

# ¿De qué hablamos cuando hablamos de evaluación de la evolución del cambio climático en carreteras?

Análisis de los términos empleados en las metodologías de adaptación al cambio climático de infraestructuras de transporte



What are we talking about when we talk about evaluating the evolution of climate change on roads?

## Grupo de trabajo sobre cambio climático aplicado a carreteras

Comité técnico de Medio Ambiente

Asociación Técnica de Carreteras

El cambio climático ya es una realidad y sus impactos se muestran en todas las regiones del planeta, a través de un conjunto cada vez más amplio de señales. Los datos que aporta la observación sistemática son contundentes y no permite que se mire en otra dirección distinta a procurar fortalecer el conjunto del sistema, por un lado, mitigando los efectos del cambio climático y por otro lado impulsando acciones de adaptación.

España, por su situación geográfica y sus características socioeconómicas, se enfrenta a importantes riesgos derivados del cambio climático. Sectores clave de nuestra economía, como el agrícola y ganadero (incluida la silvicultura), el turístico o el transporte, dependen estrechamente del clima.

La reflexión metodológica que se recoge a continuación se enmarca en la búsqueda de soluciones que permitan mantener nuestro actual nivel de bienestar siempre que sea posible, cuidando la salud humana, la biodiversidad y un medio natural en adecuadas condiciones para generaciones futuras. Para ello, es preciso realizar análisis de los riesgos que se derivan del cambio climático. Sin embargo, la realización de estos análisis a veces se ve dificultada por la existencia de distintas terminologías para denominar un mismo concepto. Por ello, el objetivo de este artículo es proponer un punto de encuentro que permita emplear una terminología única (o equivalente) que facilite la realización de las evaluaciones de riesgos por cambio climático en las infraestructuras de transporte.

Climate change is already a reality and its impacts are shown in all regions of the planet, through an increasingly broad set of signals. The data provided by systematic observation is compelling and does not allow us to look in any other direction than trying to strengthen the system as a whole, on the one hand, mitigating the effects of climate change and on the other hand promoting adaptation actions.

Spain, due to its geographical situation and its socioeconomic characteristics, faces significant risks derived from climate change. Key sectors of our economy, such as agriculture and livestock (including forestry), tourism or transport, are closely dependent on the climate.

The methodological reflection that is collected below is part of the search for solutions that allow us to maintain our current level of well-being whenever possible, taking care of human health, biodiversity and a natural environment in adequate conditions for future generations. For this, it is necessary to carry out analysis of the risks derived from climate change. However, carrying out these analyzes is sometimes made difficult by the existence of different terminologies to describe the same concept. For this reason, the objective of this article is to propose a meeting point that allows the use of a single terminology (or equivalent) that facilitates the carrying out of risk assessments due to climate change in transport infrastructures.

## 1. ¿De qué hablamos cuando hablamos de evaluación del cambio climático en carreteras?

El cambio climático provocará el cambio de tendencias en las variables e índices climáticos, que provocarán, a su vez, una serie de efectos en cascada sobre los sistemas ecológicos y sectores económicos españoles, entre los que se encuentra el transporte, que en el actual modelo económico se convierte en un elemento vertebrador del conjunto de la economía.

La pérdida de operatividad en las infraestructuras de transporte puede deberse a la vulnerabilidad de las infraestructuras frente a las adversidades asociadas al clima, actual y futuro, y puede afectar de forma muy diferente tanto a los activos de las infraestructuras, como a los servicios que éstas prestan.

En el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC) se recoge la necesidad de analizar los efectos del cambio climático en las infraestructuras de transporte e iniciar el camino de la adaptación. Por ello, el Centro de Estudios y

Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), junto con el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, la Diputación de Valencia, Ines Ingenieros Consultores, S.L., Acciona Ingeniería, Lantania, Audeca y la Universidad Autónoma de Madrid, dentro del marco que les brinda el Grupo de Trabajo (GT) sobre “Cambio climático y resiliencia de las carreteras”, creado en el seno de la Asociación Técnica de la Carretera (ATC), está trabajando en una Metodología que permita analizar la vulnerabilidad y el riesgo de las infraestructuras viarias frente al cambio climático.

Existen muchas similitudes entre las carreteras y los ferrocarriles a efectos de la evaluación del cambio climático, si bien en este artículo nos centramos sobre todo en el ámbito de las carreteras.

El estudio de los impactos provocados por el cambio climático no es algo nuevo. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado en 1988 para realizar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias

de respuesta. Dentro de este grupo se han ido generando sucesivos informes recogiendo y actualizando esos conocimientos. Así mismo, se han ido actualizando los procedimientos para abordar el estudio de los riesgos vinculados al cambio climático.

Así, el sexto informe de evaluación del IPCC, el más reciente, pone un especial énfasis en la protección de las infraestructuras críticas, incluidos los sistemas de energía y transporte, por considerarse que ambos están muy relacionados (el transporte consume en España más del 40% de la energía final), y cada vez más afectadas por los peligros de las olas de calor, las tormentas, las sequías y las inundaciones, así como por los cambios de evolución lenta, como la subida del nivel del mar.

En la figura 1 se muestra el planteamiento propuesto por el IPCC para el estudio de riesgos. En ella se aprecia que los “ingredientes” del análisis de riesgos ante impactos vinculados al cambio climático son: peligro, vulnerabilidad y exposición.

Particularizando en el ámbito de la carretera, la principal referencia para la realización de este tipo de análisis

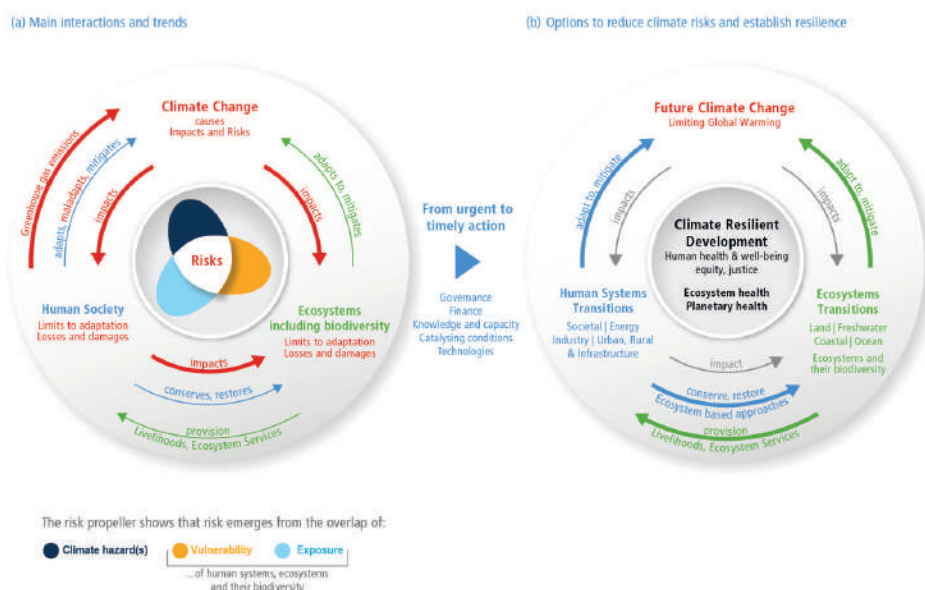


Figura 1. Del riesgo climático al desarrollo de la resiliencia climática: clima, ecosistemas (incluyendo biodiversidad) y sociedad humana como sistemas acoplados (IPCC, 2022)

es el marco metodológico propuesto por la Asociación Internacional de la Carretera, PIARC, que propone un análisis secuencial, en el que el análisis de riesgos parte de una fase preparatoria, en la que se define el alcance y los objetivos del estudio, para a continuación realizar un análisis de la vulnerabilidad, basado en el estudio de la exposición y la sensibilidad de los activos; después se efectúa el análisis de los riesgos, en el que ya entra en juego la valoración de las consecuencias, considerando las probabilidades de que se produzca la afectación y la severidad o gravedad de la misma. Por último, se plantean estrategias de adaptación y se integran los resultados en el proceso de toma de decisiones (figura 2).

La metodología propuesta por PIARC no es la única referencia en el ámbito de las carreteras, sino que hay otras muchas (proyectos de investigación, guías, documentos normativos, etc.), algunas específicas de carreteras y otras en el ámbito de las infraestructuras de transporte de manera más general y con distintos alcances (nacional, internacional, comisión europea u otros organismos internacionales). Todas estas iniciativas tratan, de una forma u otra, de sistematizar la forma de abordar la búsqueda de resiliencia vinculada al cambio climático.

En una comunicación de la Comisión Europea (European Commission, 2021) se trata la defensa de las infraestructuras frente al cambio climático, tanto en su vertiente de mitigación como en la de adaptación. El esquema planteado en la siguiente figura resume la metodología seguida en relación con la adaptación al cambio climático, que es el tema que nos ocupa en este artículo.

Como se puede intuir a partir de las referencias citadas, en los análisis de los impactos y riesgos que el cambio climático puede generar para una determinada actividad (en este



| Resiliencia frente al Cambio Climático                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adaptación al Cambio Climático                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Fase 1. Comprobación Previa                                                                                                                      | Fase 2. Análisis detallado                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Análisis de Sensibilidad</li><li>• Análisis de Exposición</li><li>• Análisis de Vulnerabilidad</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Análisis de Probabilidad</li><li>• Análisis de Impacto<sup>1</sup></li><li>• Evaluación de Riesgos</li><li>• Determinar opciones de adaptación</li><li>• Valorar opciones de adaptación</li><li>• Planificar la adaptación</li></ul> |

Figura 3. Esquema de metodología de la Comisión Europea. Elaboración propia a partir de European Commission 2021

caso, la carretera) la terminología y los enfoques pueden ser variados (IPCC, PIARC, EC). Esto puede derivar en confusión a la hora de intentar comprender los distintos fenómenos que se han de tener en cuenta, siendo difícil “acordar” en qué momento de la evaluación se ha de efectuar un determinado análisis e incluso acotar el alcance de los estudios. Se llega al extremo de que un mismo significado, según diferentes metodologías, se asocia a distintos significados.

Por eso, el objeto del presente artículo es “acordar y acotar” de qué estamos hablando en cada una de las etapas de la evaluación de riesgos por cambio climático y contextualizarlo a la luz de otras metodologías, para de esta manera evitar confusiones, en la medida de lo posible, y facilitar el trabajo.

2. Marco de trabajo: revisión de las principales referencias sobre cambio climático

Para conocer los términos que se han de emplear en la evaluación de riesgos por cambio climático se ha efectuado una revisión de las principales referencias sobre cambio climático e infraestructuras de transporte. En esta investigación, lo primero que sorprende es la falta de uniformidad de los términos acuñados para designar los conceptos asociados a la evaluación de riesgos del cambio climático (Crespo et al, 2020); por ello, en este artículo se pretende resaltar este aspecto, hacer un barrido por las organizaciones que lo trabajan y comparar los términos utilizados y sus significados.

<sup>1</sup> Esta parte de la metodología de EC (2021) equivale al análisis de la gravedad en el resto de metodologías, incluida la planteada en este artículo.

Para comprender mejor el alcance del estudio de los riesgos asociados al cambio climático, se ha planteado la definición de un relato explicativo. Así este relato es una “mini-historia” que recoge los aspectos que se deben estudiar para conocer y cuantificar el impacto que se puede producir sobre un activo viario o sobre el propio servicio prestado por la carretera derivado de una amenaza climática actual o futura, que se puede ver modificada por los efectos del cambio climático. Este “relato” es el hilo conductor de la metodología propuesta en el marco de la ATC: (Figura 4)

A través del siguiente ejemplo sencillo, transformado en “relato”, se recoge “un posible análisis de los efectos de un evento climático sobre una carretera”. Es un ejercicio de aproximación que intenta facilitar la comprensión de la metodología y comparar los distintos términos que se emplean en otras metodologías y normas. A modo de ejemplo se analizan las consecuencias de un episodio de lluvias intensas sobre un talud de un tramo de carretera.



Figura 4. Propuesta de Esquema metodológico de Evaluación de Adaptación al Cambio Climático del Grupo de Trabajo de la ATC

#### Ejemplo de relato:

Las lluvias intensas (**amenaza**) hacen deslizar (**impacto**) un talud de carretera (**activo**) situado en la zona de estudio (**exposición**), debido a sus características geológicas y su pendiente y altura (**sensibilidad**), cada 5 años (**probabilidad**), provocando pérdidas económicas, ambientales y sociales moderadas (**gravedad**) generando efectos en el tráfico y en las poblaciones próximas (**criticidad**).

Como se puede ver en el ejemplo, hemos asignado un concepto a cada uno de los aspectos que influyen en el relato, de manera que a la lluvia la

consideramos la amenaza, al deslizamiento el impacto, etc. A continuación, se detallan numerosas definiciones recogidas en las diferentes fuentes consultadas para cada uno de estos conceptos (amenaza, impacto, etc.) de análisis de riesgo. Se recogen las definiciones en inglés para que no se pierdan los matices de cada idioma para algunos conceptos incluidos en la metodología. Cada uno de estos conceptos se asocian a cada una de las fases que forman parte de la metodología. El valor añadido de esta publicación es que el GT sobre cambio climático de la ATC propone la definición que más se ajusta a sus objetivos, que es la propuesta de una metodología sencilla y práctica que permita abordar de manera uniforme los estudios de cambio climático en nuestras carreteras.

### EVALUACIÓN DE IMPACTOS (I)

| Elemento del relato          | Según la metodología...                                                                              | ...lo llama...      | ... y lo define...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ACTIVO o SERVICIO (A)</b> | <b>ATC</b>                                                                                           | <b>Activo</b>       | <b>Elemento (activo de la carretera o servicio de la circulación) receptor de la acción (impacto).</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                              | FHWA (2017)                                                                                          | Asset               | Refers to both physical transportation infrastructure such as roads, rails, and bridges as well as support facilities, vehicles, intelligent transportation systems, and ecosystem-related projects.                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>AMENAZA (H)</b>           | <b>ATC</b>                                                                                           | <b>Amenaza</b>      | <b>Elemento desencadenante de la acción (impacto).</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                              | IPCC (2014)<br>IMT (2017)<br>IPCC (2018)<br>MITERD (2021)<br>EC (2021) e<br>IPCC (2022) <sup>2</sup> | Peligro<br>(Hazard) | Ocurrencia potencial de una tendencia o suceso físico de origen natural o humano que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, provisión de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. El peligro en el CC se refiere a los acontecimientos o tendencias físicas que están relacionados con el clima o sus impactos físicos <sup>3</sup> . |
|                              | ISO (2019)                                                                                           | Peligro             | Fuente potencial de daño.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

<sup>2</sup> La definición dada por la Comisión Europea (2021) e IPCC (2022) (AR6) coincide con las anteriores excepto en la última frase.

<sup>3</sup> Las definiciones del AR5 del IPCC de 2014 coinciden con las del segundo PNACC. Esa es la razón de que las definiciones sean en castellano



| EVALUACIÓN DE IMPACTOS (II) |                                                          |                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento del relato         | Según la metodología...                                  | ...lo llama...                                                          | ... y lo define...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| IMPACTO (I)                 | ATC                                                      | Impacto                                                                 | <b>Acción que se produce sobre el Activo o Servicio carretero a causa de la Amenaza.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                             | IPCC (2014)<br>IMT (2017)<br>ISO (2019)                  | Impacts (consequences, Outcomes)                                        | Efectos sobre los sistemas naturales y humanos de episodios meteorológicos y climáticos extremos y del CC. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas; medios de subsistencia; estados de salud; ecosistemas; bienes económicos, sociales y culturales; servicios (incluidos los ambientales) e infraestructuras debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o los sistemas expuestos a ellos. Los impactos también se denominan consecuencias y resultados.                     |
|                             | IPCC (2018)<br>MITERD (2021)<br>EC (2021)<br>IPCC (2022) | Impactos consecuencias, resultados)<br>impacts (consequences, outcomes) | Consecuencias de los riesgos materializados en los sistemas humanos y naturales, donde los riesgos provienen de las interacciones entre los peligros relacionados con el clima (incluidos los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos), la exposición y la vulnerabilidad. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud y bienestar, ecosistemas y especies, bienes económicos, sociales y culturales, servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) e infraestructuras. También pueden denominarse consecuencias o resultados, y pueden ser adversos o beneficiosos. |

| EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD (I) |                                                                                                                                 |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento del relato                 | Según la metodología...                                                                                                         | ...lo llama...             | ... y lo define...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| EXPOSICIÓN (E)                      | ATC                                                                                                                             | Exposición                 | <b>Definido por el lugar dónde se produce el impacto.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                     | EC (2013)                                                                                                                       | Exposure                   | The nature and degree to which a system is exposed to significant climatic variations. Exposure is determined by the type, magnitude, timing and speed of climate events and variation to which a system is exposed.                                                                                                                  |
|                                     | IPCC (2014)<br>IMT (2017)<br>IPCC (2018)<br>ISO (2019)<br>MITERD (2021)<br>IPCC (2022)                                          | Exposición (Exposure)      | Presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, funciones y servicios ambientales o elementos del patrimonio económico, social o cultural en lugares y emplazamientos que podrían ser afectados de manera adversa.                                                                                                     |
|                                     | FWHA (2017)                                                                                                                     | Exposure                   | Refers to whether an asset or system is located in an area experiencing direct effects of climate variability and extreme weather events. Exposure is a prerequisite for vulnerability.                                                                                                                                               |
|                                     | EC (2021)                                                                                                                       | Exposure                   | The presence of people; livelihoods; environmental services and resources; infrastructure; or economic, social, or cultural assets in places that could be adversely affected.                                                                                                                                                        |
|                                     |                                                                                                                                 |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| SENSIBILIDAD (S)                    | ATC                                                                                                                             | Sensibilidad               | <b>Características del activo o servicio que condicionan el efecto o grado del impacto (Cómo se produce el impacto).</b>                                                                                                                                                                                                              |
|                                     | IPCC (2007)<br>EC (2013) <sup>4</sup><br>IPCC (2014)<br>ISO (2019)<br>PIARC (2019)<br>MITERD (2021)<br>EC (2021)<br>IPCC (2022) | Sensibilidad (Sensitivity) | Grado en que un sistema o especie resultan afectados, positiva o negativamente, por la variabilidad o el cambio climáticos. Los efectos pueden ser directos o indirectos.                                                                                                                                                             |
|                                     | FWHA (2017)                                                                                                                     | Sensitivity                | Refers to how an asset or system responds to, or is affected by, exposure to a climate change stressor. A highly sensitive asset will experience a large degree of impact if the climate varies even a small amount, where as a less sensitive asset could withstand high levels of climate variation before exhibiting any response. |

<sup>4</sup> IPCC (2007) y EC (2013) recogen la misma definición en inglés.

| EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD (II) |                                                                                                               |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento del relato                  | Según la metodología...                                                                                       | ...lo llama...                              | ... y lo define...                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN              | ATC                                                                                                           | Capacidad de adaptación                     | Se refiere a los aspectos que mejoran la respuesta de los elementos que componen la Vulnerabilidad aumentando la Resiliencia del activo o servicio.                                                                                                                                                                             |
|                                      | IPCC (2007)<br>EC (2013) <sup>5</sup><br>IPCC (2014)<br>IPCC (2018)<br>ISO (2019)<br>EC (2021)<br>IPCC (2022) | Capacidad de adaptación (Adaptive capacity) | Habilidad de los sistemas, las instituciones y las personas para ajustarse a los daños potenciales, aprovechar las oportunidades o dar respuesta a las consecuencias.                                                                                                                                                           |
|                                      | FWHA (2017)                                                                                                   | Adaptive capacity                           | The ability of a transportation asset or system to adjust, repair, or flexibly respond to damage caused by climate variability or extreme weather.                                                                                                                                                                              |
|                                      | PIARC (2019)                                                                                                  | Adaptive capacity                           | La capacidad o el potencial de un sistema para responder con éxito a la variabilidad y el cambio climático, e incluye ajustes tanto en el comportamiento como en los recursos y tecnologías.                                                                                                                                    |
| VULNERABILIDAD (V)                   | ATC                                                                                                           | Vulnerabilidad                              | Combinación de Exposición y Sensibilidad. Depende de las características del Activo y del tipo de Impacto. No se asocia directamente a ningún elemento del relato.                                                                                                                                                              |
|                                      | IPCC (2007)<br>EC (2013)<br>EC (2021)<br>FHWA (2017)                                                          | Vulnerability                               | Degree to which a system is susceptible to, and unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate change and variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity. |
|                                      | IPCC (2018)                                                                                                   | Vulnerabilidad                              | Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.                                                                                                                                                                                          |
|                                      | PIARC (2019)                                                                                                  | Vulnerabilidad                              | El grado en que un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos.                                                                                                                                                           |
|                                      | MITERD (2021)                                                                                                 | Vulnerabilidad                              | Estado de susceptibilidad del ecosistema o sistema socio-ecológico de estudio a las perturbaciones del cambio climático. Está compuesto de tres elementos generales: exposición al impacto, sensibilidad al impacto y capacidad adaptativa al impacto.                                                                          |

| EVALUACIÓN DE RIESGO (I) |                                                                       |                           |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento del relato      | Según la metodología...                                               | ...lo llama...            | ... y lo define...                                                                                                                                                                                                                                          |
| PROBABILIDAD (P)         | ATC                                                                   | Probabilidad              | Cuándo y cuantos impactos se producen en un periodo de tiempo.                                                                                                                                                                                              |
|                          | IPCC (2007) <sup>6</sup><br>IPCC (2014)<br>IPCC (2018)<br>IPCC (2022) | Probabilidad (Likelihood) | Posibilidad de que se obtenga un determinado resultado, siempre que sea posible estimarlo por métodos probabilísticos.                                                                                                                                      |
|                          | EC (2013)                                                             | Probability               | The chance or relative frequency of occurrence of particular types of events, or sequences or combinations of such events. (Willows and Connell, 2003).                                                                                                     |
|                          | PIARC (2019)                                                          | Probabilidad              | La probabilidad de impacto se refiere a la probabilidad de que se produzca un impacto dentro de un plazo determinado. Medida de la probabilidad de ocurrencia expresada como un número entre 0 y 1, donde 0 es la imposibilidad y 1 es la certeza absoluta. |

<sup>5</sup> IPCC (2007) y EC (2013) recogen definiciones prácticamente similares en inglés.

<sup>6</sup> IPCC (2007) recoge la misma definición en inglés.

<sup>5</sup> IPCC (2007) y EC (2013) recogen definiciones prácticamente similares en inglés.

| EVALUACIÓN DE RIESGO (II)                                                |                                           |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento del relato                                                      | Según la metodología...                   | ...lo llama... | ... y lo define...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>GRAVEDAD (G)<sup>7</sup></b><br>(Severidad, Magnitud o Consecuencias) | ATC                                       | Gravedad       | De cuánto es y qué consecuencias tiene el impacto que se produce.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                          | PIARC (2019)                              | Consecuencia   | Resultado de un evento que afecte a los objetivos. Un evento puede tener una serie de consecuencias. Una consecuencia puede ser cierta o incierta y puede tener efectos positivos o negativos en los objetivos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>RIESGO</b>                                                            | ATC                                       | Riesgo         | <b>Combinación de Probabilidad y Gravedad. Depende de las características de la Amenaza. No se asocia directamente a ningún elemento del relato.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                          | EC (2013)                                 | Risk           | Risk is a combination of the chance or probability of an event occurring, and the impact or consequence associated with that event. (Willows and Connell, 2003).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                                          | IPCC (2014)                               | Risk           | Consecuencias potenciales cuando algo que es considerado valioso está en juego y el resultado es incierto. El riesgo se expresa a menudo como la probabilidad de ocurrencia de un hecho peligroso o el producto de las tendencias por los impactos en caso de que esos hechos o tendencias se hagan realidad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                          | IMT (2017)                                | Riesgo         | Es el potencial de consecuencias cuando algo de valor está en peligro y donde el resultado es incierto, reconociendo la diversidad de valores. El riesgo se representa a menudo como la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos o tendencias multiplicados por los impactos, si ocurrieran estos eventos o tendencias. El riesgo resulta de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                                          | FHWA (2017)                               | Risk           | A combination of the likelihood that an asset will experience a particular climate impact, and the severity or consequence of that impact.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                          | IPCC (2018)<br>MITERD (2021)<br>EC (2021) | Riesgo         | Potencial de que se produzcan consecuencias adversas por las cuales algo de valor está en peligro y en las cuales un desenlace o la magnitud del desenlace son inciertos. En el marco de la evaluación de los impactos del clima, el término riesgo suele utilizarse para hacer referencia al potencial de consecuencias adversas de un peligro relacionado con el clima, o de las respuestas de adaptación o mitigación a dicho peligro, en la vida, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos), y la infraestructura. Los riesgos se derivan de la interacción de la vulnerabilidad (del sistema afectado), la exposición a lo largo del tiempo (al peligro), así como el peligro (relacionado con el clima) y la probabilidad de que ocurra. |
|                                                                          | ISO (2019)                                | Riesgo         | Efecto de la incertidumbre. Un efecto es una desviación de lo esperado. Puede ser positivo, negativo o ambos. Un efecto puede surgir como resultado de una respuesta, o falta de respuesta, a una oportunidad o una amenaza relacionada con los objetivos. La incertidumbre es el estado, incluso parcial, de la deficiencia de la información relacionada, la comprensión o el conocimiento de un evento, su consecuencia o probabilidad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                          | PIARC (2019)                              | Riesgo         | Efecto de la incertidumbre sobre los objetivos. El riesgo a menudo se caracteriza por la referencia a eventos potenciales, consecuencias, o una combinación de estos y cómo pueden afectar el logro de los objetivos. El riesgo se expresa a menudo en términos de una combinación de las consecuencias de un evento o un cambio en las circunstancias, y la probabilidad de ocurrencia asociada.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                          | IPCC (2022)                               | Risk           | The potential for adverse consequences for human or ecological systems. In the context of climate change, risks can arise from potential impacts of climate change as well as human responses to climate change. Relevant adverse consequences include those on lives, livelihoods, health and wellbeing, economic, social and cultural assets and investments, infrastructure, services (including ecosystem services), ecosystems and species. In the context of climate change impacts, risks result from dynamic interactions between climate-related hazards with the exposure and vulnerability of the affected human or ecological system to the hazards. Hazards, exposure and vulnerability may each be subject to uncertainty in terms of magnitude and likelihood of occurrence, and each may change over time and space due to socio-economic changes and human decision-making.  |

<sup>7</sup> En las referencias consultadas no se ha encontrado una definición para este elemento con el concepto de Gravedad en las fuentes consultadas y referenciadas en esta nota. No obstante, sí que existen definiciones para el concepto de Consecuencia (Consequence).

| EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA                     |                                                         |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento del relato                              | Según la metodología...                                 | ...lo llama... | ... y lo define...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| CRITICIDAD (C)                                   | ATC                                                     | Criticidad     | <b>Características que hacen indispensable un activo o servicio y que sufren el impacto.</b>                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                                  | PIARC (2019)                                            | Criticidad     | La relevancia de un elemento o sección de infraestructura para la disponibilidad de un sistema de infraestructura carretera.                                                                                                                                                                                                                        |
| RESILIENCIA <sup>8</sup><br>(Plan de adaptación) | ATC                                                     | Resiliencia    | <b>Análisis de todos los elementos anteriores para procurar la mejor respuesta del servicio o activo frente al Cambio Climático.</b>                                                                                                                                                                                                                |
|                                                  | IPCC (2007)                                             | Resilience     | The ability of a social or ecological system to absorb disturbances while retaining the same basic structure and ways of functioning, the capacity for self-organisation, and the capacity to adapt to stress and change.                                                                                                                           |
|                                                  | EC (2013)                                               | Resilience     | The capacity of a system, community or society potentially exposed to hazards to adapt, by resisting or changing in order to reach and maintain an acceptable level of functioning and structure. (UN/ISDR, 2004).                                                                                                                                  |
|                                                  | IPCC (2014)<br>IMT (2017)<br>IPCC (2018)<br>IPCC (2022) | Resiliencia    | Capacidad de los sistemas económicos, sociales y ambientales para afrontar una perturbación o impacto respondiendo o reorganizándose de forma que conservan su función esencial, identidad y estructura, al tiempo que mantienen su capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.                                                          |
|                                                  | FWHA (2017)                                             | Resilience     | The ability to anticipate, prepare for, and adapt to changing conditions and withstand, respond to, and recover rapidly from disruptions.                                                                                                                                                                                                           |
|                                                  | PIARC (2019)                                            | Resiliencia    | La capacidad de prepararse y planificar para, absorber, recuperarse de, o adaptarse exitosamente a eventos adversos reales o potenciales.                                                                                                                                                                                                           |
|                                                  | MITERD (2021)                                           | Resiliencia    | La resiliencia es la capacidad que posee un sistema para absorber perturbaciones y reorganizarse mientras experimenta cambios, de tal modo que retenga la misma función, estructura, identidad y retroalimentaciones esenciales. Cuanto más resiliente es un sistema, mayores perturbaciones puede absorber sin cambiar a otro régimen alternativo. |

<sup>8</sup> Este concepto hoy en día se emplea ampliamente, en el ámbito de las infraestructuras, en el sentido de adaptarse a las diferentes condiciones ambientales, garantizando la seguridad y la durabilidad en buenas condiciones de servicio.

Adicionalmente a los conceptos del relato, se recoge el termino resiliencia que también es necesario definir y aclarar su alcance, ya que es de interés en el marco de los estudios de cambio climático. Este

concepto hoy en día se emplea ampliamente, en el ámbito de las infraestructuras, en el sentido de adaptarse a las diferentes condiciones ambientales, garantizando la seguridad y la durabilidad en

buenas condiciones de servicio. Se incluyen también definiciones del concepto “criticidad”, aspecto fundamental de cara a, por ejemplo, la priorización de las necesidades de actuación.



Como resumen de los conceptos empleados en la metodología se recogen los términos incluidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen definiciones de conceptos empleados en la metodología ATC

| Activo o Servicio                                                                        | Amenaza                                                       | Impacto                                                                          | Exposición                                                                                                                                   | Sensibilidad                                                                                                     | Capacidad de Adaptación                                                                                                                            | Vulnerabilidad                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento (activo de carretera o servicio de circulación) receptor de la acción (Impacto) | Elemento desencadenante de la acción (Impacto)                | Acción que se produce sobre el Activo o Servicio carretero a causa de la Amenaza | Definido por el lugar dónde se produce el impacto                                                                                            | Características del activo o servicio que condicionan el efecto o grado del Impacto (Cómo se produce el Impacto) | Se refiere a los aspectos que mejoran la respuesta de los elementos que componen la Vulnerabilidad aumentando la Resiliencia del activo o servicio | Combinación de Exposición y Sensibilidad. Depende de las características el Activo y del tipo de Impacto. No se asocia directamente a ningún elemento del relato |
|                                                                                          | Probabilidad                                                  | Gravedad (Severidad, Magnitud, Consecuencias)                                    | Riesgo                                                                                                                                       | Criticidad                                                                                                       | Resiliencia                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                  |
|                                                                                          | Cuándo y cuántos impactos se producen en un periodo de tiempo | De cuánto es y qué consecuencias tiene el Impacto que se produce                 | Combinación de Probabilidad y Gravedad. Depende de las características de la Amenaza. No se asocia directamente a ningún elemento del relato | Características que hacen indispensable un Activo o Servicio y que sufren el Impacto                             | Análisis de todos los elementos anteriores para procurar la mejor respuesta del Servicio o Activo frente al Cambio Climático                       |                                                                                                                                                                  |
| EVALUACIÓN DE IMPACTOS                                                                   |                                                               | EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD                                                  |                                                                                                                                              | EVALUACIÓN DEL RIESGO                                                                                            |                                                                                                                                                    | EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA                                                                                                                                     |

### 3. Conclusiones

En algunos sectores existe preocupación por los riesgos derivados del cambio climático a los que la sociedad tiene que hacer frente. Si se quiere ser eficientes proponiendo medidas que permitan adaptarse a la nueva situación, se debe contar con estructuras de trabajo y metodologías que ayuden a detectar los principales impactos, los elementos más vulnerables y los riesgos más relevantes.

Se tiene que asumir que existen distintos enfoques metodológicos para la evaluación de riesgos por

cambio climático, pero se debe hacer un esfuerzo para entenderse y ser capaces de aunar los esfuerzos en marcha.

El objetivo de este artículo (y por extensión de los trabajos que están en marcha en el GT de CC de la ATC) es precisamente ser capaces de dar unas pautas sencillas y claras para poder avanzar en esta senda, con el objetivo a largo plazo de que nuestras redes de carreteras estén lo más adaptadas posible al cambio climático y, consecuentemente, adquieran elevados niveles de resiliencia.

En este sentido, queremos destacar que la metodología que se está proponiendo en el GT sobre cambio climático de la ATC está totalmente alineada con la propuesta en PIARC. Así mismo, desde el CEDEX y desde el GT de la ATC se están manteniendo reuniones con la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) para asegurar que los planteamientos recogidos son compartidos por este organismo y se integran dentro de la metodología más amplia con la que ellos trabajan.

Por último, se puede decir que la evaluación de la vulnerabilidad

que se está proponiendo en el marco de la ATC (exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación) es ya por sí misma un análisis de riesgo preliminar, según la metodología IPCC. En una segunda etapa, la evaluación del riesgo que se propone constituiría una evaluación del riesgo detallado, según la metodología IPCC, en la que pasamos cuantificar y monetizar las consecuencias del impacto. De esta forma la metodología propuesta en el grupo de trabajo está en sintonía con la planteada por el IPCC.

## Bibliografía

- IPCC (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Appendix I: Glossary. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- European Commission (2013). Non-paper. Guidelines for Project Managers: Making vulnerable investments climate resilient. European Commission.
- Willows, R.I. and Connell, R.K. (Eds.) (2003). Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UKCIP Technical Report, UKCIP, Oxford.
  - UN/ISDR (Inter-Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction). (2004). Living with Risk – A global review of disaster reduction initiatives.
  - World Bank (2009). Albania. Climate Vulnerability Assessments. An Assessment of Climate Change Vulnerability, Risk and Adaptation in Albania's Power Sector. Report No. 53331-ALB.
  - IPCC (2014) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Annex II, Glossary. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
  - IMT (2017) Panorama internacional de la adaptación de la infraestructura carretera ante el cambio climático. Instituto Mexicano del Transporte.
  - FWHA (2017). Vulnerability Assessment and Adaptation Framework. 3rd Edition. Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation.
  - IPCC (2018). Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. Anexo I: Glosario. Panel intergubernamental del Cambio Climático (IPCC).
  - ISO (2019). ISO 14090:2019. Adaptación al cambio climático — Principios, requisitos y directrices. International Organization for Standardization (ISO).
  - PIARC (2019) Refinamiento del marco internacional de la PIARC para la adaptación al Cambio Climático de la infraestructura carretera. Asociación Mundial de Carretera (PIARC).
  - European Commission (2021). Commission Notice. Technical guidance on the climate proofing of infrastructure in the period 2021-2027. European Commission.
  - Crespo, L. y Jiménez, F. (2020). Metodología de análisis de adaptación al cambio climático de infraestructuras de transporte. Revista Ingeniería Civil, 197/2020: p. 118-129.
  - MITERD (2021). Impactos y riesgos derivados del Cambio Climático en España. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).
  - IPCC (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report. Annex II: Glossary. Panel intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). ❖