

# Perfiles de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante amenazas naturales

## INTRODUCCION

Los países de América Central son susceptibles a una variedad de fenómenos naturales con gran capacidad destructiva, a causa de las características geológicas, climáticas y ambientales de la región, en donde se combinan la interacción de varias placas tectónicas y la acción de varios fenómenos climáticos. En el pasado, huracanes, terremotos y erupciones volcánicas han provocado la destrucción total de asentamientos humanos e incluso la reubicación completa de poblaciones y de infraestructura. Solamente en los últimos 30 años, la región ha sido afectada por varios huracanes que han tenido un gran impacto socioeconómico: Fifi (1974), Joan (1989), César (1996) y Mitch (1998). En el mismo periodo han ocurrido varios sismos que han causado gran destrucción: Managua, Nicaragua (1972), Guatemala (1976), San Salvador (1986), Región Caribe de Costa Rica y Panamá (1991) y El Salvador (2001). También han sido frecuentes, en la breve historia de nuestros países, los desastres generados por erupciones volcánicas. Otros fenómenos, tales como las inundaciones, deslizamientos de tierra y flujos de lodo generados por lluvias intensas y/o prolongadas, se presentan como eventos de magnitud menor pero sus consecuencias son importantes para el desarrollo social y económico por su mayor frecuencia.

Durante la década de los años 1990, bajo el patrocinio de organizaciones internacionales tales como Naciones Unidas y la Organización de Estados Americanos, se desarrollaron varias iniciativas para la reducción del impacto negativo de los fenómenos naturales en todo el mundo. En América Central se ha reconocido la necesidad de incorporar medidas de mitigación dentro de los planes de desarrollo de la región, especialmente después de la gran destrucción dejada por el huracán Mitch en el año 1998. En octubre de 1999, los gobernantes de la región reunidos en Guatemala decretaron el Quinquenio para la Reducción de Vulnerabilidad y establecieron el Marco Estratégico para la Reducción de Vulnerabilidades y Desastres

en Centroamérica.

La infraestructura de transporte es uno de los bienes públicos que resulta más afectado en caso de ocurrir un evento destructivo y, consecuentemente, se han realizado ya algunos estudios que van desde el planteamiento de "estrategias generales" para la región, tales como las que presenta el documento del Sistema de la Integración Económica Centroamericana (SICA) titulado "Estrategia del Sector Transporte para su Incorporación en el Plan Básico del Plan Regional De Reducción de Desastres" (LANAMME, 2000) hasta propuestas de solución para problemas y diseños de obras específicas o de medidas no estructurales de mitigación en algunos países. Uno de los estudios más recientes, realizado bajo el patrocinio de la Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de OEA y el Departamento de Transporte de los Estados Unidos, es un documento de trabajo titulado "Estudio General sobre los Tramos Vulnerables de la Carretera Panamericana y sus Corredores Complementarios en Centroamérica", cuyos resultados se analizan en este documento.

### *Estudio General sobre los Tramos Vulnerables de la Carretera Panamericana y sus Corredores Complementarios en Centroamérica*

El estudio fue realizado durante el año 2000 por personal de los ministerios de transporte de los países de la región, bajo el patrocinio de la Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la OEA y el Departamento de Transporte de los Estados Unidos. El documento de trabajo con los resultados se publicó en marzo de 2001 y en él se presentan los "perfiles de vulnerabilidad" de la Carretera Panamericana desde Guatemala hasta Panamá y algunos perfiles de proyectos y estimaciones de costos de obras de mitigación.

Además de presentar los perfiles, las principales conclusiones del estudio son las siguientes:

Aunque la Carretera Panamericana es la vía más importante para el transporte en Centro América,

Dr. William Vargas  
Laboratorio Nacional de Materiales  
y Modelos Estructurales (LANAMME)  
Universidad de Costa Rica

aún no existe suficiente información sobre los peligros naturales en todas las zonas que atraviesa, que permita conocer mejor su vulnerabilidad o incorporarla en la preparación de proyectos de inversión.

La carencia de mapas temáticos de peligros naturales en algunos países, encarece los estudios de vulnerabilidad porque deben ser sustituidos por estudios específicos y levantamientos de campo. Estos mapas son uno de los elementos básicos del estudio.

No existe integración interinstitucional a nivel nacional en la generación, distribución y uso de información sobre los peligros naturales.

Institucionalmente, la planificación y la reducción de vulnerabilidad a los peligros naturales de la infraestructura vial se manejan en forma separada, a pesar de ser complementarias.

**Cuadro 1. Clasificación general de productos ingenieriles, elementos y escalas necesarias en la gestión de riesgos naturales de la infraestructura vial**

Escalas	Elementos básicos (Estudios y herramientas)	Productos
1: 200 000 1: 100 000	Mapas de amenazas (zonificaciones) • Topografía • Geología • Geomorfología • Suelos Levantamiento de infraestructura Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Perfiles generales de vulnerabilidad potencial (exposición) Total de infraestructura en peligro potencial Evaluaciones "macro"
1: 50 000 1: 25 000	Mapas de amenazas (microzonificaciones) • Topografía • Geología • Geomorfología • Suelos Fotografía aérea Inventario y avalúo de infraestructura Censos de población Modelación de eventos y "escenarios" con SIG	Perfiles detallados de vulnerabilidad potencial (exposición) Perfiles de vulnerabilidad de infraestructura Perfiles de vulnerabilidad de población Perfiles de proyectos de mitigación
1: 10 000	Monitoreo de amenazas	Sistemas de alerta temprana
1: 7 500 1: 5 000	Parámetros de amenaza específicos para el sitio Restitución fotogramétrica o levantamiento topográfico Levantamiento geológico y geotécnico de campo Pruebas de campo y laboratorio Modelación matemática de eventos	Selección de alternativas para obras de mitigación Diseños de obras específicas Presupuestos detallados

Los técnicos y tomadores de decisiones en la planificación vial tienen poca preparación en la gestión del riesgo, metodologías de evaluación y reducción de la vulnerabilidad.

No existen criterios regionales sobre niveles de vulnerabilidad aceptables en el sector.

No existen enfoques conceptuales comunes entre los países de la región para el tratamiento del tema.

Entre las recomendaciones más importantes del estudio sobre vulnerabilidad a peligros naturales de los principales corredores viales se destacan las siguientes:

Se debe complementar la información faltante en el estudio sobre vulnerabilidad a algunos peligros no considerados o no cuantificados y actualizar los estudios nacionales anualmente.

Es necesario ampliar el estudio para incluir la vulnerabilidad de los corredores complementarios a

la Carretera Panamericana que puedan ser alternos en caso de que ésta sufra una interrupción por un fenómeno natural o deba ser cerrada para rehabilitación por un largo periodo.

La evaluación de la vulnerabilidad del sector transporte debe considerar su dimensión multimodal (modos: vial, ferroviario, marítimo y aéreo) y combinarse con la de los sectores agricultura, energía y turismo en la misma región, unidos bajo el concepto de "corredor de comercio". Para alcanzar ese objetivo se debe fortalecer y hacer más eficiente el intercambio de información entre sectores.

Para la toma de decisiones en inversión se deben definir y adoptar niveles aceptables de vulnerabilidad a los peligros naturales basados en acuerdos regionales.

Para que la gestión del riesgo a peligros naturales y la reducción de vulnerabilidad sean incorporados como parte primordial en la formulación, evaluación y diseño de proyectos de inversión y obras de mitigación en transporte, se debe capacitar al personal técnico de las unidades de planificación vial y los tomadores de decisiones en la temática.

Por la variedad de enfoques actuales aplicados en la evaluación de vulnerabilidad, es necesario desarrollar una metodología estándar a nivel regional, basada en la información científica e histórica disponible.

Este documento pretende hacer un aporte en el sentido señalado por algunas de estas recomendaciones y alcanzar el objetivo de tener un enfoque regional para la evaluación de vulnerabilidad de la infraestructura vial de la región, que sea integrado, pero al mismo tiempo flexible y adaptable, a las particularidades de cada país o grupo de trabajo.

### Conceptos básicos de la gestión del riesgo

Los fenómenos naturales de una región tienen consecuencias severas para su desarrollo tanto a corto como a largo plazo y, por lo tanto, la sustentabilidad del desarrollo humano en una región depende de la posibilidad de mitigarlas y reducir el riesgo. El riesgo de una región es el resultado de la combinación de la acción potencial de una amenaza determinada con las condiciones de vulnerabilidad o fragilidad de la infraestructura y

de la población en la zona afectada. Para niveles de amenaza similares, el impacto de los fenómenos adversos dependerá de la vulnerabilidad y la única posibilidad actual de reducir el riesgo se basa en la reducción de esa vulnerabilidad.

El riesgo en un sentido general es el daño o pérdida potencial que puede sufrir la producción, la infraestructura o la sociedad (la población) como consecuencia de factores que no fueron considerados en el diseño, que no fueron controlados en el proceso de construcción o desarrollo y/o que no son atendidos durante la gestión y operación de los proyectos. El riesgo ante amenazas naturales es consecuencia directa de la existencia de población e infraestructura en condiciones vulnerables en una región en donde ocurren fenómenos naturales destructivos. De esta definición es evidente que el riesgo es una función de muchos parámetros que varían espacial y temporalmente.

La gestión o manejo del riesgo ante amenazas naturales es la administración de recursos para la reducción de las consecuencias negativas de los fenómenos naturales, tanto sociales como económicas, a nivel público y privado. Para evaluar y manejar el riesgo son necesarios elementos y enfoques amplios e integrados de disciplinas variadas que tienen en común el manejo de información distribuida geográficamente. Dado que, en la mayoría de los casos, los fenómenos naturales no son pronosticables o controlables con el conocimiento científico y la tecnología existentes, los enfoques probabilísticos son los más utilizados en la actualidad.

Para fijar metas en la implementación de medidas de mitigación o reducción del riesgo es necesario definir el nivel de riesgo aceptable. La posibilidad de reducir el riesgo se basa en su cuantificación, en alguna forma que permita tomar decisiones. Para ese propósito se debe realizar una evaluación del impacto socioeconómico de fenómenos probables en la condición actual en función de indicadores tales como el costo de reposición de la infraestructura que resultaría dañada o el tamaño de la población que resultaría afectada. A partir de esa evaluación, se puede estudiar la relación costo / beneficio de proyectos de mitigación o reducción de ese riesgo (acciones correctivas y preventivas) y definir prioridades de inversión.

La cuantificación apropiada del riesgo requiere de la

evaluación de sus componentes más importantes, i.e., la evaluación de la amenaza o peligro y de la vulnerabilidad ante ese peligro.

#### Amenaza o peligro natural:

Una amenaza es cualquier fenómeno con efectos potencialmente destructivos para la infraestructura y la población de una región. Las amenazas naturales son el conjunto de fenómenos producidos por la actividad geodinámica (interna) y la hidrometeorológica o atmosférica (externa) del planeta, que afectan su superficie de diversas maneras, generalmente con eventos destructivos de corta duración. Entre los fenómenos de mayor peligrosidad de origen interno están los sismos y erupciones volcánicas y entre los de origen externo están las tormentas extremas, huracanes (tifones, ciclones) y tornados. Existen otras amenazas naturales cuyos efectos destructivos requieren de un periodo mayor de acción, tales como las sequías, la expansión y contracción de suelos arcillosos y la erosión causada por el viento y el mar. Las amenazas antrópicas o creadas por el hombre son el resultado del manejo inadecuado de la tecnología y sus efectos sobre el medio ambiente y la sociedad.

Los fenómenos naturales que produce la actividad del planeta tienen efectos directos e indirectos que son los causantes de destrucción, daños y pérdidas.

La actividad hidrometeorológica genera inundaciones, deslizamientos de tierra, flujos de lodos, erosión y sedimentación.

Los sismos generan movimientos fuertes del terreno, deslizamientos de tierra, licuación de suelos y tsunamis.

Las erupciones volcánicas producen efectos de caída de piroclastos de distintos tamaños, flujos piroclásticos, flujos de lava y lahares.

Algunos tipos de suelos presentan ciclos de expansión y contracción con los cambios de humedad estacionales, colapso o grandes deformaciones al ser cargados.

Las amenazas se caracterizan con base en la probabilidad de ocurrencia o el período de retorno de eventos potencialmente destructivos, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo. El potencial destructivo de los eventos debe ser caracterizado en términos de sus efectos sobre la

infraestructura y la población.

**Susceptibilidad:**

La susceptibilidad es una medida de la influencia de las condiciones locales del terreno (características de los suelos, geología y topografía) sobre los efectos de un fenómeno natural en una región, sin considerar la recurrencia en el tiempo y los factores disparadores de eventos, por lo que puede ser más fácil de determinar y caracterizar que la amenaza total. La evaluación de la susceptibilidad permite conocer la distribución espacial de las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de fenómenos tales como deslizamientos de tierra e inundaciones, independientemente de los factores detonantes (lluvia, sismo, etc.). La evaluación de amenazas naturales a nivel detallado (microzonificación) debe incluir la evaluación de susceptibilidad. Por ejemplo, la microzonificación de la amenaza sísmica debe incluir la delimitación de zonas susceptibles a amplificación del movimiento del terreno, zonas con potencial de deslizamientos, licuación de suelos e impacto de tsunamis, entre otros.

**Vulnerabilidad:**

La vulnerabilidad es una medida del grado de daño o pérdida que puede sufrir la infraestructura o la población (denominados "elementos en riesgo"), como resultado de la ocurrencia de un evento de una magnitud especificada. La vulnerabilidad se relaciona directamente con la capacidad de la infraestructura y la población para responder adecuadamente a las demandas del medio y enfrentar las amenazas de la región y es determinante en la ocurrencia de un desastre. Entendida de esta manera, la vulnerabilidad es un factor netamente social y una medida del grado de sustentabilidad del desarrollo humano en una región.

Cuadro 2. Variables importantes en la generación, extensión y propagación de amenazas naturales.

Amenaza	Variables
Vibración sísmica	Magnitud de sismo Distancia a la fuente sísmica Condiciones geológicas y geotécnicas locales del terreno
Licuación de suelos	Nivel de agua subterránea Tipo y Resistencia del suelo Aceleración sísmica
Tsunami	Magnitud de sismo Mecanismo de ruptura Patrón de propagación e interferencia de ondas Topografía submarina costera
Caída de cenizas y piroclastos	Tipo y magnitud de erupción Tamaño de partículas Patrón regional y estacional de vientos
Flujos piroclásticos	Tipo y magnitud de erupción Topografía
Lahares (flujos de lodo)	Patrón de distribución de cenizas y piroclastos Intensidad y duración de precipitación Características hidrográficas e hidrológicas de las cuencas Tipo de cobertura superficial Topografía
Inundación	Intensidad y duración de precipitación Características hidrográficas e hidrológicas de las cuencas Tipo de cobertura superficial / Uso del suelo (vegetal, urbano) Topografía
Movimientos de masas de suelo	Geología Topografía
• Deslizamientos de tierra	Tipo de suelo
• Flujos de de detritos	Tipo de cobertura superficial / Uso del suelo Características hidrográficas e hidrológicas de las cuencas Resumen de precipitación
Expansión y contracción de arcillas	Aceleración sísmica Tipo de mineral arcilloso Precipitación promedio anual Variación estacional de precipitación

De acuerdo con el aspecto del riesgo que se esté considerando, la vulnerabilidad que se debe analizar será la física, socioeconómica, sanitaria, institucional, política o cultural, para mencionar algunos de sus aspectos. En la base de toda actividad humana está la infraestructura (vivienda, comercio, industria, servicios) y, por lo tanto, el riesgo total está vinculado directa o indirectamente a la vulnerabilidad física de la infraestructura. La vulnerabilidad física determina la magnitud de los daños materiales causados por un fenómeno natural. Los otros aspectos de la vulnerabilidad, en especial la vulnerabilidad socioeconómica de la población, son factores amplificadores o atenuadores del impacto de los efectos físicos de un evento destructivo.

La evaluación detallada de la vulnerabilidad física requiere de inventarios exhaustivos de la infraestructura dentro de una región específica, con sus características relevantes de resistencia o capacidad de respuesta a las demandas de los eventos peligrosos. La vulnerabilidad física de los sistemas vitales tales como carreteras, acueductos, líneas eléctricas, oleoductos, sistemas de recolección de residuos, etc., tiene dos aspectos: estructural y funcional. La vulnerabilidad estructural es la posibilidad de que un componente o todo el sistema sufra deterioro o daño ante las demandas que generan los fenómenos naturales. La vulnerabilidad funcional es la posibilidad de que el sistema pierda su función como resultado de las demandas. Evidentemente, la vulnerabilidad estructural de los componentes afecta directamente la funcionalidad de todo el sistema, pero se deben analizar también las características y propiedades del sistema considerado como una red de componentes interconectados, en la cual algunos componentes pueden asumir parcial o totalmente la función de otros.

El nivel de daño se puede expresar como un porcentaje de la capacidad perdida, considerando el 100% como la falla o pérdida total de la función para la cual el componente o sistema fue diseñado. El daño total puede ser definido con otros criterios que no son necesariamente la falla mecánica o el colapso del sistema. Además, se pueden definir niveles o umbrales de daño especificados, que se asocian con diferentes niveles de funcionalidad, como por ejemplo, los de daño no estructural, de interrupción del funcionamiento de sistemas de abastecimiento y equipos electromecánicos, de daño estructural

**Cuadro 3. Efectos de las amenazas naturales sobre la infraestructura vial.**

<b>Característica de la amenaza</b>	<b>Posibles efectos en la infraestructura vial</b>
Vibraciones causadas por vientos fuertes y sismos	Daños estructurales en puentes incluido el colapso
Deformaciones permanentes del terreno causadas por movimientos de masas y/o licuación de suelos	Daños estructurales en puentes incluido el colapso Falla de terraplenes Interrupción del tránsito por obstrucción, hundimiento o ruptura de pavimentos y accesos a puentes
Carga de agua y sedimento (inundación, flujos de lodo)	Interrupción del tránsito por inundación Socavación de pilas y accesos a puentes Destrucción y arrastre de pavimentos Falla de terraplenes
Expansión y contracción superficial del suelo	Ruptura de pavimentos, hundimientos

reparable y de daño estructural sin colapso.

En los países del tercer mundo la vulnerabilidad socioeconómica de la población está en estrecha relación con la vulnerabilidad total ante amenazas naturales. La relación se da de tres formas principales:

Las zonas marginales de los grandes centros urbanos, ocupadas por la población de menor ingreso, son terrenos con poco o sin valor comercial, que presentan mayor susceptibilidad a fenómenos naturales destructivos, tales como deslizamientos de tierra e inundaciones (factor de exposición).

Las zonas marginales poseen poca o ninguna cobertura en servicios públicos

El bajo ingreso de la población limita su capacidad de pagar por la seguridad y resistencia de sus viviendas ante los fenómenos naturales (factor de vulnerabilidad física).

La relación entre pobreza y desastre permite usar indicadores socioeconómicos de pobreza, tales como el nivel de ingreso (familiar, comunal, municipal, regional), además de la densidad de población para evaluar indirectamente la vulnerabilidad ante amenazas naturales. Sin embargo, la evaluación detallada de la vulnerabilidad social requiere de estudios demográficos para conocer el perfil socioeconómico y la capacidad de respuesta de la población expuesta a una amenaza.

Además de los aspectos de la vulnerabilidad de los sistemas antes mencionados, es importante considerar la vulnerabilidad institucional. La vulnerabilidad institucional ante desastres se basa en un análisis de fortalezas y debilidades, con referencia a estándares operacionales mínimos

necesarios para responder a las demandas que crean los eventos potencialmente desastrosos. Evidentemente, para reducir la vulnerabilidad institucional es necesario desarrollar capacidades entre el personal técnico y operativo, y mantenerla a través del tiempo.

Vulnerabilidad potencial o exposición:

La exposición es el aspecto potencial de la vulnerabilidad que se deriva directamente de la existencia de población y elementos de la infraestructura en áreas de amenaza. La exposición puede evaluarse preliminarmente mediante el examen de la ubicación geográfica de la infraestructura, el uso del suelo y la densidad de población en relación con las zonas de mayor amenaza. El conocimiento de la exposición permite obtener un inventario de elementos potencialmente en riesgo y es útil en la definición de las zonas de mayor prioridad para realizar estudios detallados, pero no es en realidad una evaluación de vulnerabilidad puesto que no permite establecer una relación entre magnitud de eventos y niveles de daño resultantes. La exposición es un indicador del daño máximo posible (potencial).

La diferencia entre exposición y vulnerabilidad real se puede explicar con un ejemplo aplicado a la infraestructura vial. A partir de un estudio de amenaza tipo "A" se pueden determinar la longitud total "X" de kilómetros de carreteras expuestas a eventos de magnitud "M". El valor "X" es una medida del daño máximo que podría sufrir la infraestructura de carreteras en eventos tipo "M" y como tal es información valiosa. Sin embargo, si en un evento específico de magnitud "M" se dañaran "Y" kilómetros de carreteras, se podría concluir que, en las mismas condiciones, otros eventos tipo "A" con magnitud "M", producirían un nivel o grado de daño que será aproximadamente igual "Y/X". Esa es

una medida más cercana a la vulnerabilidad real para eventos tipo "A", con magnitud "M".

En la evaluación del riesgo, es importante determinar la vulnerabilidad potencial o exposición y cuantificarla de alguna manera significativa, tal como en el ejemplo. Otras medidas de la exposición pueden ser el costo de reposición de los bienes y el volumen de productos transportados por unidad de tiempo.

#### Riesgo total:

El riesgo total es la cuantificación de todos los efectos probables de un determinado fenómeno. La cuantificación puede realizarse de acuerdo con el aspecto del riesgo que se considere, en términos de vidas humanas perdidas, personas heridas o pérdidas económicas.

Matemáticamente, el riesgo total es el producto de varios factores:

$$R_t = A * S * E * V \quad (\text{Ec. 1.})$$

En donde:

$R_t$  = riesgo total.

A = probabilidad de ocurrencia de eventos con magnitud especificada en el sitio, en un intervalo de tiempo dado (amenaza).

S = modificación de la magnitud de eventos por influencia de las condiciones locales del sitio (susceptibilidad).

E = cuantificación del total de elementos en riesgo (exposición).

V = nivel de daño de los elementos expuestos ante eventos de la magnitud

modificada (vulnerabilidad).

En la práctica, la susceptibilidad se incluye en la evaluación de la amenaza y la exposición en la de la vulnerabilidad, por lo que la ecuación anterior puede ser simplificada a su forma más conocida:

$$R = A * V \quad (\text{Ec. 2.})$$

Es decir,  $Riesgo = Amenaza * Vulnerabilidad$

El riesgo se expresa como una probabilidad de pérdidas en el intervalo de tiempo dado para la amenaza, cuantificadas de acuerdo con los parámetros con que se haya medido la exposición. Por ejemplo, el riesgo de la infraestructura vial de una región ante la amenaza sísmica se puede expresar en función de la longitud de kilómetros de carreteras que resultarían dañados por deslizamientos y/o licuación de suelos disparados por actividad sísmica con una determinada probabilidad de ocurrencia en un periodo definido. En lugar de los kilómetros de carreteras se pueden utilizar parámetros económicos que sean más significativos para los tomadores de decisiones, tales como el costo de las reparaciones, el volumen de productos que no podrían ser transportados, o, en caso de que se incluyera la vulnerabilidad funcional dentro del análisis, el incremento en la distancia y el tiempo para transportar productos entre dos puntos, por unidad de tiempo.

#### Evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo es la cuantificación de las posibles consecuencias de fenómenos naturales destructivos probables, de acuerdo con el nivel de severidad de la amenaza. El riesgo cuantificado se expresa como pérdida de vidas humanas, pérdidas económicas directas e indirectas, etc., en función de la probabilidad de ocurrencia de los eventos, o para casos específicos (escenarios probables).

La evaluación del riesgo se obtiene mediante la integración del análisis de amenaza y de vulnerabilidad. El análisis de las amenazas determina la magnitud o intensidad de los eventos, en forma determinística o probabilística, y caracteriza sus efectos temporal y espacialmente. El análisis de la vulnerabilidad determina el nivel de daño que sufriría la infraestructura, y a partir de éste, el impacto socioeconómico de los eventos, en función de su magnitud y recurrencia.

La cuantificación del riesgo es condición para la generación de los planes de mitigación y para

Cuadro 4. Parámetros de uso común en el análisis ingenieril de las amenazas naturales

Amenazas	Efectos	Parámetros de interés	
Sismos	Vibración	Acceleración máxima	
		Frecuencias predominantes	
	Licuación de suelos	Duración	
		Factor de seguridad	
Ruptura de falla en superficie	Desplazamientos permanentes		
Tsunami		Desplazamientos permanentes	
		Altura máxima	
		Velocidad	
Movimientos de masas de suelo	Deslizamientos	Tiempo de dilación del impacto	
		Factor de seguridad	
		Desplazamientos permanentes	
	Flujos	Volumen	
		Acceleración crítica	
Actividad Hidrometeorológica	Lluvia	Caudal	
		Altura de avenida	
	Inundación	Velocidad	
		Tamaño máximo de partícula	
	Socavación	Intensidad	
			Tiempo de concentración
	Actividad volcánica	Viento	Caudal
			Altura
		Caída de cenizas y piroclastos	Velocidad
			Tamaño de partículas
Actividad volcánica	Flujos piroclásticos	Velocidad	
		Tamaño de partículas	
	Flujos de lava	Velocidad	
			Caudal
	Lahares		Velocidad
Altura de avenida			
Tamaño de partículas			

definir proyectos específicos de reducción del riesgo. Puesto que los procesos asociados con las amenazas naturales dejan poco margen a la intervención preventiva del ser humano, la reducción del riesgo implica necesariamente la reducción de la vulnerabilidad de la infraestructura y de la población expuestas al riesgo. La magnitud y alcance de los posibles efectos de un desastre determina la prioridad de las obras de reducción de vulnerabilidad.

### **Productos de una evaluación del riesgo en infraestructura vial**

Los productos de una evaluación del riesgo van a depender de la escala en la cual se trabaje. En la práctica, las necesidades van desde la toma de decisiones con respecto a la reducción de vulnerabilidad a escala nacional hasta la inversión en obras específicas en sitios ya definidos como prioritarios. Cada producto está asociado con un nivel de detalle que implica una escala mínima apropiada, tal como se muestra en el **cuadro N° 1**.

El costo de un producto está asociado con la escala o nivel de detalle requerido. Por lo tanto, el detalle del estudio que se realice estará en función de la importancia estratégica y económica de la carretera, de su historial de eventos desastrosos y del propósito (desde planificación general de la inversión hasta el diseño específico de obras). Para infraestructura vial, el costo del análisis de un tramo de 100 km de carretera puede variar en el orden de miles de dólares para el nivel más general hasta cientos de miles de dólares en el nivel más detallado, sin incluir los costos de construcción de obras específicas, que pueden ascender a varios millones de dólares.

### **Evaluación de la amenaza**

La evaluación de las amenazas requiere de la realización de estudios geológicos, sismológicos, hidrológicos y geotécnicos para identificar y caracterizar los procesos geofísicos, geodinámicos e hidrometeorológicos, que actúan en la región, las variables que intervienen en los fenómenos y su caracterización mediante parámetros apropiados. Las variables principales de un fenómeno son los mecanismos de generación, la magnitud y sus características espaciales y temporales. **El cuadro N° 2** muestra las variables involucradas en los peligros naturales más importantes para la infraestructura

vial.

En general, las variables más importantes son la geología de la región, la topografía, las características hidrográficas e hidrológicas de las cuencas, el régimen de precipitación y las modificaciones en detrimento del ambiente realizadas por la actividad humana. Dado que las condiciones locales del terreno son un factor determinante para la magnitud de los efectos de un fenómeno natural, la evaluación detallada de la amenaza debe incluir necesariamente un estudio geotécnico que determine las características de resistencia y los posibles problemas de estabilidad y comportamiento dinámico del sitio.

La evaluación de la amenaza es la caracterización de los fenómenos con asignación de probabilidades de ocurrencia de eventos. Esta puede subdividirse en dos componentes: la probabilidad en el tiempo, generalmente asociada a períodos de retornos de eventos, y la probabilidad espacial, que indica la susceptibilidad de los sitios, sin importar el tiempo de ocurrencia de eventos. Para cada amenaza, una caracterización adecuada implica un análisis estadístico de las variables involucradas y una modelación de los procesos generadores de eventos, que pueden ser determinísticos y/o probabilísticos. De acuerdo con el detalle (escala), los productos finales de este proceso son mapas de amenaza (zonificaciones, microzonificaciones), parámetros para diseño general o valores específicos de esos parámetros para un sitio.

### **Parámetros de interés en la evaluación de amenazas**

Los parámetros de interés en la evaluación de una amenaza dependen del tipo de infraestructura o sistema que se desea analizar, dado que cada sistema y cada elemento de la infraestructura tiene una vulnerabilidad diferente para cada efecto de las amenazas. Las amenazas pueden ser clasificadas de acuerdo con la capacidad destructiva y la magnitud de sus efectos, es decir, de acuerdo con la vulnerabilidad de cada sistema, tipo de obra y elemento de la infraestructura. Esto permitiría establecer un peso relativo para los efectos de cada amenaza en caso de que se realice un análisis combinado, como en un perfil de exposición a amenazas.

**El cuadro N° 3** muestra un resumen de los daños que producen algunas de las amenazas naturales más importantes para la infraestructura vial.



Las deformaciones permanentes del terreno, en general, son los fenómenos más destructivos para la infraestructura vial, ya sea en el caso de estructuras puntuales como los puentes o de sistemas distribuidos en el espacio, como las carreteras. Ejemplos de destrucción de infraestructura causada por fallas del terreno abundan en las experiencias recientes del huracán Mitch (1998), los sismos de Limón, Costa Rica, en 1991, y El Salvador, en 2001. Las estructuras puntuales, tales como puentes y edificios sufren daños y destrucción también como resultado de las vibraciones y esfuerzos que produce el paso de las ondas sísmicas, la presión del viento, o el arrastre del agua en caso de inundación y maremoto.

Las amenazas se deben caracterizar mediante uno o varios parámetros que se puedan relacionar con el comportamiento de la estructura en consideración. Para obras de ingeniería civil, los parámetros más empleados son los de carga, movimiento y deformación, tales como fuerza, energía, presión, caudal, aceleración, velocidad, desplazamiento, etc., como se muestra en el **Cuadro No. 4**. La evaluación de amenaza debe definir la extensión geográfica y la recurrencia temporal de los parámetros listados en el **Cuadro N° 4**.

## REFERENCIAS:

1. *Organización de los Estados Americanos. Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Estudio general sobre los tramos vulnerables a los peligros naturales de la Carretera Panamericana y sus corredores complementarios en Centroamérica. Documento de trabajo. Washington, D.C. 2001.*
2. *Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Estrategia regional para la prevención y mitigación de desastres naturales en el sector transporte de Centroamérica. Documento de trabajo. SIECA. 2000*
3. *Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Metodología de análisis de vulnerabilidad de corredores viales ante sismos y lluvias intensas. Documento de trabajo para Taller Proyecto Procorredor. 2000*



**CONCRETO ASFALTICO NACIONAL S. A.**



**MATERIA PRIMA**



**OBRAS PUBLICAS**



**TELEFONO** 223-51-17 / 222-33-22  
222-49-32 / 223-94-91 / 221-36-38  
**FAX** 223-21-23 / 257-34-16  
**APARTADO** 1197-1000, SAN JOSE, COSTA RICA  
**E-MAIL** CONANSA@RACSA.SOL.CO.CR

**CONSTRUCCIÓN**