



# **ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DE LA RED VIAL PRIMARIA DE COLOMBIA FRENTE A FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS**

**PRIMER INFORME DE AVANCE**

**Versión 1.0**

Elaborado por:

Natalia Cecilia Hernández Escobar  
María Cristina Vargas Triana  
Milton Romero Ruiz  
Adriana Sarmiento Dueñas  
Astrid Pulido

Bogotá, enero 30 de 2015

## TABLA DE CONTENIDO

1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
2. MARCO METODOLÓGICO .....	2
2.1. Definición de las unidades de análisis .....	2
2.1.1. Delimitación de la red vial primaria .....	2
2.1.2. Disponibilidad de información sobre la Red Vial Nacional .....	3
2.2. Selección y cálculo de indicadores .....	4
2.2.1. Indicadores de Amenaza .....	4
2.2.2. Indicadores de Exposición .....	4
2.2.3. Indicadores de Vulnerabilidad.....	4
2.2.4. Análisis de Riesgo .....	5
2.3. Recopilación y sistematización de información .....	5
2.3.1. Elaboración de bases de datos .....	6
2.3.2. Elaboración de <i>geodatabase</i> .....	6
3. BIBLIOGRAFÍA .....	7

## 1. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual propuesto para identificar el riesgo climático<sup>1</sup> de la red vial primaria frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos, se basa en los modelos adoptados a nivel nacional en el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Departamento Nacional de Planeación, 2012) y a nivel internacional por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2014).

De acuerdo a ellos, el riesgo depende del tipo de amenazas o peligros sobre los sistemas socio-económicos y los ecosistemas, de su nivel de exposición debido a su ubicación geográfica, y de sus condiciones de vulnerabilidad para ser afectados negativamente frente a las amenazas o peligros. Esta se puede expresar como se presenta en la Figura 1. El riesgo también puede entenderse como la combinación de un evento, su posibilidad y sus consecuencias.

$$\text{Riesgo} = f(\text{amenaza} + \text{exposición} + \text{vulnerabilidad})$$

Figura 1. Ecuación para el cálculo del riesgo.

En el marco de este estudio, los cambios en el clima representan la amenaza que afecta a la red vial en el país a través de la variabilidad climática observada con mayor intensidad en los fenómenos del Niño y la Niña, y el cambio en la temperatura y la pluviosidad previstos para los próximos 100 años.

La exposición está dada por la presencia de la red vial en una localización donde puede ser afectado por la manifestación de una amenaza, debido a las características del terreno como, por ejemplo: fallas geológicas, pendiente o salinidad.

A su vez, la vulnerabilidad resulta de la sensibilidad a ser afectado negativamente por las amenazas y de su capacidad de adaptación para anticipar, mitigar o recuperarse de los efectos de los disturbios o afectaciones de forma eficiente y oportuna (Figura 2).

$$\text{Vulnerabilidad} = f(\text{sensibilidad} + \text{capacidad adaptativa})$$

Figura 2. Ecuación para el cálculo de la vulnerabilidad.

La sensibilidad se considera como la predisposición física de la red vial, en este caso, de ser afectada por las amenazas debido a las condiciones intrínsecas del contexto en el que se encuentran, como la susceptibilidad a inundación, deslizamiento, erosión o desertificación.

Finalmente, la capacidad adaptativa es aquella que tiene el sistema del cual hace parte la red vial, para enfrentar y recuperarse ante un evento o serie de eventos por medio de los cuales se materialice la amenaza. La capacidad de adaptación resulta entonces de la interrelación de las

---

<sup>1</sup> Se entiende como el riesgo asociado con amenazas de origen hidrometeorológico, que se debe evaluar, entre otros, para escenarios de cambio climático (Departamento Nacional de Planeación, 2012).

siguientes dimensiones: social, económica, político-institucional, biofísica y de infraestructura, que caracterizan la relación de la sociedad con la red vial y el territorio que esta ocupa o sirve.

En este marco conceptual cuando una amenaza se materializa en un evento (inundación, incendio, derrumbe, etc.), la exposición en su posibilidad de ocurrencia y la vulnerabilidad en sus consecuencias, entonces el riesgo se traduce en impactos sociales, económicos, políticos y ambientales, entre otros. La relación entre los diferentes factores que determinan el riesgo de la red vial primaria frente al cambio climático se esquematiza en la Figura 3.

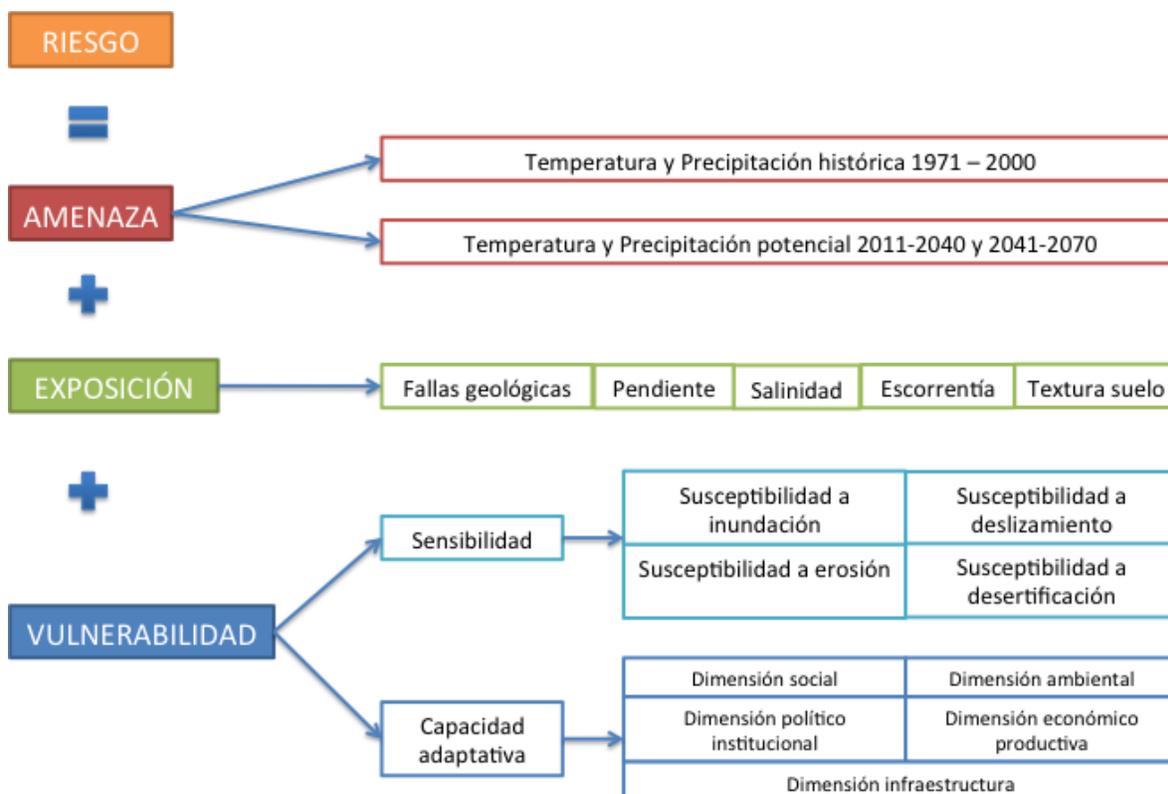


Figura 3. Marco conceptual para el análisis de riesgo climático de la red vial primaria de Colombia.

## 2. MARCO METODOLÓGICO

### 2.1. Definición de las unidades de análisis

El primer paso para identificar el riesgo climático de la red vial primaria de Colombia consiste en definir las unidades de análisis. Para ello se tendrán en cuenta los siguientes aspectos: definición de la red vial primaria y disponibilidad de la información sobre la red vial primaria.

#### 2.1.1. Delimitación de la red vial primaria

La categorización de las vías se estableció en el artículo 1 de la Ley 1228 de 2008, de la siguiente manera:

“Para efectos de la aplicación de la presente ley, las vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras o Red Vial Nacional se denominan arteriales o de primer orden, intermunicipales o de segundo orden y veredales o de tercer orden. Estas categorías podrán corresponder a carreteras a cargo de la Nación, los departamentos, los distritos especiales y los municipios. El Ministerio de Transporte será la autoridad que mediante criterios técnicos, determine a qué categoría pertenecen”.

En desarrollo de esta norma, mediante la Resolución 1240 de 2013 el Ministerio de Transporte adoptó los criterios técnicos, la matriz y la guía metodológica para la categorización de las vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras o Red Vial Nacional. Se definen las vías de primer orden como:

“aquellas que cumplan con la función de integrar las principales zonas de producción y consumo del país, y de este con los demás países, que comuniquen con los puertos y aeropuertos de nivel nacional e internacional y que su construcción y/o mejoramiento se haya realizado por compromiso del Gobierno a través de convenios o pactos internacionales, el volumen de tránsito sea igual o superior a 700 vehículos diarios, estén construidas en doble calzada o calzada sencilla, esta última mayor o igual a 7,30 m de ancho. La población corresponderá a la de ciudades capitales de departamento o de poblaciones fronterizas y/o puertos y las demás especificaciones geométricas corresponden a las de carreteras primarias del Manual de Diseño Geométrico de 2008 de Inviás o el que se encuentre vigente”.

De acuerdo a esta norma, el Ministerio de Transporte se encuentra realizando actualmente el proceso de recategorización de la Red Vial Nacional, por lo que para efectos del presente estudio resulta imprescindible la información que dicho Ministerio facilite respecto a las vías de las diferentes categorías, en especial de la red vial primaria, que se encuentren vigentes actualmente.

### **2.1.2. Disponibilidad de información sobre la Red Vial Nacional**

La calidad de la información disponible sobre las vías en sus diferentes categorías y particularmente de aquellas de primer orden, es un factor determinante para el alcance del análisis de riesgo. Los aspectos a tener en cuenta son:

- **Escala.** Cuanto más detallada sea la información, mayor será la precisión de análisis, pues en una escala detallada (por ejemplo: 1:5.000 a 1:10.000) los diferentes componentes del sistema vial son representados como polígonos; mientras que en una escala más general (> 1:25.000) las vías son representadas como líneas y sus componentes (peajes, puentes, etc.) son representados como puntos.
- **Cobertura.** Es necesario contar con la información de toda la Red Vial Nacional en el país, específicamente de la red vial primaria, independientemente de la(s) entidad(es) que estén a su cargo (INVIAS, ANI, departamentos, municipios, distritos especiales). No es posible realizar un análisis apropiado si la información disponible es fragmentaria o está desactualizada.
- **Formato.** La información cartográfica debe estar en formato shape o file geodatabase, contar con sus respectivos metadatos y permitir el relacionamiento con información alfanumérica incluida en su tabla de atributos o facilitada a través de bases de datos en formato excel. Este factor de comparabilidad permitirá realizar el procesamiento de cada uno de los tramos viales y relacionarlo con los demás niveles de información que sean recopilados para el análisis.

## **2.2. Selección y cálculo de indicadores**

A partir del marco conceptual planteado para el análisis de riesgo, se seleccionan los indicadores a ser utilizados teniendo en cuenta aquellos sugeridos de manera preliminar en el Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria en Colombia (Ministerio de Transporte, 2014), aquellos usados en otros estudios similares a nivel nacional e internacional y la información oficial disponible.

Para efectos de este estudio se sigue la definición de la UNODC y el MAVDT (Chavarro, García, García, Pabón, Prieto, & Ulloa, 2008) según la cual los indicadores son “valores numéricos o adjetivos que se le asignan a unas condiciones o características actuales específicas de un sistema o asentamiento, a partir de su relación o debilidad frente al cambio del clima. Estos permiten identificar o determinar a través de una integración de valores (a través de una fórmula, ecuación o esquema relacional), el grado o nivel en que este se encuentra o se verá afectado”.

Algunos de los indicadores que sean seleccionados pueden ser parámetros, es decir, propiedades que pueden ser medidas u observadas y que individualmente o en conjunto pueden constituirse como indicadores (OECD, 1994).

### **2.2.1. Indicadores de Amenaza**

La variabilidad climática se establecerá a partir de las tendencias de precipitación y temperatura (1971-2000) y de los escenarios de cambio climático (2011-2040) para los mismos parámetros, que fueron identificados y modelados por el IDEAM para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (IDEAM, 2010).

El grado de amenaza sobre cada una de las unidades de análisis que sean definidas se determina a partir de la variación entre la línea base (tendencia 1971-2000) y el escenario de cambio climático (2011-2040) que sea utilizado, de acuerdo a los datos que sean facilitados por el IDEAM.

Los rangos de variación de temperatura (°C) y precipitación (mm/año) que sean obtenidos para cada una de las unidades de análisis se normaliza entre dos valores extremos (cambio y no cambio) asignándoles a su vez rangos indicativos del nivel de cambio en cinco cuartiles, a cada uno de los cuales se le asigna un color de tipo semáforo. La asignación de colores se hará teniendo en cuenta que: a mayor variación, mayor el nivel de amenaza.

### **2.2.2. Indicadores de Exposición**

Los indicadores de exposición se seleccionan teniendo en cuenta algunas características del terreno en la cual se ubican las unidades de análisis, como son: fallas geológicas, pendiente, salinidad, escorrentía y textura del suelo.

El nivel de exposición de cada unidad de análisis se calcula a partir de la suma de los valores normalizados de cada uno de los indicadores en cinco cuartiles. A los rangos de valores de cada indicador se le asigna un color tipo semáforo, teniendo en cuenta su nivel de incidencia positiva o negativa en el nivel de exposición.

### **2.2.3. Indicadores de Vulnerabilidad**

El cálculo de vulnerabilidad se realiza a partir de dos grupos de indicadores: sensibilidad y capacidad adaptativa.

## Indicadores de Sensibilidad

El nivel de sensibilidad de las unidades de análisis se calculará a partir de la suma de los valores normalizados de cada uno de los indicadores relacionados con la susceptibilidad del terreno en el cual se encuentran frente los efectos originados por la variabilidad climática como inundaciones, deslizamientos, erosión o desertificación.

A los rangos de valores de cada indicador se le asigna un color tipo semáforo, teniendo en cuenta que a mayor sensibilidad, mayor vulnerabilidad.

## Indicadores de Capacidad Adaptativa

A diferencia de los indicadores de Amenaza, Exposición y Sensibilidad que se refieren principalmente a propiedades biofísicas del entorno natural (clima, suelo, topografía, etc.) en el que se encuentran las unidades de análisis, los indicadores de Capacidad Adaptativa se refieren a las cuatro dimensiones asociadas tradicionalmente con el concepto de desarrollo sostenible: ambiental, económica, social e institucional (Suárez Olave, 2003). Adicionalmente, se incluye la dimensión infraestructura por considerarla un componente fundamental de las unidades de análisis que debe ser tenido en cuenta, a futuro, en la definición de estrategias de adaptación al cambio climático.

El nivel de capacidad adaptativa se determina a partir de la suma de los valores normalizados de cada una de las dimensiones en cinco cuartiles. A los rangos de valores de cada dimensión se le asigna un color tipo semáforo, teniendo en cuenta su nivel de incidencia positiva o negativa en el nivel de capacidad adaptativa teniendo en cuenta que a cuanto mayor es su valor, menor es su vulnerabilidad.

La capacidad adaptativa de cada una de las cinco dimensiones se calcula a partir de la suma de los valores normalizados de cada indicador en cinco cuartiles. A los rangos de valores de cada indicador se le asigna un color tipo semáforo, teniendo en cuenta su nivel de incidencia positiva o negativa en cada dimensión.

### 2.2.4. Análisis de Riesgo

Los valores de amenaza, exposición y vulnerabilidad obtenidos a partir de los indicadores, serán sumados para obtener el nivel de riesgo climático de cada unidad de análisis. El valor final obtenido también será normalizado en cinco cuartiles y representado en una escala de colores tipo semáforo.

### 2.3. Recopilación y sistematización de información

Una vez definidas las unidades de análisis y los indicadores, se recopilar la información oficial (alfanumérica y cartográfica) a través de reuniones y/o requerimientos realizados por 4D Elements Consultores con el apoyo de E3/CDKN Colombia a las entidades responsables de su generación o administración, y a través de los portales de internet.

A partir del Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria en Colombia se identifican como fuentes de información, las siguientes entidades:

- Ministerio de Transporte
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

- Agencia Nacional de Infraestructura (ANI)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR)
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
- Parques Nacionales Naturales de Colombia
- Servicio Geológico Nacional

### **2.3.1. Elaboración de bases de datos**

La información alfanumérica recopilada y generada a partir de información cartográfica se sistematiza en bases de datos (*Excel*) organizadas con base en las unidades de análisis, para las cuales se establece el valor de cada uno de los indicadores, sus rangos, rangos normalizados y cuartiles según el sistema de semáforo.

A partir de las bases de datos de los indicadores normalizados se elaboran bases de datos independientes para: Amenaza, Exposición y Vulnerabilidad.

Para elaborar bases de datos en las que se relacione información cartográfica con información alfanumérica, es necesario que la información facilitada por las fuentes y aquella procesada para cada indicador tengan al menos un atributo común que permita referenciar los datos al plano geográfico.

Con base en la información cartográfica generada a partir de los indicadores, se elabora una *geodatabase* del riesgo climático.

### **2.3.2. Elaboración de *geodatabase***

La *geodatabase* es una colección de datos geográficos que se organiza en una carpeta del sistema de archivos común con una base de datos, cuya función principal es la edición y administración de los datos. Cuentan con una serie de tablas que almacenan clases de entidad, *datasets* ráster y atributos y permite realizar análisis espacial a partir de la integridad espacial.

En el marco del análisis de vulnerabilidad se organizará una *geodatabase*, considerando el sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS, de acuerdo con los parámetros nacionales. Esta contendrá la información básica y temática pertinente para el análisis, así como la información producto de esta consultoría, organizada en *feature dataset* correspondientes a cada componente (amenaza, exposición, vulnerabilidad, unidad de análisis). Junto con esto se incluye la información ráster correspondiente al modelo digital de elevación (DEM). Cabe resaltar que en el tema de metadatos se seguirán los parámetros oficiales bajo el formato FGDC de ArcGIS, a saber:

MAGNA\_Colombia\_Bogota  
 WKID: 3116 Authority: EPSG  
 Projection: Transverse\_Mercator  
 False\_Easting: 1000000,0  
 False\_Northing: 1000000,0

Central\_Meridian: -74,07750791666666  
Scale\_Factor: 1,0  
Latitude\_Of\_Origin: 4,596200416666666  
Linear Unit: Meter (1,0)

Geographic Coordinate System: GCS\_MAGNA  
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433)  
Prime Meridian: Greenwich (0,0)  
Datum: D\_MAGNA  
Spheroid: GRS\_1980  
Semimajor Axis: 6378137,0  
Semiminor Axis: 6356752,314140356  
Inverse Flattening: 298,257222101

### 3. BIBLIOGRAFÍA

Departamento Nacional de Planeación. (2012). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. ABC: Adaptación bases conceptuales. Marco conceptual y lineamientos*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2014). *Cambio Climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (Resumen para responsables de políticas ed.). Ginebra, Suiza.

Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Revista Colombiana de Geografía*, 22 (2), 17-33.

Magaña, V. (2013). *Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático*. Informe 3, INE, SEMARNAT y PNUD, México D.F.

Ministerio de Transporte. (2014). *Plan Vías CC: vías compatibles con el clima. Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria de Colombia*. Mintransporte, DNP, Minambiente, Elaborado con el apoyo técnico de E3 Ecología, Economía y Ética, y GSD PLUS S.A.S., Bogotá.

OECD. (1994). *OECD Environmental indicators. Development, measurement and use*. Reference Paper, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

IDEAM. (2010). *2ª Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Bogotá, Colombia.

Suárez Olave, D. (2003). Indicadores e índices ambientales. Marco teórico de indicadores. *Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos de Desastres Naturales*, 19. Manizales, Colombia: Banco Interamericano de Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia.

Chavarro, M., García, A., García, J., Pabón, J., Prieto, A., & Ulloa, A. (2008). *Preparándose para el futuro: Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al cambio climático*. material de Difusión y socialización N° 3, UNODC, MAVDT, Universidad del Rosario, Bogotá.