

# Perfiles de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante amenazas naturales **II Parte**

Dr. William Vargas  
 Profesor de la Universidad  
 de Costa Rica, Costa Rica

## Introducción

Esta segunda parte del artículo brinda mayores detalles sobre los elementos requeridos para la elaboración de perfiles de vulnerabilidad de la infraestructura vial, ante las amenazas naturales del entorno centroamericano.

A un nivel intermedio de costo y factibilidad para los países de América Central se encuentra la elaboración de análisis de las amenazas y el levantamiento de perfiles de

vulnerabilidad de carreteras importantes ante fenómenos naturales, a escalas entre 1:50.000 y 1:25.000. Se deberán analizar únicamente los tramos de las carreteras más importantes y que tengan mayor exposición a las amenazas naturales, según se haya determinado en estudios o etapas preliminares. En la Figura 1 se muestra un esquema básico recomendado para la elaboración de perfiles de vulnerabilidad de la infraestructura vial.

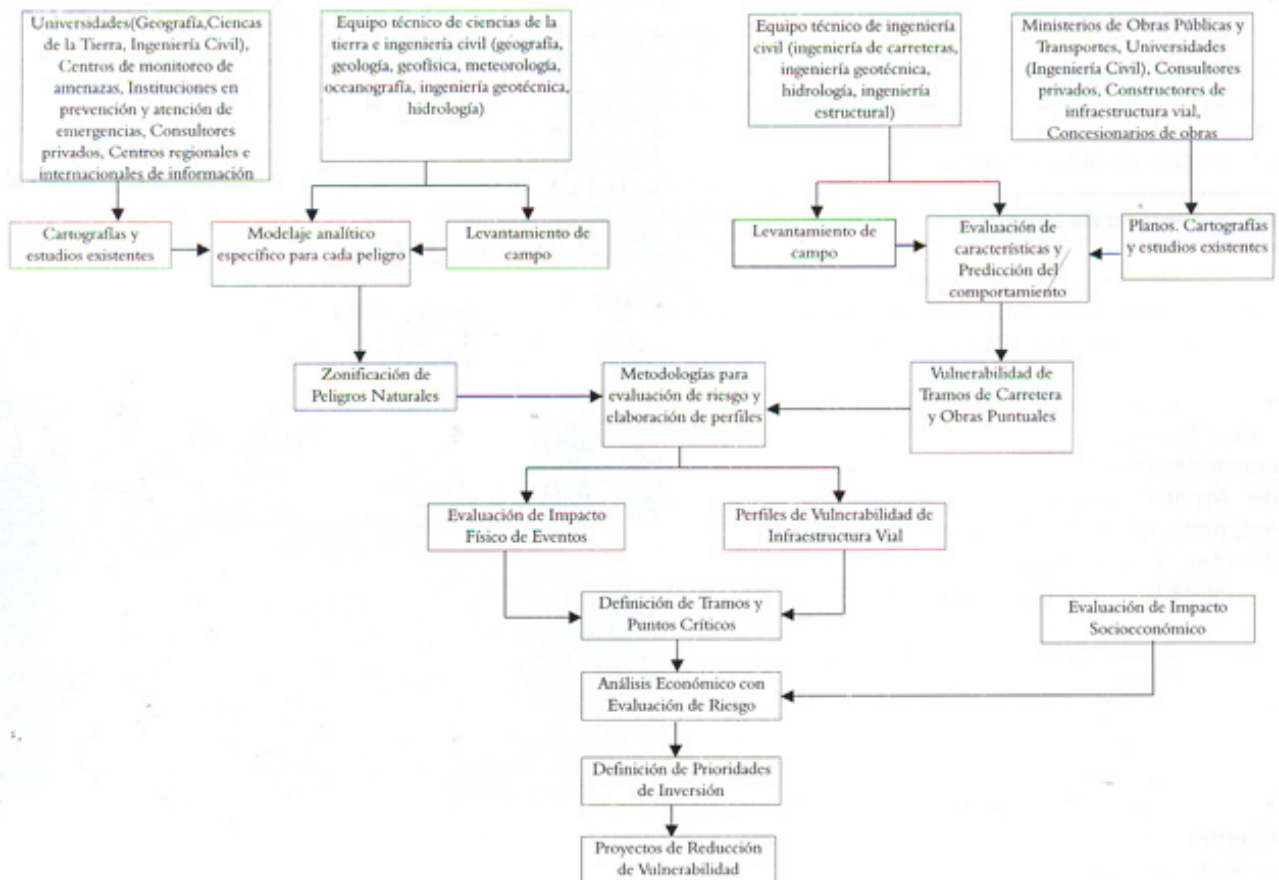


Figura 1: Esquema metodológico para la elaboración de perfiles de vulnerabilidad de infraestructura vial



## Objetivos y alcances de un perfil de vulnerabilidad detallado

El objetivo general de esos estudios debe ser un nivel de detalle que permita definir prioridades de inversión en mitigación y perfiles preliminares de proyectos específicos. A este nivel se podrán ubicar los problemas más importantes para establecer prioridades en la atención pero no se podrá realizar ningún diseño específico de obras de mitigación. Se podrán proponer algunas posibles soluciones que deberán ser analizadas con mayor detalle en una etapa posterior para generar los diseños específicos

Entre los objetivos específicos que se pueden alcanzar con este tipo de estudios están los siguientes:

- Detectar y caracterizar los tramos de la carretera con mayor amenaza de inestabilidad de taludes, flujos de lodo y detritos, inundación, socavación de márgenes, suelos expansivos y suelos licuables, mediante el análisis y combinación de la información existente en el SIG y realizar visitas al campo, con el fin de comprobar, actualizar y mejorar la información existente de las amenazas naturales que más le afectan.
- Elaborar un inventario del estado actual de los pavimentos, obras de drenaje, taludes, rellenos, alcantarillas y puentes de las carreteras y evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura.
- Analizar preliminarmente la capacidad de la infraestructura para resistir las acciones de la naturaleza, en particular los factores de seguridad por estabilidad de los taludes y rellenos, la seguridad de los puentes y sus accesos ante licuación de suelos y socavación y la capacidad de drenajes y alcantarillas para evacuar las avenidas máximas.
- Priorizar los tramos de mayor peligrosidad, con el fin de planificar la inversión en obras de mitigación de las amenazas.
- Sugerir lineamientos generales de las posibles obras de mitigación a realizar, con el fin de que las soluciones propuestas puedan ser estudiadas posteriormente con más detalle.

- Como resultados del estudio se obtendrán los siguientes productos:
- Inventario detallado de las amenazas de la carretera.
- Identificación de los sectores más críticos de la carretera: los puntos, las zonas y las estructuras más vulnerables.
- Propuestas de perfiles de proyectos y soluciones preliminares.

## Metodología para elaboración de perfiles detallados de vulnerabilidad de infraestructura vial

Para la realización de los perfiles detallados de vulnerabilidad se recomienda la siguiente metodología general:

### 1. Recolección de información existente

La información básica para un estudio es mapas, planos y fotografías aéreas de la carretera y de las cuencas atravesadas por la carretera; topografía, geología, geomorfología, hidrología, características geotécnicas, amenazas naturales, a escala mínima de 1:50.000 y preferiblemente 1:25.000. La información deberá ser digitalizada para facilitar su manejo posterior en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

### 2. Levantamiento de amenazas en el campo

Determinación de los tipos de formaciones geológicas y materiales por los que atraviesan las carreteras e inventario de los rasgos naturales indicadores de peligro, tales como manantiales, ríos y quebradas estacionales, deslizamientos antiguos y actuales, zonas de erosión de los márgenes de los ríos, escarpes y hundimientos en la vía.

### 3. Determinación de las zonas de mayor peligro

La integración de los estudios anteriores en un S.I.G. y la aplicación de metodologías de análisis específicas dará como resultado la identificación de las zonas con mayor amenaza potencial (inestabilidad de taludes, flujos de lodo y detritos, inundación, socavación de márgenes, suelos expansivos y suelos licuables). Los resultados se corroboran o complementan con la visita al campo. A este nivel se excluye la realización de estudios detallados de secciones y/o puntos específicos del corredor que requieran de información de alto costo, como por ejemplo fotogrametría detallada y ensayos geotécnicos y geofísicos. Ese tipo de estudio detallado es necesario para el diseño de obras de reducción de vulnerabilidad, en una fase posterior a la definición de zonas prioritarias.



#### **4. Inventario de infraestructura**

Levantamiento de ubicación y características de los pavimentos, taludes, rellenos, obras de drenaje (cunetas, alcantarillas) y puentes, con base en los mapas disponibles y visitas al campo. La visita comprobará las áreas de influencia sobre los taludes y las condiciones actuales de las alcantarillas y obras de drenaje existentes para evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura de las carreteras.

#### **5. Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura**

Análisis de estabilidad de los taludes y rellenos, la seguridad de los puentes y sus accesos ante licuación de suelos y socavación y la capacidad de drenajes y alcantarillas para evacuar las avenidas máximas. Este análisis debe basarse en la determinación previa de las amenazas y sus efectos y dará como resultado los puntos y las estructuras más vulnerables de los corredores viales.

#### **6. Elaboración de perfiles de proyecto y posibles soluciones**

Una vez identificadas las zonas, los puntos y las estructuras más vulnerables de los corredores viales, se pasará al planteamiento de posibles soluciones. El resultado de esta etapa serán los perfiles de futuros proyectos y las estimaciones preliminares de costos.

A continuación se da información más detallada sobre algunos pasos de la metodología.

##### **Evaluación detallada de la amenaza**

Las amenazas que se deberán evaluar se deben escoger en función de su potencial destructivo para la infraestructura vial y se deben diferenciar de acuerdo con el tipo de acción o carga que imponen a la misma y no con el fenómeno geofísico que las origina. Por lo tanto, las clasificaciones generales de amenazas en "sísmica", "volcánica" e "hidrometeorológica" no son de utilidad práctica, mientras que las clasificaciones específicas en "vibración

sísmica", "licuación de suelos", "fallamiento superficial", "lahar", "caída de piroclastos", "deslizamiento", "inundación", etc., son preferibles para el análisis y la evaluación posteriores.

El Cuadro 1 muestra la clasificación general de amenazas que se recomienda para elaborar perfiles de vulnerabilidad, basada en la forma en que afectan a los distintos componentes de la infraestructura vial. La gran variedad de acciones de las amenazas hace esta separación necesaria para evaluar sus posibles efectos destructivos sobre la infraestructura. Se puede observar que diferentes fenómenos producen los mismos tipos de amenaza, como es el caso de los deslizamientos de tierra generados tanto por actividad sísmica como por actividad hidrometeorológica.

La información recopilada inicialmente dictará la necesidad de hacer evaluaciones específicas para elaborar mapas temáticos de amenazas en caso de que no existan. La evaluación de las amenazas es compleja y requiere de información histórica que en muchos casos no existe en nuestros países, en particular en cuanto a sismos y erupciones volcánicas. Tal como fue definida anteriormente, la evaluación de la susceptibilidad a peligros tales como deslizamientos de tierra, licuación de suelos, flujos de lodos e inundaciones, se puede conseguir en forma relativamente sencilla a partir de mapas geológicos, topográficos y geotécnicos, con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La evaluación de la amenaza es la caracterización espacial de la severidad y frecuencia de los eventos. La caracterización adecuada de amenazas requiere de la realización de estudios (geológicos, sismológicos, hidrológicos y geotécnicos), una modelación de los procesos geofísicos (geodinámicos e hidrometeorológicos) generadores de eventos en la región y el análisis estadístico de las variables. Los procesos pueden ser modelados determinísticamente, si existe la información necesaria, o probabilísticamente para tomar en cuenta la falta de información histórica completa y la variabilidad temporal de las



amenazas. Las variables principales de un fenómeno son los mecanismos condicionantes o generadores, los mecanismos de propagación, la severidad o magnitud de los eventos, su extensión espacial y sus características temporales (duración, recurrencia). El Cuadro 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 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 las amenazas en general debe incluir necesariamente un estudio geotécnico que determine las características de resistencia y los posibles problemas de estabilidad y comportamiento dinámico del sitio.

Los productos finales de la evaluación son mapas de amenaza con la distribución espacial de la severidad de parámetros para diseño y los valores específicos de esos parámetros para un sitio, con su correspondiente frecuencia. La información que se obtenga de un mapa de amenaza específico debe ser útil para la elaboración del perfil de vulnerabilidad de infraestructura vial. Por lo tanto, debe incluir parámetros de severidad y frecuencia de las amenazas que sean apropiados para evaluar el posible comportamiento de la infraestructura.

A partir de un mapa de distribución espacial de la amenaza es posible establecer una zonificación, es decir una delimitación de áreas con distintos niveles relativos de severidad y de frecuencia de los eventos. De acuerdo con el nivel de detalle o escala reciben el nombre de zonificación o microzonificación.

### Parámetros de severidad

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

Fenómenos	Amenazas
Actividad Sísmica	Vibración sísmica
	Ruptura superficial del terreno
	Deslizamientos de tierra
	Licuefacción de suelos
Actividad Volcánica	Tsunami
	Sismos
	Caída de piroclastos
	Fumarolas
	Flujos piroclásticos
	Flujos de lava
	Colapso del terreno
Actividad Hidrometeorológica (Huracanes, lluvias intensas)	Lahares (flujos de lodo)
	Erosión y socavación
	Deslizamientos de tierra
	Flujos de detritos y lodo
	Tránsito de avenidas e inundación
	Expansión y contracción de arcillas
	Viento

**Cuadro 1: Fenómenos naturales y amenazas relacionadas**

Amenaza	Variables
Vibración sísmica	Magnitud de sismo Distancia a la fuente sísmica Condiciones geológicas y geotécnicas locales del terreno
Licuefacción 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 Tipo de suelo
1 Deslizamientos de tierra	Tipo de cobertura superficial / Uso del suelo
2 Flujos de detritos	Características hidrográficas e hidrológicas de las cuencas Régimen de precipitación Aceleración sísmica
Expansión y contracción de arcillas	Tipo de mineral arcilloso Precipitación promedio anual Variación estacional de precipitación

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

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 3. En ese cuadro se muestra una lista extensa de parámetros de interés en la caracterización de la severidad de



Fenómenos	Amenazas	Parámetros de severidad	
Actividad sísmica	Vibración	Aceleración máxima Frecuencias predominantes Duración	
	Licuefacción de suelos	Factor de seguridad Desplazamientos permanentes	
	Ruptura de falla en superficie	Desplazamientos permanentes	
	Tsunami	Altura máxima Velocidad Tiempo de dilatación del impacto	
Movimientos de masas de suelo	Deslizamientos	Factor de seguridad Desplazamientos permanentes Volumen Aceleración crítica	
	Flujos de detritos, lodos y lahares	Caudal Altura de avenida Velocidad Tamaño máximo de partícula	
Actividad hidrometeorológica	Inundación	Intensidad y duración de lluvia Tiempo de concentración Caudal	
	Socavación	Altura Velocidad Perfil de socavación Tamaño de partículas arrastradas	
	Viento	Velocidad Duración	
Actividad volcánica	Caida de cenizas y piroclastos	Velocidad Tamaño de partículas	
	Flujos piroclásticos	Volumen Velocidad	
	Flujos de lava	Volumen Velocidad	
	Lahares		Caudal Velocidad
			Altura de avenida Tamaño de partículas

**Cuadro 3: Parámetros ingenieriles de severidad de las amenazas naturales**

las amenazas. Los valores específicos de parámetros podrán ser identificados en cada caso por los estudios nacionales y es recomendable la unificación de criterios para la región.

### Caracterización de la frecuencia

Es importante que la severidad esté asociada con la frecuencia de la amenaza, es decir, con la cuantificación del número de eventos de esa severidad que pueden ocurrir, con cierta probabilidad, en un determinado intervalo de tiempo. La frecuencia temporal de eventos de determinada severidad, cualquiera que sea su origen, es el inverso del periodo de retorno. El periodo de retorno no se debe confundir con la separación histórica entre eventos de igual severidad, dado que la ocurrencia de los fenómenos geofísicos no es uniforme en el tiempo. La determinación del periodo de retorno se basa en el análisis estadístico de la información histórica sobre eventos de los cuales se conozca su severidad. Cuanto mayor sea el periodo de observaciones o registros

sobre las amenazas, mejores resultados dará el análisis.

El análisis estadístico de la información histórica permite relacionar el periodo de retorno de eventos con la probabilidad de que éstos excedan el nivel de severidad especificado en un intervalo de tiempo dado. Generalmente, eventos de severidad baja tienen alta frecuencia (periodos de retorno bajos), por las características de los fenómenos que los originan. La frecuencia de eventos es difícil de determinar en forma estadística para algunas amenazas por sus propias características o por la falta de información.

En el caso de los deslizamientos, la determinación de periodos de retorno es dificultada por la combinación de las características de frecuencia de los fenómenos originarios, tales como las lluvias intensas y los sismos. Para esta amenaza la probabilidad de ocurrencia de eventos puede subdividirse en dos componentes: la probabilidad temporal (frecuencia), y la probabilidad espacial, que indica la susceptibilidad de los sitios, sin definir el tiempo de ocurrencia de eventos. Esta última puede ser evaluada más fácilmente.

La falta de información histórica en la región centroamericana dificulta y hasta imposibilita la asignación de periodos de retorno de algunos fenómenos geofísicos, en particular de las actividades sísmica y volcánica extremas. En el caso de las erupciones volcánicas, la variedad de efectos ha llevado a que la evaluación actual del peligro sea básicamente sobre susceptibilidad, según fue definido ese término anteriormente. La frecuencia de eventos es mucho más difícil de precisar en la actualidad. En algunos casos, la historia geológica de la región incluye eventos catastróficos cuya periodicidad es indeterminada.

Estas limitaciones son indicadoras de la necesidad de profundizar los estudios sobre amenazas naturales en la región con el fin de alcanzar metas específicas de reducción de vulnerabilidad de la infraestructura y contribuir al desarrollo sostenible. Sin evaluaciones específicas de la recurrencia de fenómenos destructivos, los estudios que incluyan solamente la zonificación de la susceptibilidad a las amenazas podrán conducir a extremos de



apreciaciones incorrectas sobre el riesgo real. Si se utilizan escenarios extremos de severidad de amenazas en el análisis de vulnerabilidad posterior, los resultados serán conservadores y los costos de reducción de vulnerabilidad a niveles satisfactorios pueden ser excesivos.

### **Inventarios de infraestructura para perfiles de vulnerabilidad**

La evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura para producir perfiles a escalas intermedias (entre 1:50.000 y 1:25.000) debe basarse en un inventario exhaustivo de las obras y sistemas de la región que incluya información relevante para determinar su resistencia y su comportamiento probable ante diferentes tipos de acciones del medio (cargas, deformaciones, etc.), con el propósito de relacionar la respuesta del sistema con la magnitud de los eventos.

El inventario debe incluir una clasificación de los distintos componentes de la infraestructura, que permita agruparlos de acuerdo con su similitud de comportamiento, en un análisis posterior. Entre los elementos que deben incluirse en un inventario de infraestructura están las características listadas en el Cuadro 4.

La vulnerabilidad estructural depende de los criterios de diseño y de la calidad de construcción utilizados. Los criterios de diseño definen las medidas de seguridad específicas contra cada tipo de evento o amenaza en consideración, de acuerdo con el conocimiento científico del momento. Generalmente, los criterios de diseño básicos se recogen en metodologías de diseño de uso recomendado o en normas de acatamiento obligatorio (por ejemplo, las normas AASHTO, los códigos sísmicos, etc.). Las fortalezas y deficiencias conocidas de una norma de diseño establecen el marco de referencia para predecir posible el comportamiento de la infraestructura diseñada con esos criterios.

Existen elementos que indican la posibilidad de comportamiento inadecuado de las estructuras como los puentes ante sollicitaciones como los sismos. Entre ellos se encuentran algunas morfologías estructurales, tales como las estructuras en curva o con ejes inclinados (sesgados).

## **Evaluación de vulnerabilidad**

### **Vulnerabilidad física**

El nivel de daño material que puede sufrir una estructura o elemento depende principalmente de la respuesta de componentes críticos y del sistema en conjunto ante la demanda o efecto dinámico del medio en el cual está ubicado, generalmente el terreno superficial. Una evaluación detallada de la vulnerabilidad estructural de un componente de infraestructura requiere del conocimiento o la evaluación experimental de sus propiedades ingenieriles (capacidad, resistencia, rigidez, durabilidad, ductilidad, etc.), para predecir su comportamiento ante eventos adversos o extremos. Para cuantificar la vulnerabilidad es necesario establecer relación entre la demanda (nivel de severidad de la acción o amenaza) y respuesta (nivel de daño o pérdida resultante) de estructuras específicas. La relación matemática entre daño y demanda se

Tipo de infraestructura	Características importantes
Puentes	Materiales
	Dimensiones (ancho, longitud)
	Altura hasta superficie del agua
	Fecha de construcción
	Código de diseño empleado
	Morfología estructural
	Tipo de superestructura
	Tipo de subestructura
	Tipo de cimentación
	Longitud de losas en accesos
	Ancho de pavimentos en accesos
Alcantarillas	Estado de la superficie de rodamiento
	Estado de los elementos estructurales (vigas, bastiones, pilas)
	Material
	Dimensiones (diámetro, ancho, altura, longitud)
Pavimentos	Pendiente del fondo
	Espesor del relleno
	Ancho del cauce
	Materiales
	Dimensiones (ancho)
Taludes de corte	Pendiente
	Sección de corte o relleno
	Estado
	Inclinación del talud
	Longitud
	Altura máxima
Terraplenes (rellenos)	Inclinación de los estratos litológicos
	Existencia y condición de drenajes superficiales (cunetas)
	Fuentes cercanas de agua
	Materiales
Terraplenes (rellenos)	Dimensiones (ancho, longitud, altura máxima)
	Pendiente
	Drenajes
	Estado

**Cuadro 4: Elementos de un inventario de infraestructura vial para evaluación de vulnerabilidad**



denomina función o curva de fragilidad. La obtención de curvas de fragilidad apropiadas es una necesidad para la evaluación detallada de vulnerabilidad de la infraestructura vial.

En una curva de fragilidad, el nivel de daño se puede expresar como porcentaje de capacidad perdida, considerando el 100% como la falla o pérdida total de la función para la cual fue diseñado el componente o sistema. El daño total puede estar asociado con el colapso estructural, cuando las demandas exceden la capacidad de una estructura para resistir esfuerzos, disipar energía excesiva y/o acomodar deformaciones. El daño total puede ser definido con otros criterios que no son necesariamente la falla mecánica o el colapso del sistema y las curvas de fragilidad se pueden emplear también para determinar la magnitud de los efectos de una amenaza que causarían niveles o umbrales de daño especificados, como por ejemplo, los de daño no estructural, de interrupción del funcionamiento de sistemas de abastecimiento y equipos electromecánicos, de daño estructural sin colapso, etc.

Las curvas de fragilidad de la Figura 2 muestran conceptualmente algunas características importantes en la evaluación de vulnerabilidad, como son la resistencia y la ductilidad. La resistencia como propiedad global de toda una obra se define en función del nivel de severidad de la amenaza para el cual se da la condición de daño total. La ductilidad es la capacidad de la obra para acomodar el daño en forma progresiva, de acuerdo con el nivel de severidad de la amenaza. El comportamiento opuesto, es decir, el aumento drástico del nivel de daño con el nivel de severidad es considerado frágil en el contexto de la ingeniería estructural.

### **Vulnerabilidad funcional**

La vulnerabilidad funcional depende de las características y propiedades de red de un sistema, considerado en conjunto la interacción de sus componentes, su redundancia y su proximidad con otros sistemas. La evaluación de la vulnerabilidad funcional parte de la modelación del sistema como red, en la cual la interconexión (en serie o en paralelo) y la interacción de elementos de la

red queda definida. Los corredores viales son, usualmente, sistemas en serie compuestos por elementos lineales (carreteras), elementos puntuales (puentes) y nodos (intersecciones), que conectan con otros corredores. En sistemas en serie, la disposición física de los elementos hace que la falla de uno de ellos implique la pérdida de la función de todo el sistema. Esta puede ser la condición de algunos tramos de la Carretera Panamericana en Centroamérica, en los cuales existen pocos o ningún medio de transporte alternos.

Una vez modelada la red, se analiza su funcionamiento en condiciones normales y se determinan su redundancia, los puntos y rutas críticos. Posteriormente se deben analizar los niveles de funcionalidad de toda la red de acuerdo con los niveles de daño de cada componente. La vulnerabilidad funcional se puede cuantificar también en una escala de 0 a 1 (o 100%), en la cual el valor sea un indicador del grado de interrupción en la función de la red o sistema. En el caso de infraestructura vial, se pueden establecer correlaciones entre el grado de interrupción en la función de un sistema y otras variables tales como el incremento en los tiempos de recorrido entre dos puntos. Es importante también determinar la vulnerabilidad de la infraestructura vial que no está expuesta a la misma amenaza, dado que en caso de ocurrencia de eventos desastrosos, ésta deberá asumir, en parte, o totalmente, la función de aquella que haya salido de operación.

### **Identificación de tramos y estructuras críticas**

Los elementos de infraestructura deberán ser analizados para determinar su vulnerabilidad y asignar una función de fragilidad apropiada para cada tipo de amenaza. Por ejemplo, la capacidad hidráulica de alcantarillas deberá ser comparada con el caudal que se estime como máximo probable para cada periodo de retorno. De esta manera quedarán establecidos los niveles de daño potencial en cada elemento de la infraestructura, para cada amenaza. Los tramos y estructuras se pueden ordenar de acuerdo con los niveles de daño potencial máximo para establecer los que están en condición crítica, con mayor probabilidad de falla, con menor factor de seguridad o con alta





frecuencia de eventos que exceden la capacidad.

El perfil de vulnerabilidad deberá ordenar y resumir la información sobre amenazas y vulnerabilidades. Para ese propósito es necesario utilizar formatos apropiados. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten el almacenamiento de todas las capas de información involucradas, tanto de peligros naturales como de características de infraestructura. El análisis de daño potencial puede ser incluido como un elemento adicional de información (atributo) de la infraestructura. Toda la información puede ser presentada en forma de cuadros de resumen y mapas específicos y esto es particularmente útil para comunicar los resultados a los tomadores de decisiones. Los SIG tienen la capacidad de representar gráficamente la información para que se pueda observar tanto el perfil general simplificado de un corredor vial como el detalle de un sitio u obra específico, con el límite que establece la escala de la información básica.

### Comentarios finales

La reducción de la vulnerabilidad de la infraestructura vial ante amenazas naturales es una tarea indispensable para garantizar el desarrollo sostenible de un país o una región como Centroamérica. La historia de la región da ejemplos de reconstrucción después de un desastre sin atención a la reducción de

vulnerabilidad, lo que deja a nuestros países en el círculo vicioso de los desastres y el subdesarrollo.

La evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura es un requisito previo a la implementación de programas y proyectos específicos de reducción, para lo cual también es necesario conocer adecuadamente las amenazas a las que está expuesta la infraestructura. Esta es una labor de investigación en la que interviene un equipo profesional multidisciplinario, que normalmente no trabaja en conjunto ni se encuentra agrupado en nuestros Ministerios de Obras Públicas. Por lo tanto, la reducción de vulnerabilidad plantea también algunos retos de tipo organizativo a nuestras instituciones, dado que la acción debe ser continua y no puntual en el tiempo.



Figura 2: Curvas de fragilidad o relaciones entre severidad de amenaza y nivel de daño resultante