, debido a su amplia extensión en planta [el estudio comprende una longitud de más de 4600 km], los efectos barrera, los materiales que la conforman y los parámetros y antigüedad del diseño, hacen de las carreteras elementos vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos.

Ligado a todo lo anterior, los efectos del cambio climático provocarán variaciones en la exposición de los activos ante diferentes eventos extremos. Este factor se ha de tener en cuenta en la planificación de actuaciones sobre los distintos elementos, que se adecuará progresivamente desde las necesidades actuales hasta focalizarse en aquellas regiones donde los efectos negativos del cambio climático puedan ser más acentuado en un medio y largo plazo.

De acuerdo con la HCCN, *“[...] hay que ir adaptando todo el tejido construido a las nuevas condiciones mediante la regeneración y rehabilitación eficiente incorporando criterios de adaptación al cambio climático”*.

Conforme a la metodología propuesta en el primer entregable del proyecto [DC6.6_1 Informe Metodológico], el presente informe da respuesta al segundo objetivo del contrato: definir una serie de medidas de adaptación con el propósito de reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de la red de carreteras.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] define la capacidad de adaptación como la capacidad de los sistemas, las instituciones, los humanos y otros

organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias. Igualmente, el IPCC define la resiliencia como la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosa, respondiendo u organizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Una vez finalizadas las fases de identificación de los activos que conforman la carretera y sus riesgos [Entregable DC6.6_1] y el análisis de vulnerabilidad e identificación de puntos críticos [Entregable DC6.6_2], los nuevos trabajos se centran en definir aquellas actuaciones destinadas a mejorar la adaptación al cambio climático para tratar de contener y moderar los daños y aprovechar las oportunidades derivadas de la variabilidad climática. Las medidas propuestas en el presente documento buscan reforzar la integridad de la infraestructura para minimizar los cortes de circulación manteniendo los niveles de servicio, reducir la probabilidad de accidentes y garantizar la seguridad de los usuarios a corto, medio y largo plazo.

Dichas medidas presentan distintos enfoques. No solo se proponen intervenciones directas sobre los diversos activos en función del carácter del fallo identificado para cada punto crítico, sino que también se proponen recomendaciones destinadas a mejorar la gestión y la coordinación entre las secciones y los negociados implicados que permitan adelantarse a problemas con alta probabilidad de ocurrencia. El conjunto de medidas hará de la infraestructura de carreteras un sistema más sostenible y resiliente frente a los efectos del cambio climático.

En la Tabla 1-1 se muestra el resumen de los puntos críticos identificados para las distintas situaciones analizadas a partir de los mapas climáticos correspondientes a los escenarios pasados y futuros de Navarra.

Tabla 1-1. Relación de puntos críticos identificados. Fuente: DC6.6_2.

Activo	Impacto climático	Indicador [Daño]	Escenario				Carácter
			1961 - 1990	1991 - 2019	2021 - 2050	2051 - 2080	
Pavimentos [km]	Bajas temperaturas	Fisuración	93	103	12	0	Esperado
	Altas temperaturas	Roderos	0	0	0	2275	Esperado
	Precipitaciones intensas y humedad	Deformación	246	447	252	308	Estacional
Puentes [n.º]	Bajas temperaturas	Contracción	8	10	0	0	Estacional
	Altas temperaturas	Expansión	0	0	0	591	Estacional

Activo	Impacto climático	Indicador [Daño]	Escenario				Carácter
			1961 - 1990	1991 - 2019	2021 - 2050	2051 - 2080	
	Precipitaciones intensas	Socavación	89	139	77	101	Repentino
Obras drenaje [n.º]	Precipitaciones intensas	Obstrucción	161	226	123	151	Repentino
	Precipitaciones intensas y humedad	Degradación	161	226	123	151	Esperado
Obras de tierra [km²]	Precipitaciones intensas y humedad	Deslizamiento	0.72	0.85	0.63	0.61	Repentino
	Sequía y precipitaciones intensas	Erosión	2.45	2.76	2.63	2.81	Esperado
	Bajas temperaturas y humedad	Desprendimiento	0.02	0.03	0	0	Repentino
Boca de túnel [n.º]	Precipitaciones intensas y humedad	Filtraciones	57	98	48	56	Repentino
Arte [n.º]	Altas y bajas temperaturas	Deterioro	1	2	4	0	Esperado
	Precipitaciones intensas y humedad						

Los pasos seguidos en este tercer entregable se puede dividir en dos fases: una primera fase de análisis de la estructura organizativa de Navarra y revisión y consulta de bibliografía; y una segunda fase que consiste en la definición de una estrategia de adaptación que se ajuste a la situación particular de Navarra.

Este documento es previo al cuarto y último entregable en el que se diseñará el Plan de Intervención en infraestructuras o Plan de Acción. El Plan de Acción deberá evaluar la aplicabilidad de las medidas propuestas a través de un criterio de priorización y la cuantificación del beneficio y retorno de la inversión que permitan justificar su implementación. Se valora, entre otros, la mejora de las condiciones de explotación, la mejora de la seguridad de los usuarios y la reducción del coste de rehabilitación y/o reemplazo en caso de eventos extremos, así como, el aumento de la vida útil para aquellos casos en los que el problema es de carácter estacional o esperado.

2. REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR

Previo a la definición de medidas y actuaciones concretas, es necesario conocer cómo se organiza y coordina la Comunidad Foral de Navarra y, en especial, conocer las funciones de las distintas secciones que conforman la Dirección General de Obras Públicas e Infraestructuras, encargada de la gestión y planificación de la infraestructura de carreteras objeto del proyecto. Igualmente, es necesario conocer los órganos, planes y herramientas existentes en materia de cambio climático, así como la situación actual sobre la que se asentarán las futuras medidas.

2.1 Marco Normativo

Según lo establecido por la **Ley Orgánica 13/1982** de reintegración y mejoramiento del Régimen Foral de Navarra, el Artículo 49 reconoce a Navarra las competencias exclusivas en materia de carreteras y del transporte desarrollado por estos medios en territorio foral. Será, por tanto, el gobierno foral el encargado de la organización y gestión de la infraestructura de carreteras.

Además de la normativa específica anterior, se cuenta con legislación encargada de abordar los temas que envuelven al cambio climático dentro del territorio navarro, siguiendo las líneas de España y el compromiso internacional:

La **Ley Foral 4/2022** de Cambio Climático y Transición Energética define el marco normativo, institucional e instrumental para la acción climática y la transición a un modelo energético con una economía baja en carbono, basado en la eficiencia energética y en las energías renovables. Promueve la adaptación al cambio climático, para tratar de reducir la exposición, así como disminuir la vulnerabilidad de diversos sectores. Tal y como se recoge en el Artículo 65, habrá que prever medidas de adaptación a los impactos del cambio climático, así como su seguimiento y monitoreo. Se define el Fondo climático de Navarra como un instrumento para la ejecución de políticas y acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

En este sentido se desarrolla la **Hoja de Ruta de Cambio Climático de Navarra** [KLINa]. En este documento se elabora la estrategia ambiental donde se recogen y alinean todas las políticas sectoriales e incorpora los compromisos internacionales y europeos en materia de cambio climático.

2.2 Organización. Roles y responsabilidades

El actual Organigrama del Gobierno de Navarra es el que se muestra en el esquema de la Figura 1. Teniendo en cuenta las funciones desempeñadas por cada división, el presente proyecto se enmarca en la Dirección General de Obras Públicas e Infraestructuras y, más concretamente, dentro de los Servicios de Conservación y el de Estudios y Proyectos.

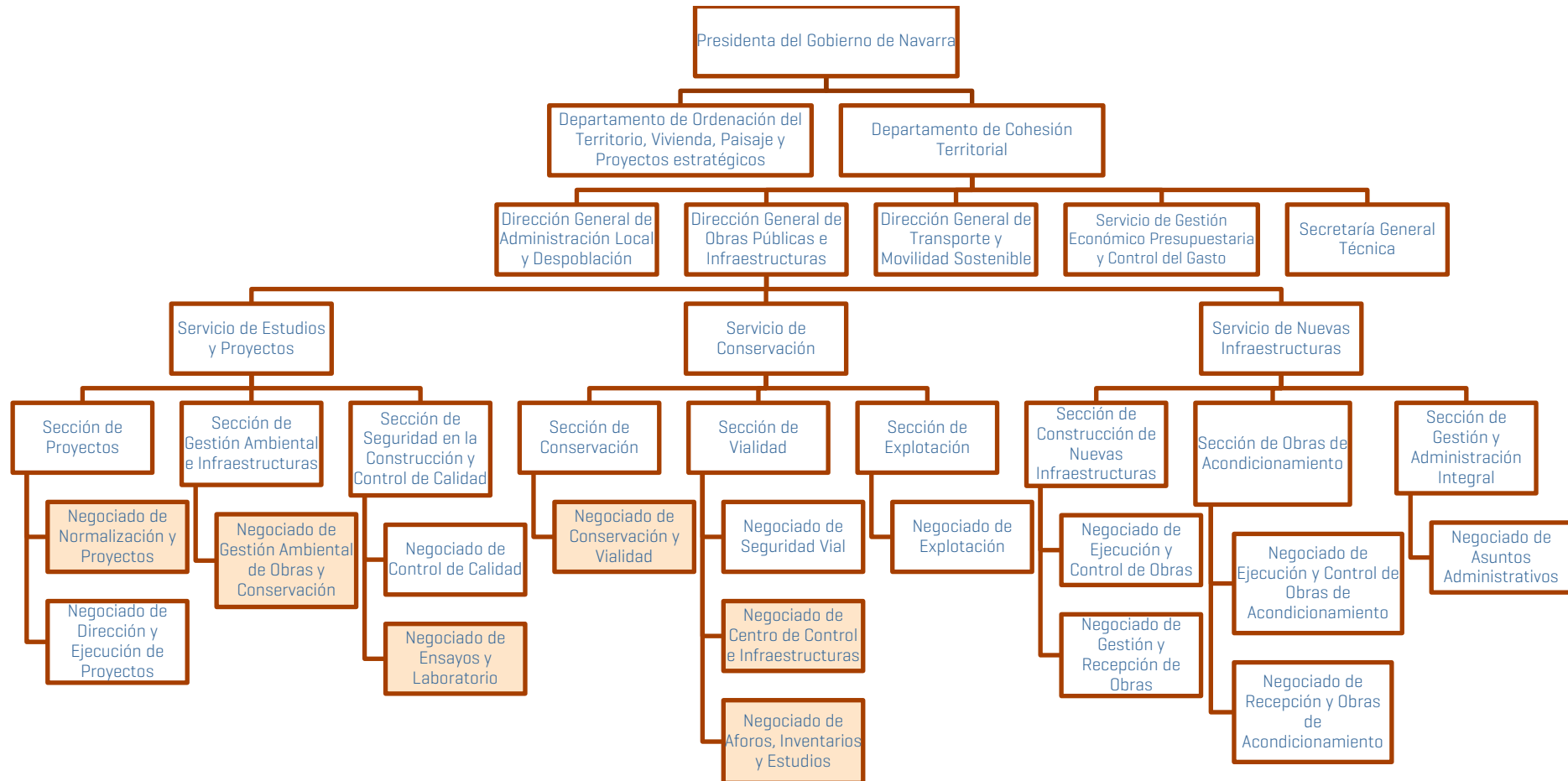


Figura 1. Organigramma de Navarra. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía.

De acuerdo con el **Decreto Foral 263/2019** por el que se establece la Estructura Orgánica del Departamento de Cohesión Territorial y la **Orden Foral 86/2022** del consejo de Cohesión Territorial, por la que se establece la estructura orgánica del Departamento de Cohesión Territorial a nivel de negociados, el Servicio de Conservación y el Servicio de Estudios y Proyectos de Navarra presentan la estructura que se recoge a continuación.

N Secciones del Servicio de Estudios y Proyectos

- Sección de Proyectos
 - **Negociado de Normalización y Proyectos**
 - Negociado de Dirección y Ejecución de Proyectos
- Sección de Gestión Ambiental de Obras y Conservación
 - **Negociado de Gestión Ambiental de Obras y Conservación**
- Sección de Seguridad en la Construcción y Control de Calidad
 - Negociado de Control de Calidad
 - **Negociado de Ensayos y Laboratorio**

N Secciones del Servicio de Conservación:

- Sección de conservación
 - **Negociado de Conservación y Vialidad Navarra Oeste**
 - **Negociado de Conservación y Vialidad Navarra Centro-Norte**
 - **Negociado de Conservación y Vialidad Navarra Sur**
 - **Negociado de Conservación y Vialidad Navarra Suroeste**
- Sección de explotación
 - Negociado de Explotación Zona Este
- Negociado de Explotación Zona Oeste
 - Sección de Vialidad
 - Negociado de Seguridad Vial
 - **Negociado de Aforos, Inventario y Estudios**
 - **Negociado de Centro de Control e Instalaciones**

Se resaltan en naranja aquellos Negociados cuyas funciones se ven relacionadas con los objetivos buscados por el presente proyecto.

De acuerdo con el Artículo 8 de la Orden Foral 86/2022, el Negociado de Normalización y Proyectos ejercerá las siguientes funciones:

- a) Establecimiento y comprobación de pautas generales para la redacción de los proyectos adaptados a las nuevas tecnologías y adaptación a la normativa vigente.
- b) Dirección de proyectos y estudios encargados a empresas consultoras.
- c) Realización de informes técnicos, urbanísticos y de afección a la programación o proyectos de la Red de Carreteras de Navarra.
- d) Apoyo a la jefatura de la Sección de Proyectos en las tareas de análisis de la viabilidad de trazados de proyectos y comprobación sobre el terreno.

- e) Análisis de las alegaciones relativas a bienes y derechos afectados en la fase de información pública de los proyectos.
- f) Aquellas otras que se le encomienden dentro del ámbito de su actividad.

De acuerdo con el Artículo 10 de la Orden Foral 86/2022, el Negociado de Gestión Ambiental de Obras y Conservación ejercerá las siguientes funciones:

- a) Control y gestión de las medidas relativas al tratamiento estético, ecológico y ambiental de las obras públicas.
- b) Gestión, en su caso, de las inversiones correspondientes a la integración medioambiental y ornamental de las obras.
- c) Asesoramiento a las direcciones de obra para la obtención de mejoras ambientales en materia de obras públicas.
- d) Gestionar y dirigir las relaciones de las direcciones de obra con las unidades administrativas competentes en materia de medio ambiente y patrimonio arqueológico.
- e) Aplicación del tratamiento adecuado para vertederos relacionados con las obras públicas.
- f) Mantenimiento, mejora y adecuación de las zonas verdes correspondientes a la Red de Carreteras de Navarra.
- g) Mantenimiento de los tratamientos medioambientales y ornamentales aplicados a la Red de Carreteras de Navarra y su entorno.
- h) Mantenimiento, mejora y adecuación de las áreas de descanso y parada.
- i) Plantación, mantenimiento y mejora de bosquetes y plantaciones para la mejora estética del entorno de las obras públicas.
- j) Gestión y aplicación de normas de implantación y mantenimiento en tratamiento vegetal de taludes.
- k) Informes y memorias estadísticas.
- l) Aquellas otras que se le encomienden dentro del ámbito de su actividad.

De acuerdo con el Artículo 12 de la Orden Foral 86/2022, el Negociado de Ensayos y Laboratorio ejercerá las siguientes funciones:

- a) Ensayos de firmes.
- b) Auscultación de firmes [viga Benkelman, deflectógrafo, etc.].
- c) Control de permeabilidad en firmes drenantes.
- d) Control de calidad en señalización y balizamiento.
- e) Realización de ensayos químicos [pinturas, ligantes bituminosos, etc.].
- f) Aquellas otras que se le encomienden dentro del ámbito de su actividad.

De acuerdo con el Artículo 19 de la Orden Foral 86/2022, los Negociados de Conservación y Vialidad de Navarra Oeste, Navarra Centro-Norte, Navarra Sur y Navarra Suroeste realizan, en cada una de las áreas geográficas asignadas, las siguientes funciones:

- a) Confección de programas de conservación de la Red de Carreteras de Navarra
- b) Gestión y seguimiento de los contratos de conservación
- c) Planificación y control de las labores de conservación realizadas por medios propios.
- d) Atención a actuaciones urgentes de la Red de Carreteras de Navarra que afecten al Servicio.
- e) Planificación, organización y control de la vialidad invernal.
- f) Desarrollo de lo estipulado en los Planes de actuación e intervención en la relación con la atención de incidentes en la Red de Carreteras de Navarra y vialidad invernal, con incorporación al régimen de turnos que se establezca en dichos Planes.
- g) Supervisión y control de los medios móviles, fijos e inmuebles asignados a la Sección de Conservación.
- h) Conservación de la señalización vertical y de balizamiento de la Red de Carreteras de Navarra.
- i) Apoyo a las labores de explotación de la Red de Carreteras de Navarra.
- j) Intervención y control en materia de defensa de las Carreteras de Navarra.
- k) Tramitación de autorizaciones de obras del Servicio de Conservación.
- l) Colaboración con las unidades competentes para la planificación y la teletramitación de los formularios y modelos de tramitación de solicitudes.
- m) Relación y coordinación con organismos y entidades.
- n) Elaboración de proyectos y realización y gestión de obras relacionadas con las labores de conservación integral en la Red de Carreteras de Navarra, incluidos los refuerzos de aglomerado, los convenios de reforma de travesías y las mejoras de puntos singulares.
- o) Elaboración de inventarios, informes, estadísticas y memorias.
- p) Supervisión y control de los tramos de Autovías en concesión por el sistema de peaje en sombra.
- q) Aquellas otras que se les encomienden dentro del ámbito de su actividad.

De acuerdo con el Artículo 22 de la Orden Foral 86/2022, el Negociado de Aforos, Inventarios y Estudios ejerce las siguientes funciones:

- a) Elaboración del Plan de Aforos anual correspondiente a la Red de Carreteras de Navarra.
- b) Estudios de tráfico, información técnica y estadística.
- c) Mantenimiento y control de las estaciones de aforos existentes en la Red de Carreteras de Navarra.
- d) Supervisión y control de aforos de los tramos de Autovías en concesión por el sistema de peaje en sombra.
- e) Participación en los Comités Técnicos que se designe.
- f) Relación con organismos y particulares.
- g) Aquellas otras que se le encomienden dentro del ámbito de su actividad.

De acuerdo con el Artículo 23 de la Orden Foral 86/2022, el Negociado de Centro de Control e Infraestructuras ejerce las siguientes funciones:

- a) Participación en la Dirección de los contratos de explotación y mantenimiento de las instalaciones del Centro de Control, túneles, alumbrado y semáforos de la Red de Carreteras de Navarra, incluidos los tramos en régimen de concesión de obras públicas.
- b) Comprobación de la viabilidad de los proyectos y de las obras de explotación y mantenimiento de las instalaciones del Centro de Control, túneles, alumbrado y semáforos de la Red de Carreteras de Navarra, incluidos los tramos en régimen de concesión de obras públicas.
- c) Control cualitativo y de seguridad.
- d) Control y supervisión de los equipos y medios humanos asignados a los contratos de explotación y mantenimiento de las instalaciones afectas al Centro de Control de la Red de Carreteras de Navarra.
- e) Elaboración de modificaciones en las instalaciones a su cargo.
- f) Elaboración de relaciones valoradas, certificaciones y liquidaciones y participación en recepciones.
- g) Elaboración de informes.
- h) Seguimiento de proyectos ajenos relacionados con sus funciones.
- i) Cooperación en las labores de cumplimiento de los contratos de concesión de obras públicas.
- j) Relación con organismos y particulares.
- k) Aquellas otras que se le encomienden dentro del ámbito de su actividad.

2.3 Metas

Dentro de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible** de las Naciones Unidas, es posible alinear el proyecto con el objetivo número 9: INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURAS. Una de las metas del objetivo 9 es “desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar al desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.”. Este objetivo se incluye igualmente en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de Navarra, a través del cual Navarra desarrolla sus propios instrumentos de planificación.

En materia de adaptación y dentro del marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021 – 2030, el Gobierno de Navarra promueve:

-  Establecer los mecanismos para un seguimiento de los cambios y en la medida que sea posible anticiparse a ellos y reducir su potencial impacto.
-  Fomentar la I+D+i para un mejor conocimiento de los impactos del cambio climático en el medio ambiente, las infraestructuras, la actividad económica, la salud y el bienestar, así como para el diseño de actuaciones más efectivas e igualitarias.
-  Establecer la coordinación administrativa en la lucha contra los efectos del cambio climático.

- N** Aplicar las medidas para minimizar los impactos.
- N** Informar, sensibilizar y dar apoyo a los agentes sociales en su transformación para hacer de la Comunidad Foral de Navarra un territorio más resiliente.
- N** Establecer la revisión de los planes de los diferentes sectores de actividad sectoriales para la incorporación de las medidas de adaptación al cambio climático.
- N** Fomentar medidas para la reducción del consumo de agua.

Por su parte, los objetivos de adaptación definidos en la HCCN son:

- N** Maximizar y Facilitar la coordinación administrativa en la lucha contra los efectos del cambio climático.
- N** Adecuar los escenarios a la realidad navarra: vulnerabilidades significativas, evaluación de riesgos y análisis transversal de ámbito regional y local.
- N** Reducir los efectos del cambio climático en las áreas de actuación de medio natural, urbano y rural, y en su relación con el agua, forestal-biodiversidad, agrícola, salud, infraestructuras y planificación territorial.
- N** Sensibilizar, investigar y facilitar que Navarra sea un territorio resiliente.

En definitiva, las metas se pueden resumir en reducir la exposición, sensibilidad y vulnerabilidad; y mejorar la prevención y gestión de emergencias climáticas.

Por su parte, el objetivo principal del proyecto LIFE-IP NAdapta-CC [2017-2025] es aumentar la resiliencia frente al Cambio Climático de Navarra, con el objetivo específico de contribuir a la ejecución de la HCCN. Persigue facilitar el trabajo corporativo entre diferentes departamentos del Gobierno de Navarra y empresas públicas de forma que se contribuya a implementar estrategias y que las diferentes políticas sectoriales incorporen en su programación y proyectos la lucha frente al cambio climático.

2.4 Punto de partida

A través de los encuentros llevados a cabo entre el Director del Servicio de Conservación e INES Ingenieros ha sido posible conocer cómo se llevan a cabo las tareas de operación, explotación y mantenimiento en la Red de Carreteras de la Comunidad Foral actualmente.

En primer lugar, en lo que a la planificación de campañas de inspecciones se refiere, el Servicio de Conservación se centra en las denominadas “infraestructuras críticas”, es decir, túneles y puentes. En el caso de los puentes, se programan inspecciones anuales, mientras que en el caso de los túneles son inspecciones o revisiones periódicas. Para el resto de las estructuras y activos que conforman la infraestructura de carreteras no existe una programación o previsión de visitas o actuaciones, únicamente se revisan o inspeccionan aquellos elementos sobre los que se ha notificado previamente algún tipo de deterioro apreciable o fallo.

El modo en el que se ejecutan dichas inspecciones es manual, es decir, cuentan con una serie de fichas que se complementan durante las actividades de inspección y en reuniones posteriores, pero que no se encuentran digitalizadas. A partir de dichas fichas se procede a la planificación de actuaciones para los diferentes elementos de acuerdo con las necesidades y carencias observadas.

En el caso de detectar deterioros o fallos importantes se elaboran estudios específicos sobre cada elemento concreto, con el objetivo de identificar y comprender los problemas y fallos existentes y proporcionar una solución particularizada a cada caso.

En cuanto a la operación de la red, La Dirección General de Obras Públicas e Infraestructuras cuenta con una red de estaciones meteorológicas propia distribuida por el territorio navarro y a partir de los datos registrados un proveedor se encarga del servicio de Alertas Meteorológicas. Esto permite identificar las áreas expuestas a algún tipo de riesgo climático y tomar así las medidas pertinentes en materia de seguridad del usuario. Adicionalmente dispone de una red de cámaras de vigilancia de cara a conocer el estado de la red en tiempo real.

Una vez se conoce la situación actual de la red de carreteras en términos de gestión y planificación del mantenimiento, es posible definir una estrategia de adaptación al cambio climático particularizado en el contexto de Navarra.

3. INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Se ha llevado a cabo la revisión de información de referencia de cara a identificar ciertas pautas o criterios para una correcta identificación de estrategias y medidas de adaptación que puedan adecuarse a la situación de Navarra de acuerdo con los activos analizados y las acciones climáticas consideradas, y que hagan frente a las vulnerabilidades descritas en entregables previos. Se han examinado las guías y recomendaciones siguientes:

- N** **Marco Internacional para la adaptación de la infraestructura de carreteras ante el Cambio Climático de la Asociación Mundial de la Carretera [PIARC].** El documento busca guiar a las autoridades de carreteras a través de la identificación de los activos relevantes y las variables climáticas para su evaluación, identificación y priorización de riesgos, así como el desarrollo de una respuesta de adaptación robusta e integrar la evaluación de resultados en los procesos de toma de decisiones. El marco propone un enfoque iterativo a lo largo del ciclo de vida del activo para la adaptación al cambio climático, para lo que se apoya en el conocimiento disponible a nivel internacional sobre el tema. El marco es aplicable a cualquier país y región independientemente de su situación económica, ambiental, social, climática y geográfica. Se definen cuatro etapas de trabajo: la primera de identificación de alcance, variables, riesgos y datos; una segunda etapa de evaluación y priorización de riesgos, una tercera etapa de desarrollo y selección de respuestas y estrategias de adaptación; y una cuarta etapa de integración de resultados en el proceso de toma de decisiones.
- N** **ROADAPT. *Roads for today, adapted for tomorrow. Guidelines. Conference of European Directors of Roads [CEDR].*** La guía se basa en el marco de trabajo definido por el RIMAROCC [*Risk Management for Roads in a Changing Climate*] formado por siete escalones principales (ver Figura 2) y que constituyen un proceso iterativo. El documento proporciona los cinco pasos que se deben considerar en las labores de evaluación del riesgo de cambio climático:

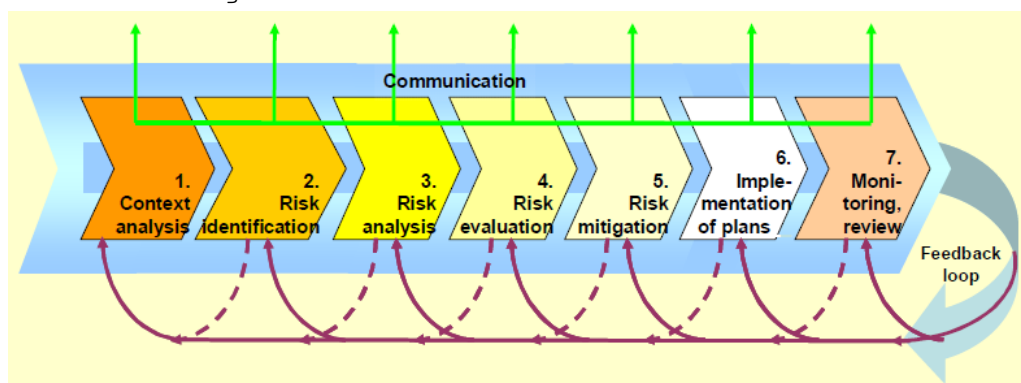


Figura 2. Marco de trabajo del RIMAROCC.

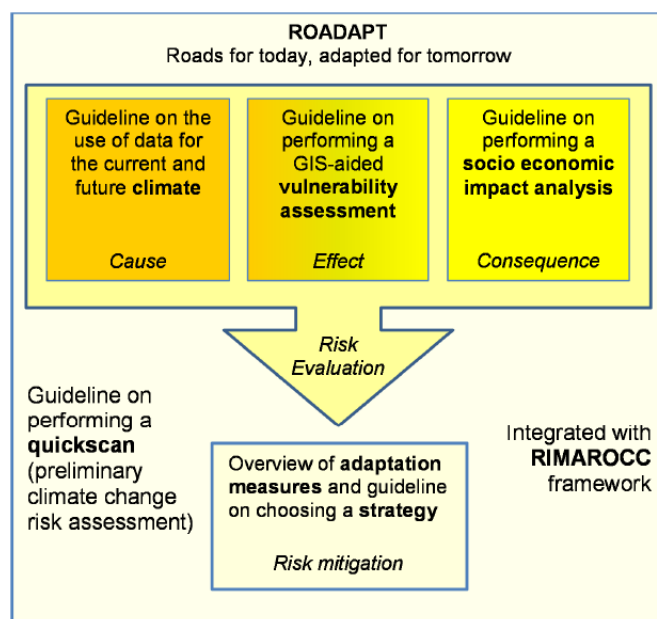


Figura 3. Estructura del ROADAPT.

- N** *Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes* de las Naciones Unidas. Un grupo de expertos en cambio climático analiza las variables climáticas que suponen una afección a los activos de las principales redes de transporte dentro de la región de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa. Las experiencias aprendidas permiten desarrollar una serie de recomendaciones y acciones futuras destinadas a aumentar la resiliencia de las redes de transporte frente al cambio climático. Buscan concienciar sobre la importancia de considerar el cambio climático en múltiples etapas y asesorar sobre la gestión de activos a nivel local.
- N** *Vulnerability Assessment and Adaptation Framework. Federal Highway Administration [FHA]. Office of Planning, Environment, & Realty.* El manual busca guiar a las agencias de transporte en la tarea de identificación de las vulnerabilidades de las infraestructuras de transporte y los efectos causados por eventos climáticos extremos. El marco describe los pasos básicos para evaluar la vulnerabilidad, estos son: definir los objetivos y alcance del estudio, recopilar los datos de los activos, recopilar información climática, evaluar la vulnerabilidad, identificar, analizar y priorizar las opciones de adaptación, incorporar la evaluación en la toma de decisiones y los procesos de monitoreo y control.

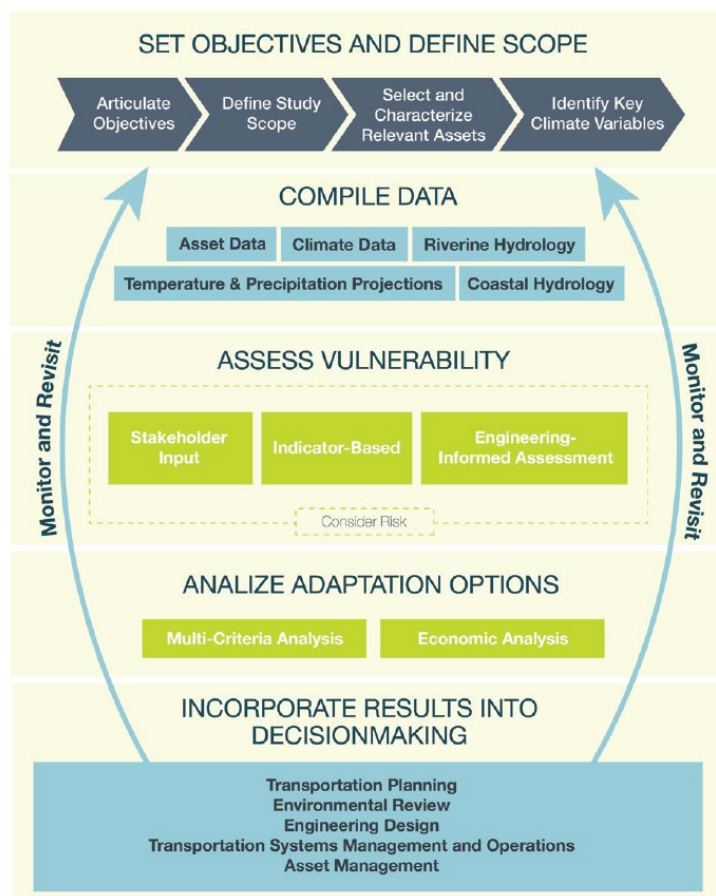


Figura 4. Marco de trabajo propuesto por la FHWA.

- N** *International Infrastructure Management Manual* (IIMM) 2020.
- N** **Guía de Buenas Prácticas para la Adaptación de las carreteras al Clima del Banco de Desarrollo de América Latina.** Define un procedimiento de trabajo basado en cuatro escalones a través de los cuales se trata de prever los efectos adversos del clima e implementar las medidas que permitan evitar o minimizar los daños y, a su vez, maximizar la rentabilidad de las inversiones. Las medidas de adaptación, tanto para carreteras en proyecto como la red en servicio, se clasifican desde dos puntos de vista: la planificación estratégica y medidas específicas. Además, esta guía proporciona múltiples fichas resumen que ilustran las medidas de adaptación de las carreteras al cambio climático que se proponen a lo largo del documento.



Figura 5. Procedimiento de trabajo propuesto en la Guía de Buenas Prácticas para la Adaptación de las carreteras al Clima.

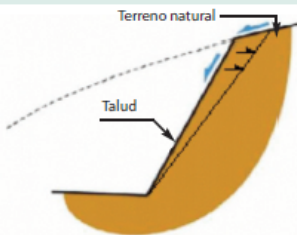
MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES			
	CÓDIGO: T-1	CATEGORÍA: TALUDES	FASE DE APLICACIÓN: ➤ MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE CARRETERAS
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	Alteraciones de los taludes de las carreteras producidas por la acción de la intemperie, fundamentalmente el agua, combinadas con un exceso de verticalización de los mismos para el tipo de material existente en cada caso.		
PROPUESTA DE ACCIÓN	Tendido de taludes existentes (menor inclinación), empleo de plantaciones u otros tipos de protección frente a su estabilidad superficial.		
¿DÓNDE?	Áreas con desmontes fácilmente excavables y laderas de pendientes reducidas, de menor valor ambiental y visual, y alta pluviometría o zonas donde se produzcan eventos climáticos recurrentes (por ejemplo, el Niño costero).		
			
Fuente: Elaboración Propia.			
 VENTAJAS		 INCONVENIENTES	
➤ Menor costo de mantenimiento. ➤ Mejora de la transitabilidad al reducir la probabilidad de cortes en la vía. Muy importante en las carreteras que formen parte de ejes estratégicos de transporte (logística, turismo, agroindustria, entre otros).		➤ Incremento de coste de excavación y transporte de material. ➤ Mayor ocupación del terreno colindante. La menor verticalidad de los taludes puede conllevar un aumento considerable de las secciones de corte (menos adaptadas a la orografía del entorno), por lo que se hace necesario encontrar el equilibrio en la solución final adoptada.	
ACTUACIONES SEGUIMIENTO/ CONTROL		Indicadores: ➤ % Superficie de talud afectada por pérdida de inclinación teórica (socavación / aterramientos) / superficie total de talud. Niveles: Desprendimientos pequeños - Desconchones < 1 m² – Desconchones < 2 m² – Desconchones < 5 m². ➤ Plantaciones: estado de plantaciones (necesidad de podas, siegas, limpieza general), evolución y grado de enraizamiento, grado de adecuación a la climatología. Periodicidad: revisión anual.	

Figura 6. Ejemplo ficha resumen de medidas de adaptación.

N Marco Metodológico para la Adaptación de la Infraestructura Carretera ante el Cambio Climático en México, del Instituto Mexicano del Transporte. El documento busca guiar a las organizaciones de carreteras en el proceso de adaptación al cambio climático en el caso particular de México, dando a conocer los fenómenos meteorológicos extremos que pueden afectar a la vialidad. El Marco se basa en tres aspectos: los requerimientos legales y normativos, las políticas sectoriales y las necesidades de hacer frente a los impactos del clima observados en México. Estos aspectos se consideran durante las fases de planeación, construcción, operación y mantenimiento de la red. Divide el proceso de adaptación en cinco etapas: Identificación de riesgos, evaluación de vulnerabilidad, análisis de riesgo, determinación de las medidas de adaptación y priorización de las medidas de adaptación. Estas etapas dan paso a la fase de implementación y monitoreo de las medidas propuestas.



Figura 7. Etapas propuestas en el Marco Metodológico para la Adaptación de la Infraestructura Carretera ante el Cambio Climático en México.

4. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

La segunda fase del documento consiste en definir una Estrategia de Adaptación que permita hacer frente a los efectos nocivos debidos al cambio climático sobre la red de carreteras de Navarra.

De acuerdo con el IPCC, las medidas de adaptación al cambio climático se pueden agrupar en las siguientes categorías:

N Medidas institucionales

- Medidas de regulación, como leyes u ordenanzas que favorezcan la adaptación de la red de carreteras.
- Medidas de gobernanza, como diseño de políticas o programas, incluidas la financiación o incentivos económicos para la adaptación de la red.

N Medidas sociales

- Medidas de intervención pública, incluidos la formación técnica, sensibilización y planes de emergencia.
- Medidas de generación del conocimiento, como la digitalización de activos, la modelización de efectos de cambio climático, análisis de vulnerabilidad y creación de gemelos digitales.

N Medidas estructurales

- medidas estructurales duras: barreras o elementos físicos incorporados para mejorar la perdurabilidad del activo.
- Medidas estructurales blandas o tecnológicas, como soluciones basadas en la naturaleza, pavimentos frescos o de alta reflectancia solar, o Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles [SUDS], etc.

Teniendo presente la clasificación del IPCC, se proponen los siguientes grupos de medidas.

4.1 Medidas institucionales

La primera tarea para elaborar la Estrategia de Adaptación es garantizar un entorno colaborativo y eficaz que haga posible la implantación y puesta en marcha de actividades y medidas de adaptación adecuadas. Estas son las medidas de regulación y las institucionales.

N Medidas de regulación. Se realizarán las modificaciones necesarias en las leyes, reglamentos, ordenanzas y normas técnicas existentes para considerar la variabilidad climática. Incluye acciones tales como la redacción de Planes para la Gestión de las Aguas de Escorrentía, evitar cambios en el uso del suelo que puedan afectar negativamente a un tramo de carretera o la Evaluación Ambiental Estratégica [EAE].

N Medidas de gobernanza. Debe existir un compromiso institucional que permita definir políticas, planes y programas nacionales y regionales y las asignaciones presupuestarias correspondientes de una manera coordinada. Incluye programas de

inversión tales como Programas para la Gestión de Desastres, que, en caso de evento extremo, permitan devolver la red a su estado normal lo antes posible; Sistemas de Alerta Temprana y de Información Meteorológica para gestores y usuarios; implementar registros y monitorización de información climática o Sistemas Inteligentes de Transporte [ITS]. De acuerdo con la Dirección General de Tráfico [DGT], los ITS son aquellas aplicaciones que permiten mejorar la seguridad vial y eficiencia de la gestión del tráfico por carretera. Algunos ejemplos de sistemas son: desvío automatizado por condiciones meteorológicas adversas, desvío automatizado en infraestructuras singulares por incidentes, accidentes o catástrofes naturales o sistema para el guiado del tráfico en condiciones de meteorología adversa.

4.1.1 Medidas de regulación

Se proponen las siguientes actividades:

- N** Potenciar la estandarización para la adaptación al clima. Exigencias en códigos técnicos.
- N** Introducir nuevas condiciones en los contratos de proyectos.
- N** Desarrollar normativas, recomendaciones y guías de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima.
- N** Planificación urbanística: gestión del uso del suelo en las áreas adyacentes a la red.
- N** Elaboración de planes para la gestión del agua superficial y los riesgos de inundación.

4.1.2 Medidas de gobernanza

Se proponen las siguientes actividades:

- N** Identificar posibles fuentes de financiación.
- N** Invertir en la gestión de activos.
- N** Desarrollar planes y programas específicos de adaptación al clima para la red: Planes de emergencia comunitarios.
- N** Estudios de inundación a pequeña escala y estudios de drenaje. Inundación fluvial y pluvial para los escenarios de cambio climático.
- N** Realizar una valoración económica del impacto de los desastres naturales relacionados con el clima en la red.
- N** Previsión y asignación presupuestaria de las acciones de adaptación de la red al clima.
- N** Contratos de mantenimiento.
- N** Incorporar perfiles profesionales adecuados a las acciones de adaptación de la red al clima.
- N** Programas formativos.
- N** Establecer grupos de trabajo específicos para que las propuestas sean incorporadas.
- N** Aportaciones de personas y grupos con conocimiento local y experiencia en la materia.
- N** Coordinación con Protección Civil.

4.2 Medidas sociales

Por su parte, las medidas sociales recopilan medidas de concienciación dirigidas a los ciudadanos como medidas que promueven e incentivan trabajos de investigación y el intercambio de conocimiento entre entidades expertas en las materias implicadas.

- N Medidas de concienciación.** Buscan dar a conocer las implicaciones derivadas de la variabilidad climática y la necesidad de adaptación tanto a los agentes implicados directamente en la gestión de las carreteras como a la población en general. Uno de los objetivos perseguidos es la sensibilización de las personas en el ámbito del cambio climático.
- N Investigación e intercambio de conocimiento.** Promover investigaciones para el seguimiento de la evolución del clima de cara a reducir la incertidumbre y que, a su vez, facilite la construcción de una base de datos lo más completa posible compuesta por el inventario de activos y su estado y procedimientos de conservación. Promover proyectos de I+D+i y el intercambio de las lecciones aprendidas entre organismos.

4.2.1 Medidas de concienciación

Se proponen las siguientes actividades:

- N** Estrategias de comunicación para los ciudadanos. Programas y medidas de sensibilización, formación y comunicación.
- N** Divulgación. Los riesgos e impactos derivados del cambio climático, así como las respuestas planteadas para evitarlos o reducirlos, deben ser trasladados desde los lenguajes científico, técnico y administrativo a formatos comprensibles y significativos para el conjunto de la ciudadanía. En este proceso juegan un papel esencial los medios de comunicación y también los divulgadores sociales, así como el ámbito de la cultura y el arte [PNACC 2021 - 2030].

4.2.2 Medidas de generación de conocimiento

Se proponen las siguientes actividades:

- N** Recopilar, analizar y sistematizar la información climática disponible. Crear una base de datos. Aplicar la información en trabajos de valorización de los datos.
- N** Monitorización y seguimiento de activos de forma permanente: sensores de medición de deformaciones y agrietamiento y evolución de la geometría de las secciones.
- N** Sondeos, auscultación, seguimiento y ensayos in situ o laboratorio.
- N** Crear redes de transferencia de conocimiento.
- N** Programas de innovación y desarrollo.
- N** *Digital twin.* Desarrollo de gemelos digitales en aquellas áreas en las que una inspección visual no es capaz de detectar el potencial problema.
- N** Implantación de sistemas de alerta temprana.

N Elaborar mapas de amenazas. Ejemplo: mapa de inundación y no sólo de precipitación.

4.3 Medidas organizativas – Asignación de tareas

Una vez se ha adquirido un conocimiento suficiente sobre los roles y responsabilidades de los Negociados implicados en el alcance del proyecto, se propone una serie de tareas particularizadas a las funciones de cada Negociado. Estas tareas van enfocadas a mejorar el seguimiento y la planificación de la red, facilitando a su vez la coordinación entre las distintas secciones haciendo de la carretera una infraestructura menos vulnerable o, lo que es lo mismo, más resiliente.

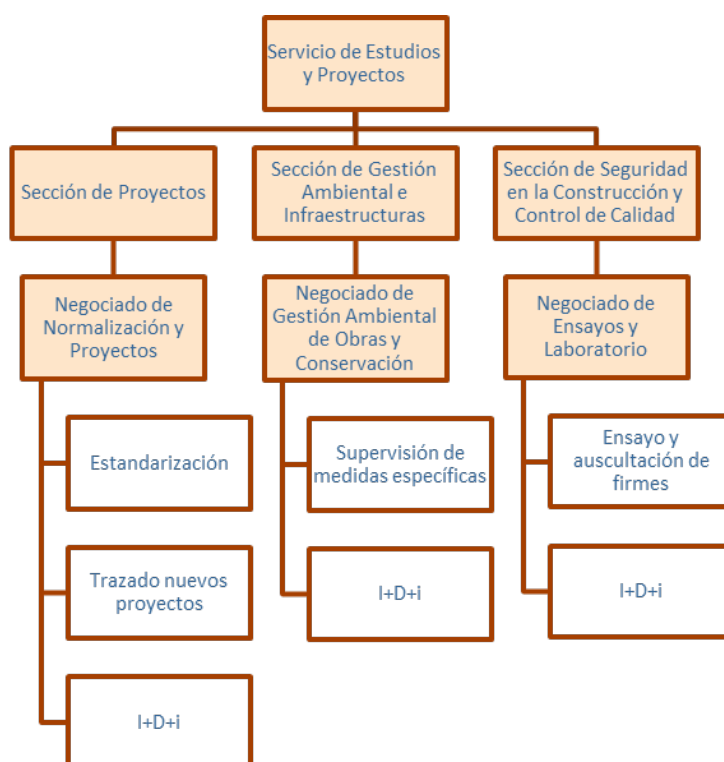


Figura 8. Esquema de tareas para el Servicio de Estudios y Proyectos. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Negociado de Normalización y Proyectos

La Estrategia de Adaptación para este Negociado va encaminada a realizar actividades de **estandarización** en los diseños, estableciendo y comprobando las distintas pautas de redacción de proyectos con el fin de que se ajusten a las necesidades futuras de los activos en términos de cambio climático. Estas pautas deberán buscar que los nuevos trazados sean lo menos vulnerables posibles, ya sea reduciendo la exposición o reduciendo su sensibilidad.

Igualmente, se encargará de estudiar la viabilidad del **trazado de nuevos proyectos**, velando por que dichas propuestas se ubiquen, en la medida de lo posible, en áreas con menores riesgos climáticos. La idea es que en el proyecto de nuevas vías se tenga en consideración las recomendaciones del presente estudio, de modo que el nuevo trazado sea lo menos vulnerable

posible y, pese a que es inevitable que pueda verse expuesto a eventos climáticos extremos en algún momento, la infraestructura presentará las propiedades suficientes para adaptarse a dicha posible variabilidad.

4.3.2 Negociado de Gestión Ambiental de Obras y Conservación

La Estrategia de Adaptación para este Negociado va encaminada a la **supervisión de las medidas específicas** definidas para los distintos activos, verificar su buen desempeño en términos del valor ambiental y estético de la región. Se pondrá especial interés en las infraestructuras verdes y los sistemas de drenaje sostenible como elemento que, no solo tienen una función estética, sino que además contribuyen a la protección de la carretera.

4.3.3 Negociado de Ensayos y Laboratorio

La Estrategia de Adaptación para este Negociado va encaminada a la planificación y ejecución de campañas de **ensayo y auscultación de firmes** bien durante la construcción de una nueva carretera, bien durante las fases de inspección de la red existente, en coordinación con otros Negociados. En estos ensayos se busca caracterizar la calidad y el estado del firme de la red de cara a planificar futuras actuaciones y, a su vez, verificar la calidad de las actuaciones que se vayan ejecutando.

Por otra parte, en lo que al Servicio de Conservación respecta, se proponen las siguientes tareas:

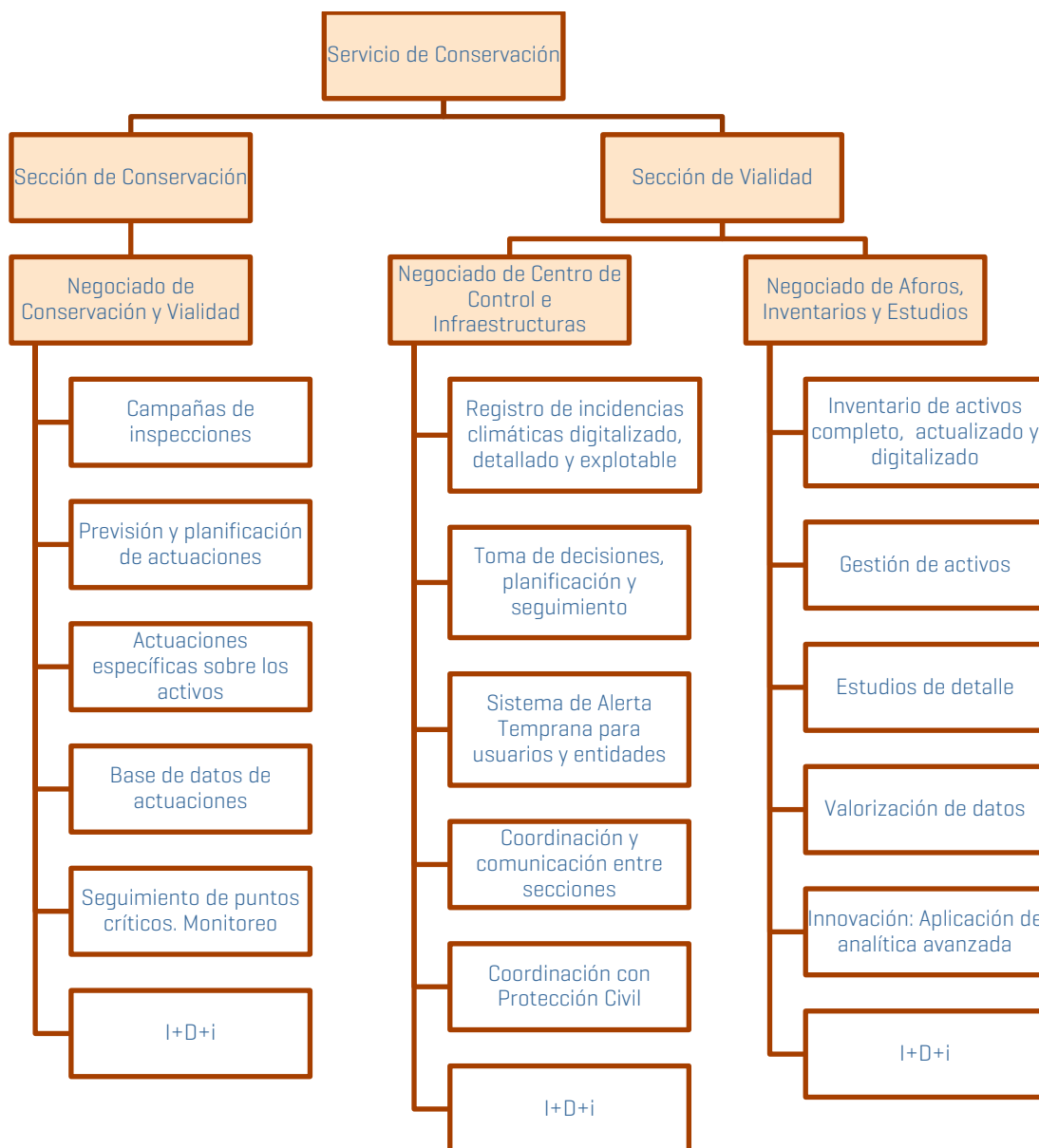


Figura 9. Esquema de tareas para el Servicio de Conservación. Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Negociado de Conservación y Vialidad

La Estrategia de Adaptación para este Negociado va encaminada a proporcionar un conocimiento amplio y detallado del estado de conservación de las carreteras de la Comunidad Foral. Para ello, se encargará de la **planificación de campañas de inspecciones**, en vista de las necesidades de los distintos activos estudiados. Estas campañas no sólo permitirán vigilar el estado de la red, sino que también se deberán destinar a proporcionar la información necesaria para las tareas de inventariado de activos de otros Negociados.

En vista de las campañas de inspecciones llevadas a cabo, la siguiente tarea sería la **previsión y planificación de actuaciones** de acuerdo con las necesidades o carencias observadas en la

red y prestando especial atención a los puntos críticos identificados por el proyecto. Teniendo como objetivo la implantación de actuaciones específicas sobre los activos (ver epígrafe de Medidas) en coordinación con Negociados como el de Ensayos y Laboratorio y el de Aforos, Inventarios y Estudios y sumado al Plan de Acción que se desarrollará en el entregable siguiente, se organizarán y priorizarán las actuaciones.

Todos los trabajos anteriores permitirán obtener una base de datos de actuaciones, donde quede registrada cada una de las intervenciones puestas en marcha, la justificación y los objetivos alcanzados y que, a su vez, sirva como herramienta para hacer más robusto el inventario de activos que corre a cargo del Negociado de Aforos, Inventarios y Estudios.

Por último, para cerrar el círculo de actividades, este Negociado se encargará del seguimiento de puntos críticos y monitoreo. A través del seguimiento y monitoreo será posible identificar las nuevas necesidades de los activos, retornando a la fase inicial de planificación de campañas de inspecciones. Es deseable monitorizar aquellos activos cuyo deterioro o fallo potencial puedan implicar riesgos importantes, bien porque su estado no sea el idóneo o bien por tratarse de un elemento clave en el conjunto de la red de carreteras. Esto puede llevarse a cabo mediante una periodicidad mayor de inspecciones, implementación de instrumentación o incluso mediante el diseño de gemelos digitales.

4.3.5 Negociado de Centro de Control e Infraestructuras

La Estrategia de Adaptación para este Negociado va encaminada, primeramente, a desarrollar un registro de incidencias climáticas digitalizado, detallado y explotable que sirva como base de trabajo. Este registro debe de ser tan detallado como sea posible y ha de estar en constante actualización, empleando criterios comunes para identificar cada tipo de incidencia de modo que sea posible distinguir incidencias por fecha, evento climático, activo afectado, nombre, categoría de la carretera o región. Toda esta información será de gran utilidad para el resto de los Negociados. Una vez se vea cubierta la relativa escasez de información, se propone el desarrollo y puesta en marcha de un Sistema de Alerta Temprana para usuarios y entidades. El Sistema debe de ser una herramienta coordinada por la Dirección General de Obras Públicas e Infraestructuras de la mano con la Dirección General de Transporte y Movilidad Sostenible destinada a usuarios y otras entidades interesadas. Este Sistema se debe alimentar del registro de incidencias climáticas y de aquellas alertas climáticas emitidas por organismos como AEMET. La herramienta servirá no solo para informar a las personas interesadas, sino que también facilitará las tareas de Gestión de Alertas ocasionadas en la red por causas climáticas.

De la mano con lo anterior, este Negociado se encargará de la toma de decisiones, planificación y seguimiento de actividades de cara a coordinar las labores del resto de los Negociados involucrados.

En este sentido, es fundamental una buena coordinación y comunicación entre las secciones y los Negociados implicados, que permita aprovechar los trabajos previos y la información

recopilada por cada uno de estos, así como para evitar solapamientos innecesarios y tareas duplicadas.

La comunicación no solo debe de ser efectiva entre secciones del Gobierno, sino que también debe coordinarse con otras entidades y organizaciones involucradas. En temas de seguridad del ciudadano y unido a la gestión de alertas, es esencial la **coordinación con Protección Civil**.

4.3.6 Negociado de Aforos, Inventarios y Estudios

La Estrategia de Adaptación para este Negociado va encaminada a la elaboración de un **inventario de activos completo, actualizado y digitalizado** que incluya las características particulares de cada uno de los elementos y su estado de conservación. Por tanto, además de complementar los activos que actualmente se encuentran digitalizados en el portal idena, se considera necesario llevar a cabo trabajos de inventariado de las obras de drenaje transversal y longitudinal, que actualmente no existe.

De cara a futuros **estudios de detalle** sería deseable disponer de una mayor cantidad de información referente a cada uno de los activos que constituyen la red de carreteras de Navarra. Las características más esenciales en el caso de los pavimentos serían los materiales, su estado de conservación y las actuaciones de mantenimiento o reparaciones llevadas a cabo y sus fechas. En el caso de los puentes, la tipología de cada obra, dimensiones, tipo de cimentación, los materiales que lo conforman, año de construcción, actuaciones llevadas a cabo y estado de conservación correspondiente a la última inspección. En cuanto a las obras de drenaje, los materiales de la obra, dimensiones y tipología; y en el caso de las obras de tierra, completar el inventario, intervenciones llevadas a cabo y materiales que lo conforman.

En definitiva, se considera imprescindible mejorar la **gestión de activos** y los sistemas de gestión siguiendo guías y normativas como son el *International Infrastructure Management Manual* (IIMM) o la ISO 55002, respectivamente.

De la mano de la gestión de activos se encuentra el término conocido como **valorización de datos**. Esto consiste en explotar la información registrada por los diferentes Negociados de Navarra que intervienen, en este caso, de alguna u otra manera en actividades que envuelven a la infraestructura de carreteras.

Una correcta gestión de activos y su valorización hará más sencillas y eficaces las labores de gestión de riesgos, la eficiencia financiera, facilita la toma de decisiones y mejora el servicio proporcionado a los usuarios.

Una vez estén cubiertas las actividades más esenciales, el siguiente paso que se propone consiste en la implantación de estrategias de gestión preventiva mediante la **aplicación de analítica avanzada** sobre toda la información recopilada. En este punto es esperable contar con un inventario amplio de activos, inspecciones, actuaciones realizadas e incidencias registradas a partir del cual es posible definir las relaciones o condiciones que permitan

identificar aquellos elementos que serán más susceptibles a sufrir deterioros o fallos en un futuro, de acuerdo con sus características. La analítica avanzada facilita las labores de priorización de actuaciones e intervenciones en la red.

Asimismo, desde cada uno de los Negociados se promoverán los proyectos de I+D+i, con el objetivo de alcanzar nuevas metas en las tareas de adaptación al cambio climático.

Finalmente, es importante resaltar que, si bien es cierto que cada Negociado presenta sus funciones y actividades propias, es fundamental la comunicación y coordinación entre todos los agentes implicados para hacer de la adaptación una tarea lo más provechosa y eficiente posible.

4.4 Medidas estructurales

Por último, teniendo en cuenta que la definición de puntos críticos basada en un análisis de exposición se ha llevado a cabo sobre los tramos en explotación, se propone un catálogo de medidas técnicas de adaptación enfocado fundamentalmente en atenuar los efectos del cambio climático sobre los activos de carretera que actualmente se encuentran en servicio, es decir, son propuestas destinadas a las labores de **gestión, operación y mantenimiento**.

Si bien es cierto que durante las fases de planificación, diseño y construcción la infraestructura de carreteras está expuesta a posibles eventos extremos, es a lo largo de la vida útil el periodo en el que se manifiesta más ampliamente la variabilidad climática y sus efectos.

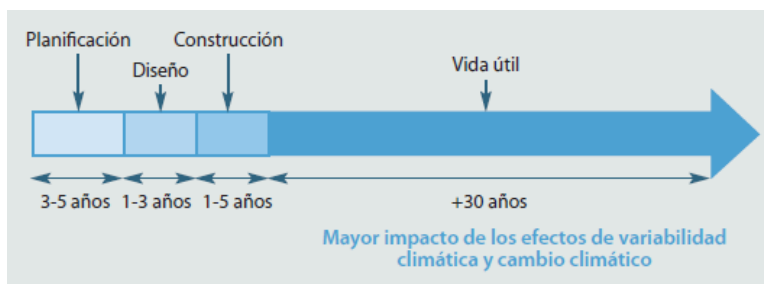


Figura 10. Variabilidad y cambio climático en el contexto de la vida útil de una infraestructura de transporte. Fuente: *World Bank Group*, 2015.

En particular, las labores de mantenimiento juegan un papel esencial en la gestión de activos de la carretera, pues están encaminadas a mantener la red en las condiciones de seguridad y conservación deseables. De acuerdo con entregables previos, las labores de mantenimiento pueden ser de tres tipos en función del carácter del punto crítico identificado; aquellos puntos críticos de carácter esperado van asociados a tareas de mantenimiento periódico, los puntos críticos de carácter estacional van asociados a tareas de mantenimiento rutinario mientras que los puntos críticos de carácter repentino van asociados a tareas de mantenimiento preventivo. Esto no quiere decir que un activo deba presentar exclusivamente medidas asociadas al carácter del punto crítico identificado, solo define el mantenimiento principal que

irá asociado al fallo o deterioro en cuestión. En todos los casos el mantenimiento preventivo tomará gran importancia.

- N Mantenimiento periódico.** Engloba todas aquellas actividades de reparación de daños ocasionadas por desgaste y cuya durabilidad es conocida. Busca reestablecer las condiciones del activo. Ejemplo de mantenimiento periódico es el parchado de baches en la carretera.
- N Mantenimiento rutinario.** Consiste en actividades llevadas a cabo previo a la ocurrencia de determinados eventos climáticos de acuerdo con la experiencia de los gestores, con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de los mismos. Ejemplo de mantenimiento rutinario es la limpieza de obras de drenaje antes de las temporadas de mayores lluvias.
- N Mantenimiento preventivo.** Comprende actividades de adaptación de los activos de forma que mejore su respuesta frente a acciones climáticas, buscando anticiparse y evitar la aparición de deterioros asociados a dichos eventos. Ejemplo de mantenimiento preventivo sería el reasfaltado de carreteras con aditivos que presenten mejor desempeño ante altas temperaturas en aquellas zonas donde esté previsto que se puedan producir a medio y largo plazo.

En paralelo a las tres categorías de mantenimiento anteriores, es deseable promover técnicas de **mantenimiento predictivo** a través del análisis estadístico de registros históricos. Un ejemplo de mantenimiento predictivo sería aquella situación en la que se conoce el comportamiento de los firmes en tiempo real mediante el seguimiento de su estado [tensiones, deformaciones, cargas de tráfico, climatología, etc.] de cara a establecer las medidas de mantenimiento más adecuadas para el tipo de deterioro detectado. De esta manera, las actuaciones en las carreteras se realizarían cuando se prevea la posible aparición de deficiencias estructurales o funcionales y no con carácter sistemático. De esta forma la carretera estaría siempre en un estado de conservación adecuado [Parra Ruiz, L., & Sánchez Trujillano, A., 2018].

No se debe perder de vista el hecho de que los escenarios de cambio climático son previsiones con cierto grado de incertidumbre, por lo que es importante que las medidas propuestas presenten la flexibilidad suficiente para adaptarse a las necesidades de las diferentes situaciones futuras.

En la Tabla 4-1 se recoge el listado de propuestas de medidas de adaptación para cada uno de los activos en estudio. Se asocian a los diferentes deterioros que cada activo puede presentar, asignando a su vez, el impacto climático que lo desencadena y una referencia sobre la temporalidad de la acción.

Tabla 4-1. Medidas de adaptación estructurales para los activos en estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía.

Impacto climático	Efecto en el elemento	Indicador	Carácter	Medida de adaptación	Tipo medida IPCC	Código
PAVIMENTOS						
Temperaturas bajas	Deterioro del recubrimiento asfáltico	Fisuración	Esperado	Incrementar la frecuencia del mantenimiento periódico	Blanda	PA-1.1
				Repavimentación: Emplear asfaltos y aditivos con mejor desempeño climático	Dura	PA-1.2
Temperaturas altas	Deterioro del recubrimiento asfáltico	Roderas	Esperado	Incrementar la frecuencia del mantenimiento periódico	Blanda	PA-2.1
				Repavimentación: Emplear asfaltos y aditivos con mejor desempeño climático. Mezclas asfálticas en frío	Blanda	PA-2.2
				Redirigir el tráfico pesado durante las épocas de mayor calor	Blanda	PA-2.3
Precipitaciones intensas y humedad	Deformación por hinchamiento y lavado de materiales	Deformación	Estacional	Incrementar la frecuencia del mantenimiento rutinario	Blanda	PA-3.1
				Construcción de rutas de acceso alternativas / desvío de rutas	Dura	PA-3.2
				Crear áreas con alta capacidad de infiltración: Reforestación, revegetación y balsas de retención o laminación	Blanda	PA-3.3
				Emplear materiales resistentes al aumento o disminución de humedad	Blanda	PA-3.4
				Implementar obras de protección [motas]	Blanda	PA-3.5
				Aumentar el bombeo de la calzada [peralte]	Blanda	PA-3.6
				Añadir nuevas obras de drenaje y priorizar los SUDS [Depósitos de infiltración, depósitos de retención, cunetas verdes, zanjas de infiltración, biorretención y humedales].	Blanda	PA-3.7
				Rediseñar cunetas, aumentando su capacidad	Dura	PA-3.8
				Aumentar la altura de la rasante	Dura	PA-3.9
PUENTES						
Temperaturas bajas	Deterioro de juntas	Contracción	Estacional	Incrementar la frecuencia del mantenimiento rutinario	Blanda	PU-1.1
				Sustitución de juntas	Blanda	PU-1.2
Temperaturas altas	Deterioro de juntas	Expansión	Estacional	Incrementar la frecuencia del mantenimiento rutinario	Blanda	PU-2.1
				Sustitución de juntas	Blanda	PU-2.2

Impacto climático	Efecto en el elemento	Indicador	Carácter	Medida de adaptación	Tipo medida IPCC	Código
Precipitaciones intensas	Inundaciones, socavación y descalce	Socavación	Repentino	Incrementar la frecuencia del mantenimiento preventivo	Blanda	PU-3.1
				Implementar estructuras de protección de la cimentación (p. ej. Escollera, tajamares, ejecución de contrabóvedas)	Dura	PU-3.2
				Incrementar el periodo de retorno de diseño	Dura	PU-3.3
				Evaluación estructural (de cara a identificar problemas de "gálibo")	Blanda	PU-3.4
				estribos con aletas debidamente protegidas, orientadas en función del sentido / dirección del cauce.	Blanda	PU-3.5
				Ejecución de sumideros en tableros de puente	Blanda	PU-3.6
				Aplicación manual de imprimación activa inhibidora de la corrosión para la protección y pasivado de la armadura	Blanda	PU-3.7
				Impermeabilización de superficies y colocación de vierteaguas mediante perfil angular de acero galvanizado	Blanda	PU-3.8
OBRAS DE DRENAJE						
Precipitaciones intensas	Capacidad hidráulica insuficiente	Obstrucción	Repentino	Incrementar la frecuencia del mantenimiento preventivo	Blanda	OD-1.1
				Incrementar el periodo de retorno de diseño.	Blanda	OD-1.2
				Reforzar el número de elementos de drenaje	Dura	OD-1.3
				Reubicar activos	Dura	OD-1.4
				Implantar SUDS (Depósitos de infiltración, depósitos de retención, cunetas verdes, zanjas de infiltración, biorretención y humedales).	Blanda	OD-1.5
Precipitaciones intensas y humedad	Daño o pérdida de la obra de drenaje	Degradación	Esperado	Incrementar la frecuencia del mantenimiento periódico	Blanda	OD-2.1
				Incrementar el periodo de retorno de diseño	Blanda	OD-2.2
				Reubicar activos	Dura	OD-2.3
				Impermeabilización de paramentos. Pintura de anticarbonatación, recubrimiento adecuado, forma de los elementos aguas arriba para acotar el daño por potenciales impactos que el material de arrastre pueda producir, etc...	Blanda	OD-2.4

Impacto climático	Efecto en el elemento	Indicador	Carácter	Medida de adaptación	Tipo medida IPCC	Código
OBRAS DE TIERRA						
Precipitaciones intensas y humedad	Inestabilidad	Deslizamiento	Repentino	Incrementar la frecuencia del mantenimiento preventivo	Blanda	OT-1.1
				Estudios de estabilidad de taludes y laderas → permiten hacer un estudio de sensibilidad y priorizar dónde es más probable encontrar problemas.	Blanda	OT-1.2
				Retaluzado con una pendiente más suave	Dura	OT-1.3
				Plantaciones	Blanda	OT-1.4
				Colocación de mallas metálicas de recubrimiento	Dura	OT-1.5
				Refuerzos a pie terraplén [escollera]	Blanda	OT-1.6
				Muros de retención [gaviones]	Blanda	OT-1.7
				Drenaje superficial: revestimiento de cunetas de coronación y pie de desmonte, impermeabilización de bermas y bajantes revestidas.	Dura	OT-1.8
				Drenes californianos	Dura	OT-1.9
				Tratamiento del terreno [columnas de grava / <i>jet-grouting</i> / inyecciones]	Dura	OT-1.10
Sequía y precipitaciones intensas	Inestabilidad	Erosión	Esperado	Incrementar la frecuencia del mantenimiento periódico	Blanda	OT-2.1
				Tratamiento superficial antierosión: eliminar vegetación y arbustos, colocación de manta orgánica de coco y nuevas plantaciones	Dura	OT-2.2
				Refuerzos a pie terraplén [escollera]	Blanda	OT-2.3
				Tratamiento del terreno [columnas de grava / <i>jet-grouting</i> / inyecciones, drenes californianos]	Dura	OT-2.4
				Cuneta de guarda y desagüe de captación en desmontes	Dura	OT-2.5
				Berma en desmontes	Dura	OT-2.6
Temperaturas bajas y humedad	Inestabilidad y derrumbes de desmontes	Desprendimiento	Repentino	Incrementar la frecuencia del mantenimiento preventivo	Blanda	OT-3.1
				Retaluzado con una pendiente más suave	Dura	OT-3.2
				Colocación de mallas metálicas de refuerzo	Dura	OT-3.3

Impacto climático	Efecto en el elemento	Indicador	Carácter	Medida de adaptación	Tipo medida IPCC	Código
				Mallas de guiado de caída de piedras y retirada de bloques con riesgo de caída	Dura	OT-3.4
				Protección superficial con gunitado	Dura	OT-3.5
				Refuerzo con bulones	Blanda	OT-3.6
				Muros de hormigón armado, anchados	Dura	OT-3.7
				Estudio de desmontes (con programas como <i>Rockfall</i>)	Blanda	OT-3.8
BOCA DE TÚNEL						
Precipitaciones intensas y humedad	Filtraciones e inundaciones en zonas bajas	Filtraciones Afecciones estructurales	Repentino	Incrementar la frecuencia del mantenimiento preventivo	Blanda	BT-1.1
				Instalar sistemas de bombeo en zonas de inundación	Blanda	BT-1.2
				Adicionar obras de drenaje superficial y subterráneo	Dura	BT-1.3
				Reforzar pozos y galerías de evacuación de agua	Dura	BT-1.4
				Mejora de la impermeabilización con revestimientos	Dura	BT-1.5
				Mejora de la estabilidad de taludes en la boca	Dura	BT-1.6

Adicionalmente, se debe considerar la variabilidad climática en el **diseño** de nuevos activos de carreteras. Es decir, es necesario ajustar los criterios y metodologías de diseño de nuevas infraestructuras a las condiciones climáticas futuras [Negociado de Normalización y Proyectos]. A continuación, se proponen diferentes consideraciones particularizadas en los activos en estudio:

Pavimentos

- Definir el trazado teniendo en cuenta las áreas con mayor exposición a eventos extremos futuros.
- Emplear materiales impermeables permitirá reducir las filtraciones en la base de la estructura.
- La sección longitudinal debe tener una pendiente mínima del 3% para evitar áreas de encharcamiento.
- Elevar la cota del pavimento hasta que se encuentre fuera de los niveles de inundación.

Puentes

- Aumentar la luz lo máximo para reducir el número de pilas sobre los cauces para prevenir daños por socavación o erosión y evitar efectos barrera.
- Estribos fuera del cauce.
- Alinear los elementos del puente perpendicularmente al flujo del cauce para reducir efectos de erosión y socavación.
- Cimentaciones profundas o protecciones con escollera de pilas y estribos.
- Aumentar los periodos de retorno de diseño.

N Obras de drenaje

- Optar por sistemas de drenaje sostenible frente a las estructuras más tradicionales, cuando sea posible.
- Disipadores de energía en los cauces torrenciales.
- Analizar la naturaleza del cauce y ver qué tipo de material de arrastre puede generarse a la hora de realizar el diseño.
- Colocar escollera como elemento de protección frente a la socavación.
- Aumentar los periodos de retorno de diseño [Maximizar la capacidad hidráulica].

N Obras de tierra

- Emplear materiales que no se vean fácilmente afectados por las condiciones climáticas de la zona.
- En caso de que sea necesario disponer de algún elemento de protección a pie de talud, será preferible colocar muros de gaviones en vez de muros de hormigón.
- Instalar elementos de drenaje para prevenir erosiones.

N Túneles

- Estudio geotécnico y geológico iniciales.
- Sistemas de drenaje con un periodo de retorno de diseño mayor.
- Instalación de mallas de triple torsión en bocas de túnel para evitar la caída de material.

4.5 Otras recomendaciones

Hacer uso de la herramienta informática TRACC: Guía de ayuda para la elección de técnicas de carretera adaptadas al cambio climático enmarcado dentro del Programa Interreg Sudoe [<http://tracc.ateb.es/>].

5. CONCLUSIONES

El tercer entregable del proyecto se ha llevado a cabo tomando como base la estructura organizativa del gobierno de Navarra, las metas y objetivos de la documentación existente en materia de cambio climático específica de la Comunidad Foral y la bibliografía referente a la adaptación de las carreteras al cambio climático.

La infraestructura de carreteras está expuesta a múltiples riesgos en función del clima de cada región y las características de los diferentes activos de la red. Por este motivo, es fundamental identificar dichos riesgos para poder definir las actuaciones que hacen frente a las necesidades específicas de cada activo y que posibilitan contar con una red de infraestructuras resiliente y sostenible.

En este sentido se ha definido una **Estrategia de Adaptación** formada por diversos tipos de medidas: las medidas preliminares que incluye medidas normativas, institucionales, de concienciación e investigación, que permiten construir un entorno colaborativo y de gobernanza que a su vez harán posible la implantación de otro tipo de medidas; las medidas organizativas, a través de las cuales se asignan distintas tareas a realizar por los Negociados involucrados en los objetivos de adaptación del proyecto; y las medidas específicas sobre los activos, que recogen aquellas intervenciones de carácter técnico como parte de las tareas a realizar por el Negociado correspondiente. Estas últimas consisten fundamentalmente en actividades de mantenimiento sobre los puntos críticos identificados anteriormente.

Las medidas y actuaciones de adaptación al cambio climático propuestas se focalizan en reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de los activos ante eventos extremos, ganar vida útil a la infraestructura y, en definitiva, hacer de ella un sistema más **sostenible** en consonancia con la propuesta de la Estrategia Navarra Sostenible 2030.

No solo es importante identificar aquellas medidas que mejor se ajustan a la situación de la red de Navarra, también es fundamental conseguir **sensibilizar** a los agentes implicados en cualquiera de las fases por las que pasa la infraestructura de la carretera [diseño, construcción, mantenimiento, ...] y también a otras entidades y a los ciudadanos en general. Todos deben de ser conocedores de los riesgos y vulnerabilidades existentes y de la necesidad de llevar a cabo ciertas actuaciones que garanticen la seguridad de todos.

Resulta especialmente novedosa la medida de diseño y puesta en marcha de un **gemelo digital** para determinados elementos de la red de carreteras de Navarra, destinado fundamentalmente al seguimiento en tiempo real del estado de la red. Es importante tener presente la elevada inversión que supone su puesta en marcha y su explotación, así como la necesidad de contar con personal especializado en la materia. Por sus características, las carreteras son, en general, vías de fácil acceso por lo que el monitoreo quedará relegado a puntos muy concretos que tengan una importancia especial o que su fallo suponga un riesgo elevado.

La Acción 6.6, a su vez, permitirá alimentar otros proyectos del LIFE. De acuerdo con lo ya propuesto, el seguimiento exhaustivo del estado de la red mediante campañas de inspecciones, las actuaciones, el registro de eventos e incidencias y los estudios de detalle permitirán extraer conclusiones y alimentar de datos climáticos otros proyectos como la Acción C1.1. Monitoreo del Cambio Climático.

Una vez se ha definido la Estrategia de Adaptación, el último paso por completar es la elaboración de un **Plan de Acción** o Plan de Intervención, objeto del entregable número cuatro. En este plan se evalúa la aplicabilidad de las diferentes medidas, los beneficios de intervenir a tiempo y se propone un cronograma priorizado de actuaciones con el año **2030** como primer horizonte temporal, que comprenderá las actividades más esenciales y prioritarias y el año **2050** para actuaciones que dependan de otros trabajos previos o que su puesta en marcha pueda ser más compleja.