

**ESTRATEGIA DEL SECTOR TRANSPORTE  
PARA SU  
INCORPORACIÓN EN EL PLAN BÁSICO DEL  
PLAN REGIONAL DE REDUCCIÓN DE  
DESASTRES**

**SISTEMA DE LA INTEGRACIÓN ECONÓMICA  
CENTROAMERICANA (SIECA)**

**CONSEJO SECTORIAL DE MINISTROS DE TRANSPORTE DE  
CENTROAMÉRICA (COMITRAN)**

**CENTRO DE COORDINACION PARA LA PREVENCION DE  
DESASTRES NATURALES EN AMERICA CENTRAL  
(CEPREDENAC)**

**ESTRATEGIA DEL SECTOR TRANSPORTE PARA SU  
INCORPORACIÓN EN EL PLAN BÁSICO DEL  
PLAN REGIONAL DE REDUCCION DE DESASTRES**

**Febrero del 2000**

# INDICE

|   |    |
|---|----|
| 1. ANTECEDENTES .....   | 4  |
| 2. INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR TRANSPORTE CENTROAMERICANO .....  | 5  |
| 2.1. CORREDOR VIAL NATURAL Y ALTERNATIVOS A Y B .....   | 5  |
| 2.1.1. CORREDOR VIAL NATURAL .....  | 5  |
| 2.1.2. CORREDOR VIAL ALTERNATIVO A .....  | 6  |
| 2.1.3. CORREDOR VIAL ALTERNATIVO B .....  | 6  |
| 2.1.4. CONEXIONES .....   | 6  |
| 2.2. PUERTOS DE ALTURA .....  | 7  |
| 2.3. AEROPUERTOS INTERNACIONALES .....  | 7  |
| 2.4. FERROCARRILES .....  | 7  |
| 3. ENTORNO REGIONAL .....   | 8  |
| GRÁF. 2.1. CORREDORES VIALES CENTROAMERICANOS .....   | 9  |
| GRÁF. 2.2. UBICACIÓN DE LOS PUERTOS CENTROAMERICANOS .....  | 10 |
| GRÁF. 2.3. UBICACIÓN DE LOS AEROPUERTOS CENTROAMERICANOS .....  | 11 |
| 4. CONCEPTO DE VULNERABILIDAD .....   | 12 |
| 5. PRESENCIA DE UN CICLO RECURRENTE DE DESASTRE .....   | 13 |
| 6. EL CASO DEL HURACÁN MITCH: ¿UNA LECCIÓN APRENDIDA? .....   | 14 |
| 7. PLATAFORMA PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD A LOS DESASTRES DEL SECTOR<br>TRANSPORTE CENTROAMERICANO .....   | 15 |
| 7.1. MANEJO DE RECURSOS NATURALES .....   | 16 |
| 7.2. PLANIFICACIÓN DEL USO DE LA TIERRA .....   | 17 |
| 7.3. PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA .....  | 17 |
| 7.4. INCORPORACIÓN DE CRITERIOS DE VULNERABILIDAD EN LA PLANIFICACIÓN DE LA<br>INFRAESTRUCTURA CENTROAMERICANA .....  | 17 |
| 7.5. OBRAS PÚBLICAS Y PRÁCTICAS Y DISEÑO DE CONSTRUCCIONES .....  | 18 |
| 7.6. IMPLEMENTACIÓN DE NORMAS Y PRÁCTICAS ADECUADAS DE CONSTRUCCIÓN ...   | 18 |
| 7.7. IMPLEMENTACIÓN DE OTROS MEDIOS DE TRANSPORTE PARA OFRECER<br>ALTERNATIVAS EFECTIVAS FRENTE A DESASTRES .....   | 18 |
| GRÁF. 7.1. IMPACTO SISMICO EN LA INFRAESTRUCTURA DE LOS CORREDORES VIALES<br>CENTROAMERICANOS .....   | 19 |
| GRÁF. 7.2. SISMOS SIGNIFICATIVOS EN CENTRO AMERICA .....  | 20 |
| GRÁF. 7.3. ENTORNO TECTÓNICO DE CENTRO AMERICA .....  | 21 |
| SEGUNDA PARTE .....   | 22 |
| 8. ESTRATEGIA DEL SECTOR TRANSPORTE PARA SU INCORPORACIÓN EN EL PLAN<br>BÁSICO DEL PLAN REGIONAL DE REDUCCIÓN DE DESASTRES EN RELACION A LOS<br>PRINCIPALES CORREDORES DE EXPORTACION ..... | 22 |
| 8.1. ANTECEDENTES .....   | 22 |
| 8.2. SITUACION ACTUAL DE LA RED VIAL .....  | 23 |
| 8.3. OBJETIVO DE LA PROPUESTA .....   | 24 |
| 8.4. FORMULACION DE UN PLAN DE ACCION PARA LA REDUCCIÓN DE LAS<br>VULNERABILIDADES Y EL IMPACTO DE LOS DESASTRES EN EL SECTOR TRANSPORTE<br>DE CENTRO AMERICA .....                         | 25 |
| 8.4.1. ASPECTOS GENERALES DE LA ESTRATEGIA DEL SECTOR TRANSPORTE PARA SU<br>INCORPORACIÓN EN EL PLAN BÁSICO DEL PLAN REGIONAL DE REDUCCIÓN DE<br>DESASTRES .....                            | 26 |
| 8.4.1.1. EVALUACION DEL RIESGO .....  | 26 |
| 8.4.1.1.a. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA .....   | 28 |
| 8.4.1.1.b. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD .....  | 30 |

|  |    |
|--|----|
| 8.4.1.2. DEFINICIÓN DE PRIORIDADES, PLANES Y PROYECTOS ESPECÍFICOS DE MITIGACIÓN. DETERMINACIÓN DE LOS PROYECTOS A EJECUTAR DENTRO DEL PLAN DE REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SECTOR TRANSPORTE Y SU FINANCIAMIENTO .....                            | 32 |
| 8.4.1.3. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR TRANSPORTE, QUE EJECUTEN LOS PAÍSES CENTROAMERICANOS ORIENTADOS A DISMINUIR EL IMPACTO DE LOS DESASTRES....  | 33 |
| 8.4.2. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD DE LOS CORREDORES VIALES CENTROAMERICANOS Y SUS CONEXIONES, PARA SU INCORPORACIÓN EN EL PLAN BÁSICO DEL PLAN REGIONAL...   | 34 |
| 8.4.2.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA EN CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES...  | 34 |
| 8.4.2.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES.....   | 35 |
| 8.4.2.2.a INFORMACION REQUERIDA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ....   | 36 |
| 8.4.2.2.b. ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD APLICADOS A LOS CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES .....   | 37 |
| 8.4.2.3 DEFINICIÓN DE PRIORIDADES, PLANES Y PROYECTOS ESPECÍFICOS DE MITIGACIÓN. DETERMINACIÓN DE LOS PROYECTOS A EJECUTAR DENTRO DEL PLAN DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD EN LOS CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES PRINCIPALES, Y SU FINANCIAMIENTO ..... | 40 |
| 8.4.2.4 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD DE LOS CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES, QUE EJECUTEN LOS PAÍSES CENTROAMERICANOS, ORIENTADOS A DISMINUIR EL IMPACTO DE LOS DESASTRES .....                             | 42 |
| 8.4.3. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD DEL SECTOR TRANSPORTE, RELATIVA A LOS PUERTOS Y A LOS AEROPUERTOS, PARA SU INCORPORACIÓN EN EL PLAN BÁSICO DEL PLAN REGIONAL   | 44 |
| 8.4.3.1 EVALUACIÓN DE LAS AMENAZAS PARA LOS PUERTOS Y AEROPUERTOS DE LA REGIÓN CENTROAMERICANA.....  | 44 |
| 8.4.3.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE PUERTOS Y AEROPUERTOS DE LA REGIÓN CENTROAMERICANA.....   | 46 |
| 8.4.3.3. DEFINICIÓN DE PRIORIDADES, PLANES Y PROYECTOS ESPECÍFICOS DE MITIGACIÓN. DETERMINACIÓN DE LOS PROYECTOS A EJECUTAR DENTRO DEL PLAN DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD EN LOS PUERTOS Y EN LOS AEROPUERTOS PRINCIPALES Y SU FINANCIAMIENTO .....       | 47 |
| 8.4.3.4 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD DE LOS PUERTOS Y DE LOS AEROPUERTOS QUE EJECUTEN LOS PAÍSES CENTROAMERICANOS ORIENTADOS A DISMINUIR EL IMPACTO DE LOS DESASTRES .....                                     | 47 |

**SISTEMA DE LA INTEGRACION ECONOMICA  
CENTROAMERICANA (SIECA)**

**CONSEJO SECTORIAL DE MINISTROS DE TRANSPORTE DE  
CENTROAMERICA (COMITRAN)**

**CENTRO DE COORDINACION PARA LA PREVENCION DE  
DESASTRES NATURALES EN AMERICA CENTRAL  
(CEPREDENAC)**

**ESTRATEGIA DEL SECTOR TRANSPORTE PARA SU  
INCORPORACIÓN EN EL PLAN BASICO DEL  
PLAN REGIONAL DE REDUCCION DE DESASTRES**

**PRIMERA PARTE**

**1. ANTECEDENTES**

En la Vigésima Cumbre de presidentes de Centroamérica, celebrada en Guatemala durante los días 18 y 19 de octubre de 1999, fue suscrita por los mandatarios de la región la Declaración de Guatemala II, que establece el período 2000-2004 como el Quinquenio Centroamericano para la Reducción de Vulnerabilidad y del Impacto de los Desastres, disponiendo la adopción del Marco Estratégico para la Reducción de la Vulnerabilidad y de los Desastres en Centroamérica y designando a CEPREDENAC para la coordinación de las actividades que se desprendan del cumplimiento de los objetivos a alcanzar en dicho quinquenio.

En la referida Declaración de Guatemala II, los Presidentes instruyeron a los Consejos de Ministros y foros sectoriales competentes, como el de COMITRAN, para que al más alto nivel se atienda el sector transporte, de modo que en coordinación con las instituciones regionales especializadas dieran cumplimiento y mantuvieran un estrecho seguimiento del contenido de este Marco Estratégico, el cual constituye el eje rector para la elaboración, actualización, adecuación y desarrollo de planes regionales en materia de reducción de vulnerabilidad y desastres.

transporte serán llevados a la práctica por los entes nacionales que tienen a su cargo cada uno de los aspectos vinculados a la reducción de vulnerabilidad y el impacto de los desastres. Como estrategia, se propone que los planes nacionales sean diseñados sobre una base común y ejecutados en forma coordinada al nivel regional, con el apoyo de las instituciones de la integración y la cooperación de la comunidad internacional.

Mediante la Resolución 01-99 adoptada en su Vigésimo primera Reunión, celebrada en la ciudad de Guatemala el jueves 18 de noviembre anterior, el Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica (COMITRAN) instruyó a su Secretaría, la SIECA, para que procediera a la realización de un taller regional para la formulación de un plan de acción para la reducción de la vulnerabilidad y el impacto de los desastres en el sector transporte, evento a celebrarse en la ciudad de San José, Costa Rica, con el apoyo del Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), durante los días jueves 2 y viernes 3 de marzo del 2000.

El objeto de este trabajo de consultoría que desarrolla el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, por encargo del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), es preparar la Estrategia del Sector Transporte para su incorporación en el Plan Básico del Plan Regional de Reducción de Desastres, coordinado por dicho ente.

## **2. INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR TRANSPORTE CENTROAMERICANO**

La infraestructura del sector transporte centroamericano es la que posibilita el manejo de la carga del comercio exterior y del intrarregional, por lo que es de gran interés para los gobiernos del istmo procurar su permanente funcionamiento, para cuyo propósito es vital formular un plan de acción que permita elaborar diagnósticos y plantear soluciones regionales para la reducción de las vulnerabilidades y el impacto de los desastres que ocurren año tras año. Esta infraestructura comprende:

### **2.1. CORREDOR VIAL NATURAL Y ALTERNATIVOS A Y B**

El comercio internacional y el intrarregional centroamericano tiene a su disposición tres corredores viales: Natural (Pacífico), Alternativo A (Central), Alternativo B (Atlántico) y algunas conexiones (principalmente vías de acceso a los puertos importantes de la región).

#### **2.1.1. CORREDOR VIAL NATURAL**

El Corredor Vial Natural (Pacífico) es el vínculo físico más claro entre los 6 países centroamericanos, ya que los une sin pasar por las capitales, excepto en Panamá. Discurre cerca de la costa del Pacífico, partiendo de la frontera Guatemala - México en Tecun Uman, atravesando las frontera Guatemala - El Salvador en

Pedro de Alvarado (Gua.) / La Hachadura (Sal.), la de El Salvador – Honduras en El Amatillo, la de Honduras – Nicaragua en El Guasaule, la de Nicaragua – Costa Rica en Sapoá (Nic.) / Peñas Blancas (C.R.), la de Costa Rica – Panamá en Paso Canoas, concluyendo en este último país, sin que haya llegado aún a la frontera Panamá – Colombia en el sitio conocido como Palo de las Letras, según está proyectado, dado que no se ha superado todavía el "Tapón del Darién". Este Corredor Natural, que tiene una longitud de 1.631 kilómetros, sirve además de acceso a los puertos que se encuentran en el litoral Pacífico, con un trazado muy suave, por lo que los costos de operación son bajos, todo lo cual contribuye a hacerlo el medio ideal para el comercio intrarregional e internacional.

### **2.1.2. CORREDOR VIAL ALTERNATIVO A**

El Corredor Alternativo A (Central) se desarrolló por zonas montañosas, lo cual hace que los costos de operación sean altos. Es de gran importancia nacional para el comercio entre Guatemala y El Salvador, cuyas capitales une con México, partiendo de la frontera en el sitio conocido como La Mesilla y atravesando la de Guatemala – El Salvador en San Cristóbal. Sigue el trazo de la Carretera Interamericana donde ésta se separa del Corredor Natural. Por lo tanto, también conecta las capitales de Nicaragua y Costa Rica.

### **2.1.3. CORREDOR VIAL ALTERNATIVO B**

El Corredor Vial Alternativo B (Atlántico) comunica a Guatemala, Honduras y Nicaragua; los tramos entre El Poy (frontera con El Salvador) y San Pedro de Sula son parte del Canal Seco entre Puerto Cortés (Honduras) y Acajutla (El Salvador), de gran importancia para el comercio intrarregional; además, El Salvador lo utiliza para su comercio exterior vía Puerto Cortés. La ruta San Pedro Sula – Tegucigalpa – Las Manos (frontera con Nicaragua) – Yalagüina es muy útil para el transporte de carga entre Puerto Cortés, Tegucigalpa y Managua, por lo que tiene valor para el comercio entre Honduras y Nicaragua y para el comercio exterior de esta última. Cruza la frontera Guatemala – Honduras en Agua Caliente y la de Honduras – Nicaragua en Las Manos. Ver. Fig. 2.1, Pág. 8.

### **2.1.4. CONEXIONES**

Las conexiones son rutas alternas o de enlace con fronteras, ciudades importantes y puertos; todas ellas son de gran importancia nacional y algunas son de interés para el comercio intrarregional y para el internacional.

Las carreteras que conforman los corredores del comercio centroamericano son las principales arterias de transporte de la región, movilizandando miles de toneladas de mercancías entre los países del istmo. Además, estas vías de comunicación son de vital importancia para comunicar las principales ciudades a lo interno de los países. Históricamente han sido rutas impulsoras del crecimiento de grandes regiones productivas y han propiciado el fortalecimiento de importantes polos de desarrollo.

La carga transportada por estos corredores se ha visto incrementada extraordinariamente, por lo que es fácil entender las implicaciones económicas que para la región tiene el cierre o interrupción de una carretera dañada por causa de un fenómeno natural, o cualquier otra amenaza, siendo evidente la necesidad de mirar a estos importantes corredores desde el punto de vista de su fragilidad para resistir nuevos embates de la naturaleza y emprender acciones correctivas concretas que mitiguen las consecuencias físicas y económicas que puedan afectar a estas vías, en un esfuerzo por preservar la inversión realizada y por mantener vías más seguras y eficientes, que promuevan un desarrollo sostenible; asimismo, para eliminar los efectos negativos al medio ambiente, muy vulnerable a los fenómenos naturales, por medio de la construcción de obras apropiadas de protección y rectificación, así como la aplicación de medidas ambientales adecuadas.

## **2.2. PUERTOS DE ALTURA**

Los principales 14 puertos centroamericanos de altura (8 en el Atlántico y 6 en el Pacífico) son empleados para el comercio exterior de los países donde se encuentran; están distantes entre sí y no hay nexos entre ellos (cabotaje, uso conjunto de instalaciones, especialización), razón por la cual no son utilizados por el comercio intrarregional; son obras de claro interés nacional. En el Atlántico están ubicados: Santo Tomás de Castilla y Barrios (Guatemala), Cortés (Honduras), El Rama - Bluff (Nicaragua), Limón-Moín (Costa Rica), Chiriquí Grande, Manzanillo y Colón (Panamá); en el Pacífico: Quetzal (Guatemala), Acajutla (El Salvador), San Lorenzo (Honduras), Corinto (Nicaragua), Caldera-Puntarenas (Costa Rica), Armuelles y Balboa (Panamá). Su ubicación puede verse en la Fig. 2.2 de la página 9.

## **2.3. AEROPUERTOS INTERNACIONALES**

Los 9 aeropuertos internacionales en donde se realizan operaciones para el comercio exterior y para el intrarregional; debido a que están enlazados por las líneas aéreas conforman un sistema regional. Estos son: La Aurora y Flores (Guatemala), Villeda Morales, Toncontin, La Ceiba y Roatán (Honduras), El Salvador (El Salvador), Sandino (Nicaragua), Juan Santamaría y Daniel Oduber (Costa Rica) y Omar Torrijos / Tocumen (Panamá). Su ubicación puede verse en la Fig. 2.3 de la página 10.

## **2.4. FERROCARRILES**

Algunos ferrocarriles sirven al comercio exterior como eslabones del transporte, pero por ahora no tienen la función intrarregional que pretenden darles proyectos en estudio para el establecimiento de los corredores ferroviarios norte y sur, interconectándolos con el resto del sistema de transporte centroamericano.

### 3. ENTORNO REGIONAL

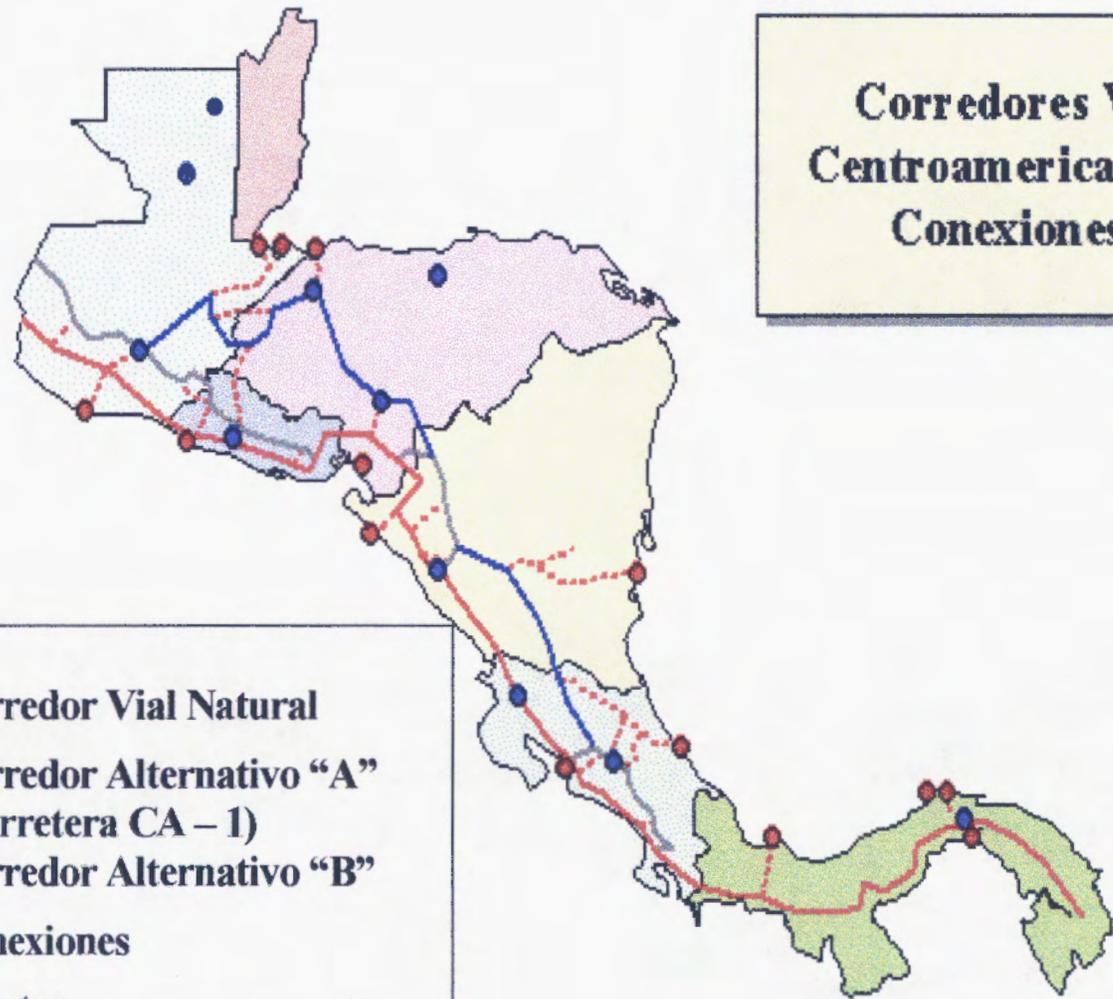
Por su geomorfología y posición geográfica, el istmo centroamericano es una región altamente vulnerable a desastres naturales. Condiciones de orden geológico e hidrometeorológico que afectan su orografía, provocan que la infraestructura regional se vea dañada frecuentemente por desastres de diversa escala, sin que se hayan tomado con la oportunidad debida las medidas de prevención y mitigación que estas situaciones demandan, consecuencia de la carencia de programas preventivos de carácter estructural y no estructural como parte de las políticas gubernamentales. Toda vez que los desastres no reconocen fronteras, la visión ante estos eventos debe ser regional.

Los factores de amenaza más comunes en la región pueden resumirse de la siguiente manera: a) alta precipitación pluvial; b) huracanes (efectos directos e indirectos); c) suelos inestables; d) alta sismicidad; e) erupciones volcánicas y f) deforestación. Estos elementos son responsables de inundaciones, deslizamientos, avalanchas, desprendimientos, erosión, destrucción de rellenos y colapso de infraestructura existente, que afectan al istmo todos los años.

Además de estas circunstancias adversas, en muchos casos el impacto de los desastres se amplifica como consecuencia de deficiencias en los estándares de diseño y construcción de la infraestructura (civil y vial), deficiencias técnicas en relación con el emplazamiento de dicha infraestructura (vías de comunicación, asentamientos humanos, etc.), o por falta de obras de protección (muros, diques, canales de desfogue) provenientes de planes de prevención y mitigación de desastres.

Grafico 2.1

**Corredores Viales  
Centroamericanos y sus  
Conexiones**



**Grafico 2.2**

# Puertos Principales



**Grafico 2.3**

**Aeropuertos Internacionales**



Es perentoria la necesidad de crear una cultura de manejo integral de los desastres, de manera que se establezcan las bases para desarrollar en nuestros países sistemas de prevención y mitigación efectivos, en los que se articulen, con sus niveles de responsabilidad respectivos y bajo el principio de solidaridad humana, la sociedad política, la sociedad civil y dentro de ellas, el importante aporte de la comunidad científica. Es asimismo fundamental que en la reconstrucción de la infraestructura dañada por los siniestros se escojan alternativas que reduzcan la vulnerabilidad y el riesgo de ésta.

El transporte es un eslabón importantísimo del ciclo mercantil, necesario para el abastecimiento de materias primas e insumos y para la distribución e intercambio de los productos terminados. La infraestructura del Sector Transporte centroamericano es la que permite la movilización de la carga para el comercio exterior y para el intrarregional. La continuidad de la operación del sistema es fundamental para la economía regional, por lo que es vital llevar a cabo los trabajos necesarios para minimizar la vulnerabilidad de éste a los desastres naturales, de manera que pueda satisfacer en todo momento las demandas del comercio exterior y del intrarregional.

Este trabajo va dirigido a la implementación de un plan regional de prevención y mitigación de desastres naturales en el Sector Transporte, concretamente para corregir aspectos técnicos de las vías que forman los corredores de comercio centroamericano, en sitios que han sido identificados como de alta vulnerabilidad a los fenómenos naturales producidos por la combinación de factores climáticos, sismicidad, características geográficas, mal manejo del impacto ambiental en obras construidas en épocas que aún no reconocían la importancia de este tema y por otros procesos generados por el hombre, como es la deforestación que incide sobre la erosión, la escorrentía y la desestabilización de los suelos.

#### **4. CONCEPTO DE VULNERABILIDAD**

Ante la situación que ha sufrido Centroamérica por las consecuencias del Huracán Mitch, cobra prioridad el comprender el significado de un "desastre" y de las implicaciones en un país y en una región. No todo fenómeno físico genera una crisis que pueda catalogarse como "desastre". Esto dependerá del grado de vulnerabilidad de la zona afectada.

No todos los países tienen iguales consecuencias al ser afectados por fenómenos naturales similares. Existe una relación muy estrecha entre la amenaza de un fenómeno en una región, su vulnerabilidad y el riesgo que se produce. Por esta razón, algunas ciudades y países se ven más afectados que otros por eventos de esta índole. La amenaza es cualquier factor externo a una región, representado por un fenómeno físico que puede ocurrir y producir un desastre al manifestarse.

De acuerdo con lo anterior se define la vulnerabilidad como un factor interno, el cual contiene las condiciones que esa región posee para enfrentar la amenaza. Pueden considerarse diversos tipos de vulnerabilidad. Usualmente se citan, al

menos, la estructural, la social, la económica, la de organización, la cultural, la biológica, la sanitaria y la ambiental.

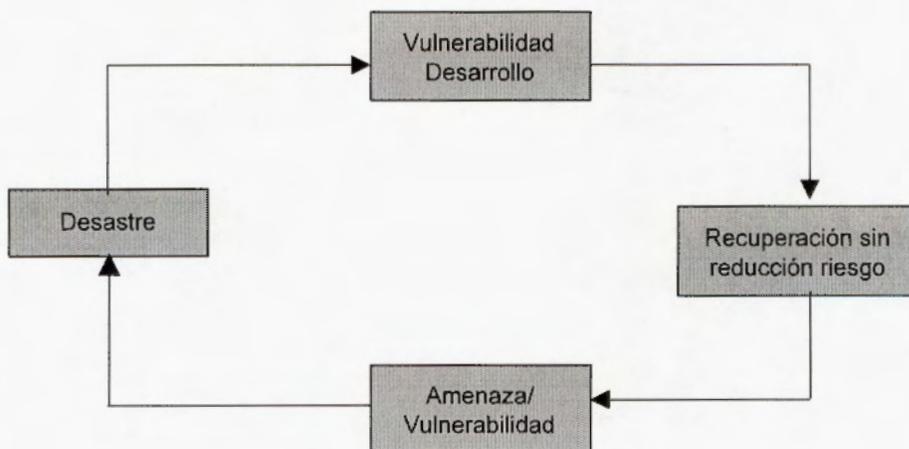
Por otra parte, el riesgo que tiene una región de ser afectada por un desastre se define como el resultado de calcular la acción potencial de una amenaza determinada, con las condiciones de vulnerabilidad que esa región presente. Es decir, el riesgo de un país estará determinado por la magnitud de la amenaza que lo afecte y su vulnerabilidad ante esa amenaza.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$$

La reducción de la vulnerabilidad es precisamente lo que diferencia los resultados ante una amenaza entre diferentes países. Los países centroamericanos han sido más vulnerables ante los fenómenos naturales que los países desarrollados y debe cambiarse esto. La combinación de alta frecuencia de fenómenos físicos y países vulnerables, que no realizan esfuerzos para mitigar el riesgo, es la historia de la región. Ahora existen firmes propósitos de cambiar esa incorrecta trayectoria del pasado.

## 5. PRESENCIA DE UN CICLO RECURRENTE DE DESASTRE

La alta frecuencia de los desastres produce un deterioro en el desarrollo económico y social; el proceso de recuperación tradicionalmente se ha hecho sin medidas de mitigación, por lo que la vulnerabilidad de la región ha ido en aumento, hasta que vuelve a ser afectada nuevamente y el impacto de los fenómenos naturales se convierte en un nuevo desastre. Este ciclo del desastre se quiere romper en Centroamérica y la única manera de lograrlo es formulando una estrategia que considere la reducción sistemática y efectiva de la vulnerabilidad y el riesgo.



CICLO DEL DESASTRE

## 6. EL CASO DEL HURACÁN MITCH: ¿UNA LECCIÓN APRENDIDA?

El tremendo impacto que le asestó a Centro América el Huracán Mitch a finales de Octubre de 1998 no fue un evento aislado. El istmo tiene la triste distinción de estar ubicado en la trayectoria de muchas tormentas tropicales. De hecho, la palabra "huracán" se cree que viene de los aborígenes Taínos, que habitaban el área del Caribe en los tiempos precolombinos. Durante el período colonial, los registros marítimos de España y de otras potencias Europeas relatan las enormes pérdidas de barcos a consecuencia de severas tormentas, muchas de ellas huracanes. Conforme pasaron los años, las pérdidas de barcos en aguas abiertas disminuyeron toda vez que las naves se construyeron más fuertes y seguras.

Pero en las costas los daños se incrementaron a causa de los cambios demográficos y en el uso de la tierra. En 1950 los cinco países de la región tenían una población de 8,3 millones y en 1998 de 31,1 millones. El Centro Demográfico Latinoamericano estima que para el año 2025 la población de la región sobrepasará los 55 millones. Mucho más gente está hoy en riesgo que hace 5 décadas y mucho más lo estará en el futuro. Por otro lado, gran parte de esta gente, la mayoría pobres, terminarán en las ciudades, donde construirán sus viviendas en laderas precarias y en terrenos inundables. Esto ocasiona que el bosque se convierta en áreas urbanizadas y en campos agrícolas, reduciendo la capacidad de absorción de la tierra y su habilidad para reducir el impacto de las lluvias intensas.

Luego del Mitch, el Ministro del Medio Ambiente de Honduras manifestó que la deforestación intensiva que se ha dado en ese país incrementó el impacto de la tormenta en un 30%.

Conforme la reconstrucción avanza, los países del istmo están conscientes de aprender de sus errores para forjar el marco para el desarrollo a largo plazo. "Éste es el único país que nosotros tenemos" dijo el Presidente de Honduras poco después de la tragedia, "por lo que tenemos que levantarlo y lo estamos haciendo."

El Huracán Mitch ha sido la peor tormenta que golpeó a Centroamérica en la historia reciente, pero aún así representa un caso vivo de "dèjà vu".

En setiembre de 1974 una fuerte tormenta, el Huracán Fifi, golpeó la costa norte de Honduras, "instalándose" sobre ese país varios días ocasionando la caída de 635 mm de agua en 24 horas, causando inundaciones y derrumbes que mataron un estimado de 8.000 personas. El Valle de Sula, en donde está ubicada la principal ciudad industrial del país, San Pedro, se convirtió en un enorme lago.

En esa época se habló mucho sobre el caso, sosteniendo algunos la tesis de que Fifi fue una anomalía, que probablemente nunca ocurriría de nuevo; otros

sostuvieron la tesis contraria y que consecuentemente el país debía prepararse para un desastre similar. Veinticuatro años después, el segundo grupo probó trágicamente que estaba en lo cierto. El Huracán Mitch, al igual que Fifi, se instaló sobre el norte de Honduras. Este ocasionó la precipitación de al menos el doble de lluvia que el precedente y mató más gente. El paralelismo entre estas dos tormentas, y su relativa proximidad en el tiempo, es un claro ejemplo de la importancia de incluir esfuerzos de prevención y mitigación durante las labores de reconstrucción luego de un desastre natural.

Lamentablemente, luego de que se repararon las carreteras y puentes dañados, y la producción retornó a su normalidad, se le prestó poca atención a las actividades de prevención. Hubo proyectos aislados en esta dirección pero no un programa coordinado dentro de una estrategia nacional. Muchos puentes fueron reconstruidos sin los requerimientos estructurales necesarios para soportar nuevas crecidas de gran magnitud; muchas laderas que mostraban inestabilidad a causa de la deforestación continuaron iguales.

A pesar de que Mitch fue una tormenta altamente destructiva, los daños pudieron ser significativamente reducidos si se hubieran tomado en la anterior ocasión medidas apropiadas de mitigación.

La gestión integral de desastres no es un lujo que sólo los países desarrollados pueden darse. Antes bien, los países en desarrollo están más obligados a pensar en la prevención de nuevos desastres cuando van a afrontar las labores de reconstrucción, para garantizarle al país que las cuantiosas inversiones que va a hacer estarán seguras.

## **7. PLATAFORMA PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD A LOS DESASTRES DEL SECTOR TRANSPORTE CENTROAMERICANO**

Como ya se dijo, Centroamérica es susceptible a una variedad de emergencias y desastres potenciales a causa de su composición geológica y climática, siendo los más importantes: terremotos, huracanes, eventos vulcanológicos, inundaciones y derrumbes. También deben considerarse las amenazas de índole tecnológica. Fundamentalmente, los desastres son el resultado de la falta de compatibilidad de las actividades humanas con el ambiente natural en el que vive la sociedad; la escasez de recursos es otro factor que se vincula a la vulnerabilidad de la infraestructura ante los embates de la naturaleza, pues incide directamente en la no toma oportuna de acciones que reduzcan la vulnerabilidad y disminuyan el impacto.

Existe un consenso general entre los expertos de que las fuentes de vulnerabilidad más relevantes para Centroamérica se dividen en varias categorías.

- Asentamientos humanos altamente vulnerables.
- Falta de organización social para la atención y mitigación de los desastres.

- Manejo inadecuado de los recursos naturales.
- Planificación ineficaz del uso de la tierra.
- Falta de apoyo a las organizaciones existentes para la atención de desastres.
- Diseño y planificación inadecuados de la infraestructura.
- Técnicas inapropiadas de diseño y construcción.

Las inversiones estratégicas en estas áreas reducirán la vulnerabilidad y el riesgo de pérdidas como consecuencia de desastres naturales. También producirán un beneficio tangible a largo plazo y lograrán un desarrollo más sostenible al incorporar la planificación basada en riesgos en las decisiones de desarrollo, mejorar la calidad y productividad de los recursos naturales, construir infraestructura más resistente y garantizar mayores niveles de resistencia financiera y social a eventos extremos.

### **7.1. MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

La relación entre los recursos naturales y los desastres es muy conocida. Su manejo inadecuado aumenta la vulnerabilidad a eventos naturales extremos y puede afectar considerablemente la magnitud de un desastre. Por ejemplo, las inundaciones y derrumbes son en gran parte el resultado de lluvias excesivas y una deforestación previa, atascamiento de ríos, menor capacidad de absorción de los suelos, infraestructura urbana inadecuada y reducción de los receptores naturales de agua tales como humedales y manglares. El buen manejo de los recursos naturales brinda la primera y más importante línea de defensa contra eventos naturales extremos.

Es menester proceder a reforestar, manejar y proteger áreas críticas en importantes cuencas regionales. Esta acción ayudará a disminuir las inundaciones y derrumbes, reducir las pérdidas resultantes de incendios forestales y proteger contra sequías y desertización. Además aumentará la cantidad y calidad de agua potable, protegerá el potencial generador de energía hidroeléctrica, amortiguará los daños a los ecosistemas costeros y protegerá el depósito de biodiversidad única y valiosa de la región para mantener el equilibrio natural en la agricultura y selvicultura.

Las actividades en este particular deben basarse en el trabajo de campo a largo plazo y recomendaciones de políticas presentadas en el proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano, dirigido por la Comisión Centroamericana para Ambiente y Desarrollo. El Corredor fue propuesto por la Alianza para el Desarrollo Sostenible (ALIDES), para impulsar el desarrollo y consolidación de acciones que promuevan un nuevo equilibrio entre las necesidades de sustento de los habitantes de la región, la dinámica económica imperante y el potencial de los recursos naturales de acuerdo con criterios ecológicos, económicos y sociales.

De lo que se trata es que el Corredor sea un sistema de ordenamiento territorial compuesto de áreas naturales bajo regímenes de administración especial, zonas

núcleo de amortiguamiento de usos múltiples y áreas de interconexión; organizado y consolidado de manera que brinde un conjunto de bienes y servicios ambientales a la sociedad centroamericana y mundial, promoviendo la inversión en la conservación y uso sostenible de los recursos naturales.

También es de trascendencia implementar un plan para proteger, manejar y restaurar los humedales y ecosistemas costeros prioritarios, tales como los manglares. Estos ecosistemas son las barreras naturales contra las inundaciones y temporales costeros. Su protección y manejo eficaz es decisivamente importante como amortiguamiento para los embates de la naturaleza a la infraestructura de la costa.

## **7.2. PLANIFICACIÓN DEL USO DE LA TIERRA**

La planificación del uso que el hombre le da a la tierra va de la mano con el manejo de los recursos naturales. Integrar la mitigación de riesgos y la planificación del uso de la tierra reducirá la vulnerabilidad a los desastres, y mejorará la viabilidad a corto y largo plazo de las inversiones en infraestructura. Es necesario proteger las áreas frágiles de los desastres, respetándolas, administrándolas y declarándolas como reservas. En muchos casos, esto requerirá inversión de recursos financieros y humanos y voluntad política.

Los actuales patrones y prácticas de uso de la tierra hacen que las personas y la infraestructura corran riesgos. La implementación significativa de la planificación del uso de la tierra tendrá como resultado un mejor manejo de los recursos naturales y una incorporación más amplia del manejo de riesgos en las decisiones de desarrollo. Se deben destinar recursos para incorporar un análisis más complejo de la vulnerabilidad en el diseño de las infraestructuras nacionales y brindar capacitación a las autoridades de planificación nacional para que incorporen la vulnerabilidad.

## **7.3. PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA**

Hay conciencia de que la infraestructura Centroamericana del Sector Transporte es vulnerable a eventos severos. No incluir este concepto en las decisiones de diseño y emplazamientos podría ocasionar la destrucción de la infraestructura y producir efectos secundarios nocivos y peligrosos. Por ejemplo, los caminos destruidos en los terremotos o inundaciones pueden aislar áreas que necesitan urgente ayuda durante los desastres. Los puertos y los aeropuertos corren un riesgo particular de afectación en sus instalaciones, consecuencia de desastres naturales, con los consiguientes atascamientos y retrasos en el intercambio comercial y en la movilización de pasajeros.

## **7.4 INCORPORACIÓN DE CRITERIOS DE VULNERABILIDAD EN LA PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA CENTROAMERICANA**

Centroamérica está tomando ahora muchas decisiones críticas a largo plazo respecto de sus inversiones de infraestructura más decisivas: carreteras, puertos, aeropuertos, capacidad energética y comunicaciones. Muchos de estos procesos no involucran plenamente las consideraciones de vulnerabilidad en sus etapas de planificación, y consecuentemente tampoco los análisis de riesgo. La omisión de estas consideraciones podría repetir un ciclo costoso de destrucción y reconstrucción. El planeamiento para la mitigación de desastres y vulnerabilidad debe incorporarse en los esfuerzos de planificación regional más importantes.

Por ejemplo, COMITRAN está en las etapas iniciales de la formulación del "Plan Maestro de Transportes Centroamericano", que será el resultado principal del Estudio Centroamericano de Transportes que ejecuta la SIECA. Este plan y los subcomponentes nacionales requerirán más conocimientos para garantizar que se incluya la vulnerabilidad en las decisiones de planificación e inversión. Deben destinarse recursos suficientes para apoyar las iniciativas regionales importantes que están tratando de incorporar la variable vulnerabilidad en la planificación.

#### **7.5. OBRAS PÚBLICAS Y PRÁCTICAS Y DISEÑO DE CONSTRUCCIONES**

Décadas de experiencia han propiciado la formulación de códigos y normas de construcción de una calidad relativamente elevada, así como prácticas adecuadas de construcción. Pese a estas regulaciones, hay falta de debida implementación y aplicación de las mismas. Los expertos regionales coinciden en que un serio empeño para enseñar, aplicar y evaluar periódicamente las normas y prácticas de construcción reducirá considerablemente la vulnerabilidad a diversos riesgos: desastres y problemas más directos, tales como incendios y colapso de la infraestructura.

#### **7.6. IMPLEMENTACIÓN DE NORMAS Y PRÁCTICAS ADECUADAS DE CONSTRUCCIÓN**

Deben destinarse recursos y esfuerzos para crear programas nacionales tendientes a concienciar y promover la aplicación de normas adecuadas de construcción, hacer comprender su importancia tanto al sector público como al privado e incorporar su práctica en la industria de la construcción, lo que sin duda redundará en una efectiva reducción de vulnerabilidades y del impacto de los desastres

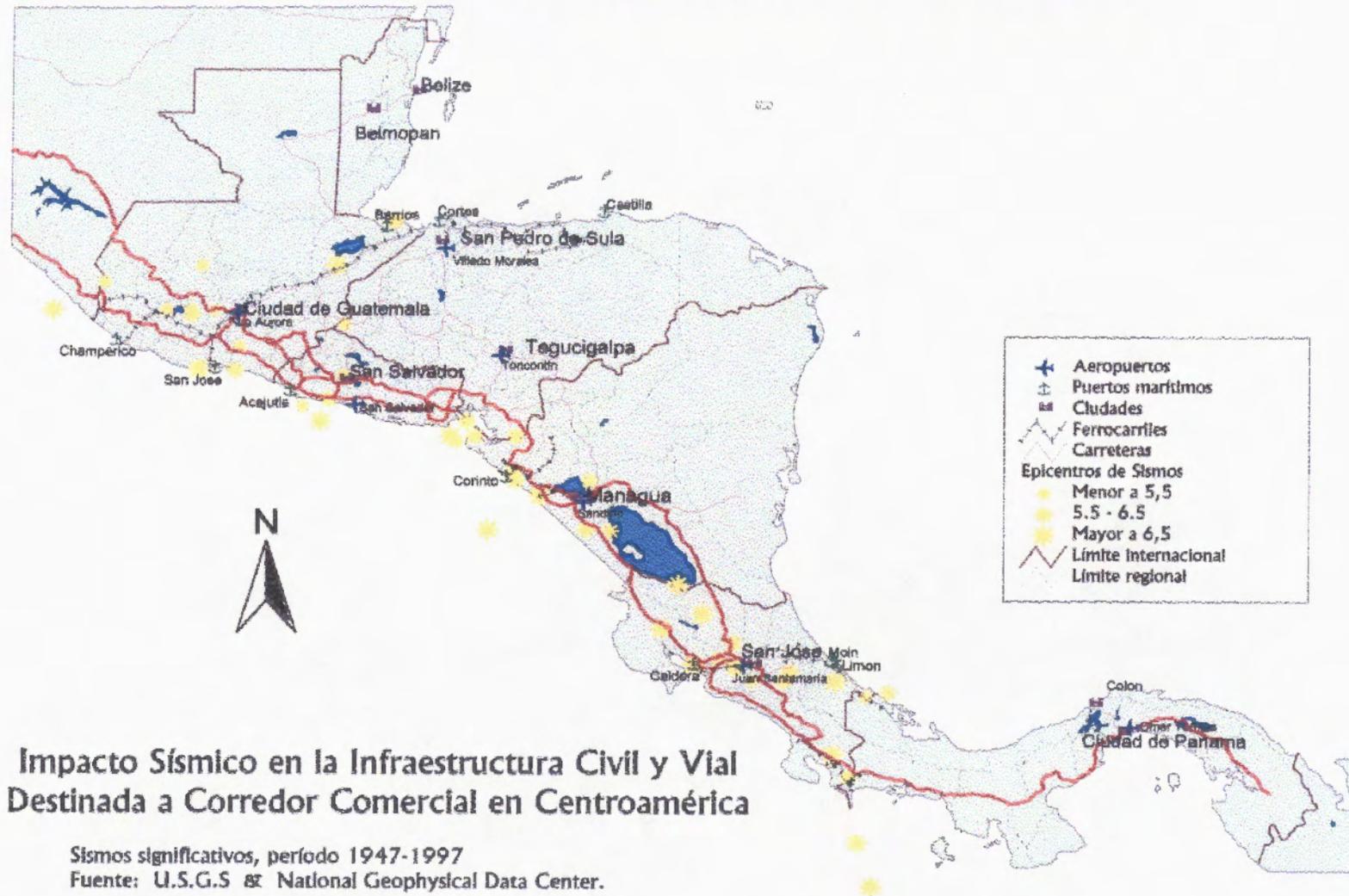
#### **7.7. IMPLEMENTACIÓN DE OTROS MEDIOS DE TRANSPORTE PARA OFRECER ALTERNATIVAS EFECTIVAS FRENTE A DESASTRES**

Es menester analizar el uso de otros medios de transporte que permitan ofrecer alternativas efectivas de movilización frente a los desastres, como por ejemplo desarrollar el cabotaje regional.

# Gráf. 7.1. El Corredor Logístico Centroamericano



## Gráf. 7.2. Sismos significativos 1947-1997



### Impacto Sísmico en la Infraestructura Civil y Vial Destinada a Corredor Comercial en Centroamérica

Sismos significativos, período 1947-1997  
 Fuente: U.S.G.S & National Geophysical Data Center.

0 400 km

Gráf. 7.3. Causas de los sismos



## SEGUNDA PARTE

### 8. ESTRATEGIA DEL SECTOR TRANSPORTE PARA SU INCORPORACIÓN EN EL PLAN BÁSICO DEL PLAN REGIONAL DE REDUCCIÓN DE DESASTRES EN RELACION A LOS PRINCIPALES CORREDORES DE EXPORTACION

La destrucción que el huracán Mitch ocasionó en la infraestructura de transporte en Centroamérica, provocó la inmediata interrupción del tránsito vehicular que se sirve de las carreteras regionales que atienden las necesidades del creciente movimiento de personas y de mercancías que son objeto de intercambio dentro del Mercomún, ocasionando considerables pérdidas económicas para la región. Algunas industrias regionales debieron incurrir en elevados costos de transporte para asegurar el cumplimiento de sus compromisos de entrega de sus productos, utilizando los servicios de las líneas aéreas y marítimas internacionales que tocan los aeropuertos y puertos de la región. Gran cantidad de camiones y furgones cargados quedaron atrapados en la ruta.

El tránsito a lo largo del denominado Corredor Vial Natural, que se extiende desde Tecún Umán en la frontera con México hasta la ciudad de Panamá, fue interrumpido por la destrucción del puente que cruza el río Nacaome, en el territorio hondureño. Por otro lado, la destrucción parcial del puente Río Negro, así como los puentes Hato Grande, El Gallo y San Cristóbal, sobre el segmento del referido Corredor Vial que enlaza Chinandega con la frontera de Honduras, dentro del territorio nicaragüense, también afectaron grandemente el tránsito vehicular. Los Presidentes de los países centroamericanos se comprometieron a la reconstrucción inmediata de la infraestructura vial que une a Centroamérica, en vista de su prioridad estratégica y gran importancia para las economías de los países afectados por la catástrofe natural. Asimismo, a la formulación de un plan regional para la prevención y mitigación de desastres en el Sector Transporte, orientado a reducir la vulnerabilidad y el impacto de los desastres en la infraestructura vial de los corredores centroamericanos. El costo directo de la reconstrucción de los daños es tremendo, pero igual de importante es el impacto social y económico que provoca no poder disponer de las vías de comunicación justo en el momento en que más se necesitan. Es menester crear la cultura de la prevención.

#### 8.1. ANTECEDENTES

La presente propuesta se dirige a corregir aspectos técnicos de la infraestructura de los medios de transporte que constituyen los corredores de comercio centroamericano, en los puntos que sean identificados como de alta vulnerabilidad a los fenómenos naturales, ocasionada por la combinación de factores climáticos, características geográficas, mal manejo del impacto ambiental, obras construidas en épocas que aún no reconocían la importancia de este tema y por otros procesos generados por el hombre, como es la deforestación que incide sobre la erosión, las escorrentías y la desestabilización de suelos.

El Istmo Centroamericano está localizado en la parte central del Continente; se encuentra latitudinalmente dentro de la región tropical, pero posee una gran diversidad de climas y microclimas. Su ubicación geográfica permite la interacción de vientos alisios proveniente tanto del norte como del sur, que producen fuertes lluvias y tormentas eléctricas, que afectan la infraestructura severamente. Durante los meses de mayo a noviembre se presenta la estación lluviosa.

El impacto de los huracanes se hace sentir en la Región, al ser afectada normalmente en forma indirecta e indirecta todos los años por la imprevisible temporada de huracanes del Mar Caribe. Además, las características topográficas y geográficas con sus numerosas cordilleras y sierras, cuencas caudalosas y variedad de suelos y propensión sísmica hacen que los fenómenos naturales relacionados con la precipitación sean más graves. Centroamérica es una de las regiones más lluviosas del planeta, al registrar niveles de precipitación media anual de hasta 7.200 mm. En algunas zonas montañosas llueve todo el año; las más lluviosas se localizan entre los 1.400 y 2.200 metros de altura.

La distribución de la población hizo necesario construir vías a través de las cordilleras desde hace muchas décadas, cuando el manejo del impacto ambiental de las obras no se trataba con la rigurosidad del presente. Esto hizo que, como se ha aprendido del análisis histórico de sucesos, que parte de las vías más importantes estén superpuestas sobre áreas de alta vulnerabilidad a eventos naturales, relacionados a lluvias y a sismos.

## **8.2. SITUACION ACTUAL DE LA RED VIAL**

La globalización de la economía ha tenido impactos importantes sobre las políticas comerciales de la región centroamericana, cuyos países se proponen fortalecer su competitividad como bloque para atraer inversiones que contribuyan al crecimiento económico de los países y, por otro lado, ofrecer la mejor calidad al menor costo de sus productos exportables. En este concepto básico de orientación comercial se encuentra involucrado el sector transporte, instrumento sin el cual la política comercial regional no puede marchar.

Específicamente en el campo vial, se identifican como esenciales elementos de soporte a la competitividad centroamericana los 3 corredores comerciales y sus conexiones, dado el alto tránsito de exportación e importación que por ellos se moviliza. Son estos el Corredor natural (Pacífico) y los corredores alternativos A (Central) y B (Atlántico), de gran importancia regional para el comercio del Mercomún y con los países del exterior.

Las carreteras que conforman los corredores del comercio centroamericano son las principales arterias de transporte de la región, movilizandando miles de toneladas de mercancías entre los países centroamericanos. Además, estas vías de comunicación son de vital importancia para unir las principales ciudades a lo interno de los países. Históricamente han sido vías impulsoras del crecimiento de

grandes regiones productivas y han propiciado el fortalecimiento de importantes polos de desarrollo.

La Región ha invertido en los últimos años importantes sumas con financiamiento local y externo para rehabilitar este sistema. Sin embargo, algunas secciones de los corredores no cumplen con las condiciones técnicas uniformes de un corredor tan importante para el comercio centroamericano, lo que le resta competitividad a nivel internacional para el trasiego de productos, por lo que deben continuarse los esfuerzos para modernizar la vía en el futuro.

No obstante, las necesidades de construcción y rehabilitación del corredor, el objeto principal de este documento es el de enfocar la necesidad de mirar a estos importantes vías desde el punto de vista de su fragilidad para resistir nuevos embates de la naturaleza y proponer las obras correctivas necesarias.

La carga transportada por estas vías se ha visto incrementada extraordinariamente con el transcurrir de los años. A pesar de que los países han hecho ingentes esfuerzos por mantener en buenas condiciones de ruedo estos importantes corredores, el impacto de los desastres naturales se ha encargado de hacerlos nugatorios. Las implicaciones económicas que tiene un cierre o interrupción de una carretera dañada por causa de un fenómeno natural o cualquier otra amenaza es enorme. Por eso nuestros países deben emprender acciones correctivas concretas que mitiguen las consecuencias físicas que puedan sufrir los corredores comerciales más importantes, en un esfuerzo por preservar la inversión realizada en el pasado, por mantener vías más seguras y eficientes y para no afectar el comercio intrarregional e internacional y por ende a nuestras economías.

### **8.3. OBJETIVO DE LA PROPUESTA**

Reducir la vulnerabilidad de la infraestructura del sistema de transporte de la región, específicamente en los principales corredores comerciales, y mitigar los efectos negativos del medio ambiente, que sean definidos como los más vulnerables a los fenómenos naturales, por medio de la construcción de obras de protección, obras correctivas y la correcta aplicación de medidas ambientales.

A este efecto los Ministerios de Transporte centroamericanos, por medio de sus Direcciones de Planificación, deben efectuar estudios para determinar los puntos críticos en los tramos más vulnerables de los Corredores Viales Centroamericanos (Natural, Alternativo A y Alternativo B), y de los otros modos de transporte utilizados para el intercambio comercial (puertos de altura y aeropuertos internacionales). Los factores principales a detectar en los estudios son las vulnerabilidades de esa infraestructura a las potenciales amenazas naturales históricamente conocidas, que se hayan presentado repetitivamente a través de los años, particularmente efectos directos o indirectos de huracanes, ocurrencia de lluvias de alta intensidad, inundaciones, taludes inestables proclives a deslizamientos, historial de eventos sísmicos, áreas con topografía y/o suelos

problemáticos, drenajes inadecuados, cortes con taludes pronunciados que provoquen inestabilidad, ubicación desfavorable de estructuras y de la calzada de las carreteras, etc.

#### **8.4. FORMULACION DE UN PLAN DE ACCION PARA LA REDUCCION DE LAS VULNERABILIDADES Y EL IMPACTO DE LOS DESASTRES EN EL SECTOR TRANSPORTE DE CENTRO AMERICA**

En cumplimiento de los mandatos de la XX Cumbre de Presidentes de Centroamérica, celebrada el 18 y 19 de octubre de 1999 en Guatemala, y de la XXI Reunión del Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica, celebrada en ese mismo país el 18 de noviembre de 1999, se celebrará un taller en San José Costa Rica, del 2 al 3 de marzo del 2000, con la participación de delegados de los países del istmo, con el objetivo de formular un plan de acción de los países centroamericanos orientado a la reducción de las vulnerabilidades y el impacto de los desastres en el sector transporte, a partir de los acontecimientos más recientes.

El territorio centroamericano soporta año a año una serie de desastres naturales, producto de los efectos directos e indirectos de las tormentas tropicales y huracanes que se forman en el Océano Atlántico y en el Caribe, que incursionan en el área provocando graves afectaciones a la infraestructura del sector transporte; asimismo, como consecuencia de la sismicidad local y regional, que periódicamente desata su furia demoledora contra áreas importantes del territorio. Estos fenómenos naturales producen severos daños a las carreteras, puertos y aeropuertos, que requieren de costosas obras de reconstrucción, paralizando por varios días, o semanas, el transporte que sirve al comercio interregional e internacional, con graves repercusiones económicas y sociales.

Estas afectaciones se deben, en gran parte, a la tradicional debilidad que ha mostrado la región en la planificación de la infraestructura del sector transporte, que no ha tomado en debida cuenta las amenazas naturales conocidas, a efecto de reducir la vulnerabilidad de las obras a sus impactos, lo que se traduce en serios y repetidos daños a las mismas.

Ante los desastres que han aquejado de manera creciente a Centro América, hay plena conciencia de que llegó el momento histórico de presentar un conjunto coherente y ordenado de acciones prácticas para superar las actuales deficiencias, para lo que es menester elaborar planes de prevención y mitigación de los desastres naturales en cada país centroamericano, en este caso con relación al sector transporte, desarrollando lineamientos estándares regionales para reducir la vulnerabilidad del sistema vial del istmo a desastres naturales, estableciendo además compromisos de acción para que todos los países realicen los esfuerzos necesarios para contar con dichos esquemas como componentes básicos del plan regional.

Al propósito los Ministerios de Transporte, en conjunto con los organismos nacionales y regionales encargados del manejo de las emergencias, deben proceder cuanto antes a realizar los estudios necesarios para definir las áreas peligrosas e identificar los puntos vulnerables, así como las propuestas de prevención y mitigación procedentes.

#### **8.4.1. ASPECTOS GENERALES DE LA ESTRATEGIA DEL SECTOR TRANSPORTE PARA SU INCORPORACIÓN EN EL PLAN BÁSICO DEL PLAN REGIONAL DE REDUCCIÓN DE DESASTRES**

Se propone desarrollar un sistema de gestión para el sector transporte, a fin de disminuir su vulnerabilidad a los impactos de los desastres naturales y antrópicos, compuesto de tres fases principales: evaluación del riesgo existente, determinación de proyectos específicos de mitigación a ejecutar dentro del marco de una programación en el tiempo, y seguimiento (vigilancia o monitoreo) de las mejoras y su evaluación en el tiempo.

A continuación se describen los principales elementos de una estrategia general y las actividades a realizar, para la formulación de un sistema de gestión para la reducción de la vulnerabilidad del sector transporte ante los desastres naturales y antrópicos.

##### **8.4.1.1. EVALUACION DEL RIESGO**

El riesgo es el producto de dos factores que pueden ser evaluados independientemente: amenaza y vulnerabilidad. La cuantificación del riesgo es la base fundamental de la toma de decisiones y de la definición de prioridades de inversión en proyectos de mitigación.

Es conocido que Centro América está expuesta a una gran variedad de efectos de los procesos geofísicos e hidrometeorológicos actuantes en la región, que constituyen amenazas naturales (sismos, huracanes, erupciones volcánicas). A estas deben agregarse las amenazas antrópicas, que resultan del manejo inadecuado de la tecnología y sus efectos sobre el medio. La evaluación de las amenazas naturales requiere de varios componentes de investigación sobre las características de los procesos que las originan y del medio en el cual se encuentra la infraestructura y la población.

La vulnerabilidad es, en gran medida, el resultado de los estándares de diseño y construcción empleados, y del mantenimiento preventivo que se dé a los diferentes componentes de los sistemas, sean estos pavimentos, puentes u otras estructuras y equipo especializado, tales como grúas. Consecuentemente, una evaluación de la vulnerabilidad ante desastres naturales debe basarse en un inventario de la infraestructura existente y en el análisis de sus características. Posteriormente, se debe realizar un análisis del costo y beneficio que la implementación de medidas correctivas tendría sobre la reducción de la vulnerabilidad.

La integración del análisis de amenaza y de vulnerabilidad permite definir y cuantificar las posibles consecuencias de un evento probable. Para los tomadores de decisiones, esta integración debe quedar expresada en función del costo asociado con los diferentes niveles de riesgo. El riesgo es definido como el producto de los dos factores:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

La evaluación de las amenazas y su vulnerabilidad asociada permite cuantificar el riesgo. Para realizar el análisis de riesgo es necesario determinar la relación entre nivel de daño versus la intensidad del evento. El análisis del riesgo incluye, además de la evaluación de las amenazas y de la vulnerabilidad propia de la infraestructura, la identificación de poblaciones expuestas y el impacto secundario de un evento sobre la economía de un país o región.

El riesgo puede ser expresado como el costo asociado con la probabilidad de ocurrencia o con el período de retorno de eventos adversos de determinada magnitud (desastres). Cada nivel de riesgo está asociado con una probabilidad de ocurrencia del evento y/o con un periodo de retorno. Esta forma de evaluar el riesgo es conocida como *probabilística* y se deriva de las incertidumbres asociadas con la determinación de la amenaza y la predicción de eventos. El nivel de riesgo manejable debe ser definido por las autoridades responsables, tomando en cuenta el impacto que tendría un evento desastroso, no solamente sobre el sector, sistema o componente particular (i.e., el sector transporte, los corredores viales, o un puente), sino también sobre la economía del país y/o la región.

Otra forma de cuantificar el riesgo es mediante los estudios de impacto de un desastre o "escenarios". En este caso se escoge un evento específico y se modelan todas sus posibles consecuencias, para posteriormente cuantificar su impacto en términos económicos. Este enfoque es conocido como *determinístico*, puesto que las características del evento deben ser escogidas o determinadas a priori. Este tipo de estudio se facilita cuando se conocen con mayor certeza las características físicas de la amenaza.

Es importante enfatizar que la cuantificación del riesgo, sea en forma probabilística o determinística, es condición *sine qua non* para la generación de los planes de mitigación y para 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 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.

#### 8.4.1.1.a. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Las principales amenazas naturales a las que está expuesto el sector transporte de Centro América son los efectos de los huracanes y lluvias intensas, y los sismos. Centro América es el sitio de origen de la palabra "huracán", de los cuales tenemos experiencias muy recientes de un gran impacto, tales como Fifi, 1971; Juana, 1989; César, 1992 y Mitch, 1998. Centro América está expuesta a los efectos de los sismos; de los cuales los más recientes son los de Managua, 1972; Guatemala, 1976; San Salvador, 1986; Limón (Costa Rica - Panamá), 1991. También han sido frecuentes, en la breve historia de nuestros países, los desastres generados por erupciones volcánicas. En el pasado, tales eventos han provocado incluso la reubicación completa de poblaciones y de infraestructura. No se debe minimizar la importancia de otras amenazas que se presentan como eventos menos frecuentes, pero cuyas consecuencias pueden ser potencialmente más desastrosas.

Cada sistema y cada elemento, dentro del sector transporte (corredores viales, ferrocarriles, puertos y aeropuertos), es mayormente vulnerable a ciertos tipos de amenazas. El tránsito en carreteras de las regiones montañosas de Centro América sufre interrupciones anuales de consecuencias económicas importantes, debido a los deslizamientos de tierra y otros movimientos de masas, principalmente relacionados con lluvias intensas. Las lluvias intensas también provocan avenidas extraordinarias en los ríos, que pueden interrumpir el tránsito por los puentes o destruirlos por completo. Los sismos también generan deslizamientos y su impacto sobre las carreteras puede tener consecuencias desastrosas sobre la economía de un país o región. El problema de la licuación de suelos es un efecto secundario de los sismos de gran magnitud, con consecuencias desastrosas, como lo muestra el caso del sismo de Talamanca (Costa Rica - Panamá) de 1991.

La cuantificación de la amenaza es un proceso que requiere de varios componentes de investigación. Los productos finales de este proceso pueden ser mapas de amenaza, parámetros para diseño general o valores específicos para un sitio. Los parámetros de interés dependen no solamente de los procesos físicos involucrados en los efectos de la amenaza, sino también del tipo de obra o elemento que se desea analizar.

Para carreteras y ferrocarriles, en caso de sismo, interesan las deformaciones permanentes del terreno más que los efectos de la vibración. Las deformaciones pueden ser el resultado de licuación del suelo o de movimientos de masa (deslizamientos, derrumbes). Por lo tanto, la evaluación de la amenaza debe prestar especial atención a las características geotécnicas del sitio (tipo de suelo, espesores de depósitos, resistencia, problemas de estabilidad).

En el caso de puertos y aeropuertos, por tratarse de instalaciones críticas en emergencias, que albergan equipos costosos y sensibles, es importante llegar hasta el detalle de la evaluación de la amenaza para el sitio específico donde está

ubicada la infraestructura, es decir, debe incluirse necesariamente un estudio de las características geotécnicas del sitio. Las deformaciones permanentes del terreno siguen siendo el efecto más crítico, en caso de presentarse, tal como lo demuestra la experiencia de los sismos de Limón, Costa Rica, en 1991, y de Kobe, Japón, en 1995. Si se descarta la ocurrencia de deformaciones permanentes del terreno, debe prestarse atención a los efectos de la vibración.

Un estudio de las amenazas parte de un inventario de eventos y de localización de zonas de mayor incidencia o actividad. Para la evaluación de la amenaza sísmica se debe analizar la sismicidad pasada y caracterizar magnitudes e intensidades de los eventos que cada zona sismogénica tiene asociados. Se debe prestar atención también a las zonas de inestabilidad de suelos y rocas, y a las zonas expuestas a tsunamis (maremotos). Para la evaluación de las amenazas hidrometeorológicas se deben analizar la recurrencia y la localización de lluvias intensas, zonas de inundación, zonas de socavación y zonas de inestabilidad de suelos y rocas. Para la evaluación de las amenazas volcánicas se deben analizar las zonas de vulcanismo activo y las zonas asociadas de descarga de materiales.

Es evidente la necesidad de realizar estudios geológicos, sismológicos, hidrológicos y geotécnicos para la evaluación de las amenazas y para llegar a la identificación y caracterización de las variables involucradas en el proceso, tales como la geología de la región, los procesos geofísicos actuantes en el medio, la topografía, las características hidrográficas e hidrológicas de las cuencas, los tipos de suelo, el régimen de precipitación, la actividad humana relacionada con el detrimento del ambiente, etc.

Para cada amenaza, una caracterización adecuada implica un análisis estadístico de variables involucradas y una modelación de los procesos generadores de eventos. Los modelos pueden ser determinísticos y/o probabilísticos, dependiendo del conocimiento que se tenga del proceso y del tipo de análisis que se haga. Una vez que se haya realizado la calibración de los parámetros del modelo, se puede hacer la predicción de eventos (determinística / probabilística).

La mayoría de los estudios de amenaza tienen como resultado mapas de uso especializado para ingenieros y tomadores de decisiones. En la actualidad esto se logra fácilmente mediante la integración de la información en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos programas de cómputo permiten la implementación del modelo y una combinación de factores y pesos (ponderación de los parámetros). Al utilizar un SIG, la escogencia de escala depende de la densidad de la información sobre la geología, la topografía y los tipos de suelo. El resultado puede ser una macrozonificación o una microzonificación de la amenaza, de acuerdo con la escala.

Para la evaluación detallada del riesgo asociado con una amenaza es necesario realizar estudios específicos del sitio en el cual está localizada la infraestructura o la población.

#### 8.4.1.1.b. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es, en gran medida, el resultado de los estándares de diseño y construcción empleados, del mantenimiento preventivo que se dé a las estructuras y equipo, y de la existencia de redundancia en los sistemas, tanto en el ámbito local como general. Por lo tanto, una evaluación de la vulnerabilidad ante desastres naturales debe basarse en un inventario de la infraestructura y equipo existente, y en el análisis de sus características funcionales. Se requiere, en principio, de la evaluación preliminar de la amenaza, puesto que ésta señala las zonas donde la infraestructura está mayormente expuesta. La vulnerabilidad de la infraestructura expuesta es la que debe ser determinada y reducida. Sin embargo, es importante también determinar la redundancia de los sistemas y la vulnerabilidad de la infraestructura que no está expuesta, 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.

En este punto, es conveniente diferenciar entre vulnerabilidad *física* y vulnerabilidad *funcional*. La vulnerabilidad física es la susceptibilidad a sufrir deterioro o daño ante los procesos físicos. El daño puede ser total, cuando un sistema colapsa ante la acción de procesos que exceden su capacidad de resistencia. Otros factores que determinan la vulnerabilidad física, además de la resistencia, son la durabilidad, la rigidez o flexibilidad (capacidad de deformación sin que se llegue a una condición de falla por deformación permanente o fatiga), la ductilidad (capacidad de deformación inelástica) y la resiliencia (capacidad de disipación de energía transmitida por ciclos de carga). El comportamiento del medio inmediatamente en contacto con un sistema (generalmente el terreno superficial), en caso de un evento desastroso, es la propiedad más importante de ese sistema para determinar su vulnerabilidad física. En caso de sismo, los efectos principales son las vibraciones y las deformaciones permanentes del terreno.

Para el análisis de vulnerabilidad física, es necesario comenzar por un inventario y una clasificación de infraestructura expuesta. La clasificación es útil para definir el efecto más importante de las amenazas y para la modelación del sistema como red. La clasificación más básica diferencia entre elementos lineales (carreteras, ferrocarriles, tuberías, etc.) y elementos puntuales (puentes, plantas de generación, puntos de control). Para la modelación de la red es importante definir también los nodos (intersecciones, estaciones, subestaciones, centros de control).

Como se ha mencionado ya, la vulnerabilidad física depende del estándar de construcción utilizado y de la incorporación de medidas de protección específicas contra el tipo de eventos desastrosos en consideración. Las características conocidas del estándar (fortalezas y deficiencias) permiten estimar preliminarmente el comportamiento de la infraestructura ante eventos adversos. Además, es necesaria la evaluación experimental de las propiedades del elemento (resistencia, rigidez, durabilidad, ductilidad, resiliencia, etc.) y modelar el comportamiento de estructuras o sistemas construidos con ese elemento, ante eventos adversos, para definir las *curvas de fragilidad*. Las curvas de fragilidad

establecen una relación matemática entre intensidad o magnitud de un evento (caracterizado mediante algún parámetro como energía, aceleración, desplazamiento, etc.) y el nivel de daño (porcentualmente) que sufre un elemento o sistema. En el caso de estructuras, existen curvas de fragilidad que requieren de adaptación o calibración cuando se utilizan fuera del contexto en el que fueron desarrolladas.

Para algunos sistemas, el análisis de comportamiento puede hacerse en forma simple (como en los sistemas basados en elementos puntuales), mientras que en otros sistemas será necesario hacer un análisis compuesto (como en los sistemas basados en elementos lineales). La dimensión del análisis es función de las dimensiones espaciales del sistema. Los sistemas de información geográfica (o georreferenciada) permiten realizar análisis compuestos.

Para la determinación de los aspectos deficientes o la vulnerabilidad del sistema, se toma como base la definición de eventos adversos (determinística / probabilística) que resulta del análisis de amenaza. Variando los tipos de eventos, su localización e intensidad, se detectan los puntos críticos de un sistema. Este tipo de análisis puede realizarse también con base en una zonificación existente, si esta se considera apropiada (actualizada).

La vulnerabilidad funcional depende no solamente de la vulnerabilidad física sino también de otros factores y propiedades de un sistema, considerado, en conjunto, como una red de componentes. Entre los factores importantes se destacan la redundancia o capacidad de cambiar de configuración, para conservar la función y la interacción entre componentes o entre sistemas. La redundancia se ve afectada por la configuración de un sistema, ya que ésta última establece las relaciones de dependencia entre los componentes. Una configuración en serie es más vulnerable que una en paralelo. Los corredores viales son, usualmente en Centro América, sistemas en serie compuestos por elementos lineales (carreteras), elementos puntuales (puentes) y nodos (intersecciones), que conectan con otros corredores. La disposición física de los elementos hace que la falla de uno de ellos implique la pérdida de la función de todo el sistema, adicionalmente existen pocos medios de transporte alternos (como el cabotaje, por ejemplo).

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. Una vez definida la red se puede analizar su redundancia y su sensibilidad o fragilidad, mediante la simulación de eventos (escenarios). De este análisis se determinan los puntos y rutas críticos.

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.

#### **8.4.1.2. DEFINICIÓN DE PRIORIDADES, PLANES Y PROYECTOS ESPECÍFICOS DE MITIGACIÓN. DETERMINACIÓN DE LOS PROYECTOS A EJECUTAR DENTRO DEL PLAN DE REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SECTOR TRANSPORTE Y SU FINANCIAMIENTO**

Una vez realizada la evaluación de las amenazas y de la vulnerabilidad que afectan al sector transporte, tarea que debe ser ejecutada con la mayor prioridad por las Direcciones de Planificación de los Ministerios de Transportes de cada uno de los países de la región, deberán prepararse los perfiles de los proyectos requeridos en los sitios en que se determine vulnerabilidad importante ante las amenazas que históricamente han afectado el área, particularmente en cuanto a efectos directos e indirectos de los huracanes y a eventos sísmicos se refiere. Particular relevancia tienen los puntos en donde los desastres han impactado reiteradamente, ocasionado daños que se han tenido que atender repetidas veces.

La evaluación del riesgo conlleva un análisis costo / beneficio de la inversión en mitigación, el cual permite definir prioridades de inversión en obras de mitigación de los posibles efectos adversos, para ser incluidos en los planes de inversión y desarrollo del sector transporte de la región. La mitigación se logra, fundamentalmente, mediante la reducción de la vulnerabilidad de la infraestructura, puesto que el otro factor determinante del riesgo (la amenaza) deja poco margen a la manipulación ingenieril.

La reducción de la vulnerabilidad física y funcional se logra con medidas estructurales. La reducción de la vulnerabilidad institucional del sector se logra con medidas no estructurales. Las medidas estructurales incluyen la readecuación, reubicación y/o construcción de nueva infraestructura. Las medidas no estructurales incluyen la revisión y actualización de los códigos y reglamentos de diseño y construcción, y la preparación de planes de contingencia. Los proyectos específicos de reducción de vulnerabilidad, que se generen en cada sistema deben incluir ambos tipos de medidas.

Es fundamental tener, a corto plazo, una cartera de proyectos orientados a reducir la vulnerabilidad, para procurar el debido financiamiento ante la comunidad cooperante internacional, en la reunión de Madrid de octubre del 2000, los organismos financieros multilaterales y/o para orientar, de la mejor manera, las obras que en esta dirección se realicen con los recursos presupuestarios ordinarios. Hay que tener en mente que nadie financia ideas, sino proyectos. Mientras éstos no existan, con el debido soporte técnico, no se conseguirán los recursos necesarios para acometer estas obras tan trascendentales desde el tipo de vista económico y social para los países centroamericanos.

Es claro que debe haber una visión regional ante los desastres, pues éstos no reconocen fronteras. El Huracán Mitch es un franco ejemplo de esto. En consecuencia, es imperativo establecer una acción coordinada de los países

centroamericanos para uniformar las labores de evaluación de las amenazas y la vulnerabilidad, y para homogenizar los esquemas para la elaboración de los perfiles de los proyectos. Igualmente, en cuanto a las gestiones que deben realizarse ante los cooperantes y los entes crediticios, se debe formar un frente común

Adicionalmente, los Ministerios de Transportes y las organizaciones de atención y prevención de desastres, deben velar para que los diseños y las obras que se realicen en adelante contemplen el análisis de riesgo ante las amenazas conocidas, según la vulnerabilidad existente, como un elemento de primordial importancia; lo que sin duda constituirá una forma responsable y efectiva de coadyuvar en esta trascendental tarea.

#### **8.4.1.3. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR TRANSPORTE, QUE EJECUTEN LOS PAÍSES CENTROAMERICANOS ORIENTADOS A DISMINUIR EL IMPACTO DE LOS DESASTRES**

Ante la descomunal y urgente tarea que debe acometerse en el campo de la prevención y mitigación de los desastres en todo el sector transporte centroamericano, fundamental para promover el crecimiento sostenible de la región, es de la mayor importancia que los entes encargados de ejecutar estas obras de infraestructura en cada país designen dependencias, con plena dedicación y suficiente autoridad, que mantengan una base de datos actualizada de la vulnerabilidad existente, de la cartera de proyectos elaborada para su corrección y de las obras en ejecución a este propósito. Además, para que vigilen que los proyectos que en adelante se ejecuten incluyan los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y análisis del riesgo, como un factor importante de diseño.

La reducción de la vulnerabilidad implica no solamente una inversión en readecuación y preparación para contingencias, sino también un control de calidad estricto de la construcción y el mantenimiento apropiado de la infraestructura. Para este propósito es importante incluir, en los planes de inversión y en los proyectos específicos, la participación de auditorías técnicas externas, que garanticen el nivel de calidad esperado, mediante la inspección rutinaria y la verificación del cumplimiento de códigos y especificaciones.

La investigación científica es un componente importante en la sostenibilidad de los planes de mitigación. Mientras no ocurran eventos de gran magnitud (eventos de diseño), las experiencias de eventos moderados, con mayor probabilidad de ocurrencia o menor periodo de retorno, deben ser cuidadosamente analizadas. El desempeño de los sistemas debe ser contrastado con las suposiciones del diseño y, con base en ese retroanálisis, se pueden hacer predicciones del comportamiento ante otros eventos. De ser necesario, se deberán realizar ajustes o readecuaciones a los diseños y códigos. En todo caso, la revisión periódica de las normas de diseño debe ser un proceso constante, en el cual las experiencias

de regiones similares son de gran utilidad.

Además del análisis del comportamiento de los sistemas ante eventos, la experimentación con nuevas tecnologías y su adaptación, el desarrollo de metodologías de diseño y materiales es otro componente la investigación científica, que beneficia a la sostenibilidad de la mitigación.

La sostenibilidad de un programa de reducción de vulnerabilidad de un sector depende también de la apropiada preparación del personal. Esto se logra con capacitación y educación específicas, la cual puede ser el objeto de un departamento dentro de la organización, o el producto de una relación con otra institución de la cual se obtenga la transferencia de tecnología necesaria.

#### **8.4.2. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD DE LOS CORREDORES VIALES CENTROAMERICANOS Y SUS CONEXIONES, PARA SU INCORPORACIÓN EN EL PLAN BÁSICO DEL PLAN REGIONAL**

##### **8.4.2.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA EN CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES**

Según se puede apreciar en la Figura 7.1, los principales corredores viales y sus conexiones están concentrados hacia el sector de la costa Pacífica de Centro América. Esta zona recibe el impacto directo de los sismos generados por el proceso de subducción de la Placa Cocos bajo la Placa Caribe (Figura 7.3), los cuales pueden alcanzar magnitudes superiores a 7.5 (Figura 7.2). En todos los países centroamericanos existen estudios de la amenaza sísmica y mapas de zonificación de la misma. Para propósitos de definir estrategias, sin embargo, es necesario profundizar en el detalle de estas evaluaciones y poder definir los posibles efectos en el ámbito de la microzonificación. En corredores viales, es necesario evaluar la posibilidad de ocurrencia de licuación de suelos, la cual se asocia con depósitos aluviales arenosos, especialmente en las partes bajas, tales como las planicies de inundación de los grandes ríos de la vertiente del Pacífico de Centro América (Usumacinta, Lempa, Choluteca, Tempisque, Tárcoles, Térraba).

La anterior no es la única amenaza sísmica, puesto que, según se aprecia en la Figura 7.3, en los extremos de la Placa Caribe existen sistemas de fallas transcurrentes (Polochic, Motagua, Zona de Fractura de Panamá, Zona Transcurrente del Centro de Costa Rica) y otras formas de acoplamiento de placas tectónicas, tales como el Cinturón Deformado de Panamá y su continuación hacia Costa Rica, en la zona de fallamiento inverso de Limón. Los sismos en estas zonas pueden tener magnitudes tan altas como los del proceso de subducción, pero su potencial destructivo puede ser superior, dado que sus focos o hipocentros son menos profundos que los de subducción. En estos casos, las planicies de inundación de los grandes ríos de la vertiente atlántica pueden sufrir licuación de suelos y afectar seriamente la infraestructura de transporte. Ejemplos

de estos sismos destructivos son los de Guatemala, 1976 y Talamanca (Costa Rica - Panamá), 1991. Entre los efectos más destructivos de estos sismos, para el sector transporte estuvo la licuación de suelos.

En las partes montañosas de Centro América existen sistemas de fallas geológicas activas, que constituyen la segunda fuente de sismos importantes en la región. Los sismos de Managua (1972), San Salvador (1986) y Puriscal, Costa Rica (1990) tienen su origen en estos sistemas y han provocado daños en la infraestructura de transporte. La principal amenaza asociada con estos sismos es la inestabilidad de la masa de suelo, que puede dar lugar a deslizamientos de tierra o derrumbes que inhabiliten el tránsito por las vías durante la fase más crítica de la atención a un evento. También estos sismos pueden ser capaces de producir licuación, pero con menor extensión.

Los huracanes y tormentas tropicales del Caribe afectan directamente las vertientes atlánticas de Honduras y Nicaragua, con mayor intensidad que otras áreas centroamericanas, tal como lo muestran los huracanes Fifi, Juana, César y Mitch. Las trayectorias de las tormentas y huracanes son difíciles de predecir con los sistemas actuales de monitoreo existentes en la región y ésta es una de las principales debilidades o vulnerabilidades institucionales. No se puede descartar la posibilidad de que los huracanes también afecten directamente a los otros países centroamericanos, que atraviesen el istmo y lo recobren fortaleza al entrar en el Pacífico. Un estudio adecuado de la amenaza podría asignar probabilidades a este tipo de escenario de desastre.

La zona del Pacífico también está expuesta a los efectos indirectos de los huracanes y tormentas del Caribe, puesto que los sistemas de baja presión atmosférica atraen masas de humedad del Océano Pacífico, que se descargan sobre las montañas centrales del istmo. Esto provoca fuertes lluvias e inundaciones en las vertientes del Pacífico de Guatemala, El Salvador, Costa Rica y Panamá, principalmente.

Además de las inundaciones y la destrucción de infraestructura, los eventos hidrometeorológicos (alta precipitación, y avenidas de agua, por ejemplo) producen los deslizamientos de tierra y otros problemas de inestabilidad de masas. Estos problemas afectan seriamente los corredores viales de Centro América con una frecuencia casi anual. La magnitud de los problemas se ve amplificada en caso de eventos de mayor poder destructivo, como Mitch.

#### **8.4.2.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES**

Los pavimentos que componen los corredores viales centroamericanos, y sus conexiones, tienen diferentes estructuras, y están localizados en diversas zonas ambientales, con desiguales flujos de tránsito. Para el propósito que nos ocupa es necesario llevar a cabo una auscultación detallada de todas las carreteras involucradas, incluyendo las estructuras conexas (puentes, alcantarillas, drenajes,

etc.), la cual no debe ser tan sólo una lista de daños con referencia a la extensión y gravedad de los deterioros, sino que debe contemplar aspectos relacionados con la vulnerabilidad ante las amenazas naturales y las antrópicas, con el objetivo de predecir el comportamiento futuro de las redes viales; de manera que permita llevar a cabo, con oportunidad, obras que disminuyan el impacto de los desastres. La forma más eficiente de contrarrestar los efectos adversos de las amenazas naturales en los corredores viales, con un consecuente inmediato impacto positivo en las economías de los países de la región, es determinar la vulnerabilidad en el tiempo "t<sub>0</sub>", para lo cual es fundamental el levantamiento de los datos sobre el terreno.

La vulnerabilidad debe identificarse tanto para el proyecto de los corredores viales centroamericanos, como para los trabajos que realicen los diferentes países en proyectos aislados, siempre con una metodología de trabajo estandarizada, que se base en una plataforma de conocimiento tecnológico homogéneo (especificaciones, terminología, etc).

La vulnerabilidad de las redes viales se debe evaluar desde dos puntos de vista básicos:

- a) Vulnerabilidad física; que consiste en la posibilidad de daño ante eventos naturales y antrópicos, relacionada con las características intrínsecas de las estructuras de la red (pavimentos, puentes, túneles, etc).
- b) Vulnerabilidad funcional; que consiste en la posibilidad de daños indirectos, relacionados con la carencia de medios de comunicación alternos (redes viales más densas y versátiles, o métodos de transporte alternos, como cabotaje, por ejemplo).

#### **8.4.2.2.a INFORMACION REQUERIDA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

Es necesario desarrollar un inventario de información de los corredores viales centroamericanos y sus conexiones; orientado a la evaluación de vulnerabilidad y a la creación de una base técnica sólida y uniforme, que permita la comunicación en términos comunes entre los países del istmo.

Es conveniente realizar un estudio descriptivo de las condiciones de cada país, y sugerir criterios de uniformidad, que deberían ser discutidos en el ámbito de un foro técnico y/o seminario – taller. En tales tipos de actividades deberían participar: a) Departamentos de Planificación de los Ministerios de Transportes, b) Departamentos de Diseño y Administración de Pavimentos de los Ministerios de Transportes, c) Institutos de Investigación en Ingeniería de Pavimentos, d) contratistas en el área de construcción de pavimentos.

En este contexto es fundamental el conocimiento del estado del arte de los sistemas de administración de carreteras (pavimentos y estructuras conexas) en

los diferentes países, con especial énfasis en la información que se señala a continuación:

- Inventario de infraestructura expuesta: a) elementos lineales (carreteras principales, autopistas, pavimentos, drenajes, etc), b) elementos puntuales (túneles, puentes y sus aproximaciones), y c) nodos (intersecciones).
- Espesores de las capas de los pavimentos y análisis de uniformidad de dichos espesores.
- Características de las estructuras de los puentes: cimentación, materiales, patrones de transmisión de cargas, etc.
- Características de las estructuras de túneles: estructura, materiales, etc.
- Historial de rehabilitación de la red.
- Condición de la red y tipos de deterioro del pavimento (índices de deterioro). Adicionalmente, severidad y magnitud de cada tipo de falla.
- Estado del arte en especificaciones técnicas (carreteras y puentes).
- Estado del arte en señalización. En este aspecto es de particular interés la señalización de zonas de alto riesgo de desastres naturales o antrópicos.
- Estado del arte en vocabulario técnico. Se debe realizar un glosario técnico especializado, a nivel centroamericano.
- Estudios de rehabilitación y reconstrucción: tecnología de auscultación, cantidad de estudios, cobertura. Con énfasis en los corredores viales y sus conexiones, de interés para el transporte de bienes y servicios entre los países centroamericanos.
- Estudios de flujo de tránsito y cargas por eje.

Posteriormente, una vez recopilada la información discutida anteriormente, es necesario elaborar un análisis de la uniformidad de criterios, estableciendo políticas comunes en:

- Especificaciones técnicas (criterios de uniformidad preliminar). Se requiere homologar, igualmente, lo referente al tipo de ensayos y a los rubros normados. Adicionalmente conviene tener un estudio del soporte técnico de tales normas y procedimientos (responder a la interrogante: ¿están las especificaciones tropicalizadas?, o ¿son traducciones de normas de otras latitudes?).
- Índices de deterioro: para estructuras de puentes y estructuras de pavimento.
- Vocabulario técnico.
- Metodología de auscultación. Para que haya uniformidad a la hora de llevar a cabo las evaluaciones es menester desarrollar un método único de levantamiento, que cubra tanto la condición de las redes (función de la estructura y la habilidad de servicio), como su vulnerabilidad.

#### **8.4.2.2.b. ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD APLICADOS A LOS CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES**

Una vez sentadas las bases de la uniformidad centroamericana en los elementos esenciales de la Ingeniería de Carreteras, procede la evaluación de la vulnerabilidad de las redes viales centroamericanas; desarrollándose bajo las siguientes áreas de investigación:

A. Análisis de vulnerabilidad física.

Se requiere correlacionar las características de los sistemas viales con el tipo de efecto causado por eventos específicos; por ejemplo, el factor corte / relleno, en el trazo de una carretera, respecto al potencial de deslizamientos. Para lograr esta meta se deben realizar las siguientes acciones específicas:

- Identificación de deficiencias constructivas: estructurales y funcionales.
- Zonificación de vulnerabilidad física. A partir de bases históricas de daños e identificación de zonas con deficiencias (levantamientos).

Para cada tipo de vulnerabilidad se proponen tres niveles de severidad (alta, media y baja), las que, en los levantamientos de información, deben ser descritas con amplitud, ilustradas por fotografías y ubicadas en un croquis de la ruta.

El levantamiento de los daños debe ser efectuado por un inspector entrenado, que recorra los diferentes tramos de las carreteras en estudio y que anote cuidadosamente la información de interés: tipo de vulnerabilidad y daño eventualmente esperado, el grado de severidad del mismo, y la extensión posible del daño (longitud del tramo probablemente afectado). El levantamiento deberá ser manual, recorriendo la carretera a pie o en vehículo. El inspector debe ubicar la vulnerabilidad en un diagrama longitudinal de la ruta, incluyendo sus observaciones. Debe elaborarse un catálogo de vulnerabilidades, que incluya un método de representación gráfica de fácil aplicación. Se puede definir, por ejemplo, que sobre el diagrama longitudinal de ruta, la vulnerabilidad se represente por un rectángulo numerado, cuyo fondo (blanco, grisáceo u oscuro) indique el nivel de gravedad.

Es conveniente desarrollar un método único de cuantificación de la vulnerabilidad, correspondiente a una tipología de estudio y al objetivo particular, cual es obtener una imagen global de la vulnerabilidad de la red y definir los requerimientos financieros necesarios para su intervención planificada en un período corto. El aspecto visual es uno de los parámetros significativos que sirven al diagnóstico y a la elección de una solución, junto al historial, la estructura y condiciones externas (como tráfico). El objetivo de la auscultación es detectar la vulnerabilidad antes de que sean necesarias reparaciones, consecuencia de los impactos de los desastres; esto es, ejecutar acciones preventivas en vez de reparaciones curativas. La evaluación visual deberá ser efectuada de manera continua, por los organismos designados por los diferentes países, aplicando una metodología de trabajo estandarizada. Adicionalmente, se deberá contar con una base de datos para la vulnerabilidad del sector transporte centroamericano, donde se irán incluyendo las acciones de prevención / mitigación que se vayan efectuando.

Deben tomarse en cuenta las reparaciones realizadas a consecuencia de eventos anteriores, integrándolas dentro del examen visual de vulnerabilidad. Una reparación reciente enmascara un problema; reparaciones frecuentes lo subrayan. Las reparaciones se realizan para corregir daños en la carretera: su número, su extensión y su frecuencia en el tiempo son elementos de diagnóstico. En este particular se distinguen dos casos:

- a) Reparaciones que erradicaron la vulnerabilidad de manera definitiva. Situación que debe señalarse con toda claridad en la auscultación de la vulnerabilidad (levantamiento), incluyéndolo en el trazo del diagrama longitudinal de la ruta.
  - b) Reparaciones que suprimieron parcialmente la vulnerabilidad, sin eliminar su causa, por lo que el daño, con mucha probabilidad, se producirá de nuevo.
  - c)
- B. Análisis de vulnerabilidad funcional.

La vulnerabilidad funcional de los corredores viales y sus conexiones principales es evaluada de acuerdo con la ocurrencia simultánea de dos condiciones: a) vulnerabilidad física (a definir a partir de los mapas de zonificación) y b) carencia de redundancia en los sub-sistemas de transportes.

El análisis de redundancia se refiere a tres niveles de evaluación:

- a) Interconexión de nodos de alta importancia estratégica para el comercio centroamericano.
- b) Interconexión estratégica de nodos de interés político. A definir por cada país de acuerdo con sus políticas nacionales. De interés para cada país del área.
- c) Interconexión de centros de población. De interés para cada país del área.

El tipo de información a considerar, para el análisis de redundancia, consiste en:

- a) Definición de nodos de alta importancia para el comercio.
- b) Definición de carreteras principales entre nodos.
- c) Definición de vías alternas entre nodos y/o mecanismos de transporte alternos.
- d)
- e) Comparación de capacidades de tránsito y/o movimiento de cargas entre nodos.
- f) Evaluación de la condición de las vías alternas y/o medios de transporte alternos entre nodos.
- g) Contraste de niveles de vulnerabilidad física entre vías principales y medios alternos.

#### **8.4.2.3 DEFINICIÓN DE PRIORIDADES, PLANES Y PROYECTOS ESPECÍFICOS DE MITIGACIÓN. DETERMINACIÓN DE LOS PROYECTOS A EJECUTAR DENTRO DEL PLAN DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD EN LOS CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES PRINCIPALES, Y SU FINANCIAMIENTO**

Una vez realizada la evaluación de las amenazas y de la vulnerabilidad que afectan a los corredores viales centroamericanos y sus conexiones, tarea que debe ser ejecutada con la mayor prioridad por las Direcciones de Planificación de los Ministerios de Transportes de cada uno de los países de la región, deberán prepararse los perfiles de los proyectos requeridos en los sitios en que se determine vulnerabilidad importante ante las amenazas que históricamente han afectado el área, particularmente en cuanto a efectos directos e indirectos de los huracanes y a eventos sísmicos se refiere. Especial relevancia tienen los puntos en donde los desastres han impactado reiteradamente, ocasionado daños que se han tenido que atender repetidas veces.

Los criterios técnicos para mitigar los daños se clasifican en dos grupos básicos: a) intervenciones correctivas (cuya necesidad se puntualiza a partir del levantamiento / diagnóstico de vulnerabilidad), y b) nuevas especificaciones en la gestión de sistemas de carreteras (desde la etapa de planeamiento hasta la Administración de la red), involucrando aspectos técnicos de prevención y mitigación.

Se requiere el análisis de los datos de vulnerabilidad, para la determinación de soluciones técnicas; esto es, lo que se le debería hacer a la red con base en su imagen de vulnerabilidad en el tiempo  $t_0$ , para darle un cierto nivel de confianza ante los desastres naturales o antrópicos, con mejoramiento progresivo.

Posteriormente se propone la solución óptima (posibles proyectos a desarrollar sin restricción presupuestaria), tomando en cuenta los requisitos técnicos y la programación requerida de las obras.

Finalmente se establece un programa de priorización de inversiones en los corredores (optimización del uso del presupuesto disponible para la selección de los proyectos a realizar), considerando: costos de inversión, probabilidad de ocurrencia, impacto económico de los daños, aspectos socio – económicos de la zona de influencia y la posibilidad de uso de rutas alternas. Para realizar tal labor, procede la definición de un parámetro de daño (que incluya el costo directo de las estructuras, así como los costos indirectos causados por la interrupción de las vías de comunicación), que permita el contraste de diferentes actividades de mitigación, sobre una base común de deterioro económico / social, cuantificada para cada proyecto de mitigación; posteriormente se definen las restricciones (de orden presupuestario y por grado de urgencia), para poder establecer las acciones prioritarias (solución óptima).

Es fundamental tener, a corto plazo, una cartera de proyectos orientados a reducir la vulnerabilidad (más adelante se comentan algunos proyectos de aplicación general), para procurar el debido financiamiento ante la comunidad cooperante internacional, en la reunión de Madrid de octubre del 2000, para buscar el apoyo de los organismos financieros multilaterales y/o para orientar, de la mejor manera, las obras que en esta dirección se realicen, con los recursos presupuestarios ordinarios. Hay que tener en mente que nadie financia ideas, sino proyectos. Mientras éstos no existan, con el debido soporte técnico, no se conseguirán los recursos necesarios para acometer estas obras tan trascendentales, desde el punto de vista económico y social, para los países centroamericanos.

Es claro que debe haber una visión regional ante los desastres, pues éstos no reconocen fronteras. El Huracán Mitch es un franco ejemplo de esto. En consecuencia, es imperativo establecer una acción coordinada de los países centroamericanos en la elaboración de los perfiles de los proyectos, y para uniformar las labores de evaluación de las amenazas y la vulnerabilidad. Igualmente, se debe formar un frente común en cuanto a las gestiones que deben realizarse ante los cooperantes y los entes crediticios.

Adicionalmente, los Ministerios de Transportes y las organizaciones de atención y prevención de desastres, deben velar para que los diseños y las obras que se realicen, en adelante, contemplen el análisis de riesgo ante las amenazas conocidas, según la vulnerabilidad existente (física y funcional), como un elemento de primordial importancia; lo que sin duda constituirá una forma responsable y efectiva de coadyuvar en esta trascendental tarea.

Algunos proyectos de aplicación general, respecto a la prevención y mitigación de desastres naturales y antrópicos, se detallan a continuación. Debe considerarse que su importancia y relevancia, así como la definición de proyectos específicos (obras concretas a realizar) quedan sujetas al resultado de los estudios de amenaza y vulnerabilidad, para los corredores viales y sus principales conexiones:

- Readecuación / reubicación de infraestructura existente. Basándose en vulnerabilidad física y funcional.
- Construcción de infraestructura para reducir la vulnerabilidad.
- Revisión de códigos y reglamentos de diseño, y construcción. Reorientando tal normativa a la prevención y mitigación de desastres.
- Evaluación de criterios para el trazo de carreteras: rellenos, geometría, pendientes, evaluación del potencial de desastres (por ejemplo, construcción en planicies de inundación), estudios de impacto ambiental, etc.
- Evaluación de criterios geotécnicos (como estabilidad de taludes).
- Diseño de los sistemas de drenaje.
- Durabilidad de materiales para pavimentos. Evaluando su desempeño ante condiciones climáticas adversas; por ejemplo, ante condiciones extremas de humedad.
- Tecnologías de estabilización de materiales de base y subbase.

- Mejoramiento de materiales para subrasante.
- Señalización.
- Técnicas de control y aseguramiento de la calidad, orientadas a la uniformidad en los materiales para pavimentación.
- Criterios de mantenimiento preventivo, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos, incluyendo el componente de prevención y mitigación de desastres.

#### **8.4.2.4 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD DE LOS CORREDORES VIALES Y SUS CONEXIONES, QUE EJECUTEN LOS PAÍSES CENTROAMERICANOS, ORIENTADOS A DISMINUIR EL IMPACTO DE LOS DESASTRES**

Es de la mayor importancia que los entes encargados, en cada país, de ejecutar estas obras de infraestructura, designen dependencias, con plena dedicación y suficiente autoridad, que mantengan una base de datos actualizada de la vulnerabilidad existente, de la cartera de proyectos elaborada para su corrección y de las obras en ejecución a este propósito. Además, tales organismos deben vigilar que los proyectos que en adelante se ejecuten incluyan los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y análisis del riesgo, como un factor importante de diseño.

Dados los resultados del levantamiento visual de vulnerabilidad que se vayan generando, a fin de calibrar la calidad de la información recolectada y ordenar, a posteriori (corroborar), la eficiencia de las inversiones realizadas, es necesario poner en práctica las siguientes técnicas de control:

- Auditorías técnicas. Es necesario contar con organismos de alto nivel técnico que permitan verificar la idoneidad de las técnicas constructivas aplicadas, así como la utilización de las técnicas adecuadas para el control y la verificación de calidad, tanto de los materiales compuestos (concreto asfáltico, por ejemplo), como de la materia prima (agregados, por ejemplo).
- Inspección. A cargo de velar con el cumplimiento de la normativa vigente.
- Verificación del cumplimiento de códigos y especificaciones. Es fundamental realizar análisis de variabilidad estadística, para materiales y procesos, de manera que sea factible el control, tanto de uniformidad como de cumplimiento de especificaciones (idoneidad).
- Investigación científica. Desarrollo de tecnología de materiales tropicalizada (optimización de propiedades de materiales compuestos).
- Retroanálisis de casos. Posterior a la ocurrencia de desastres. Con el propósito de perfeccionar los planes de prevención y mitigación.

- Capacitación en materia de producción dentro de procesos de calidad total.
- Transferencia de tecnología. A partir de centros especializados en Ingeniería de Carreteras.
- Mantenimiento de los proyectos, y de los estudios de vulnerabilidad.

Posteriormente se desarrollan los planes de contingencia, en caso de que efectivamente se presenten los desastres. Los cuales deben conllevar a la aplicación de la tecnología necesaria para:

- Cuantificación de daños: tipos, magnitudes, costos, impacto ambiental, etc.
- Priorización de problemas a solucionar. Considerando principios de optimización.
- Mecanismos de acción inmediata. Orientados a la implementación de medios alternos de transporte, y a la reparación de las vías estratégicas.
- Definición de responsabilidades y tareas, dentro del contexto de prevención y mitigación de desastres.
- Retroalimentación. Para el plan de contingencia, especificaciones constructivas, sistemas de administración de carreteras, etc.

Finalmente se deben redactar los postulados del plan de acción para la prevención y la mitigación de desastres.

- Recomendaciones de lineamientos a incluir en las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes. En este sentido, los conceptos clave son: mitigación de desastres, y uniformidad en materiales y procesos (control de calidad total).
- Recomendaciones de lineamientos en los sistemas de administración de carreteras locales y regionales.
- Desarrollo de una base de datos integrada para las redes de carreteras centroamericanas. Base de un eventual sistema de administración de carreteras centroamericano.
- Divulgación y comentario. Aquí se plantea nuevamente la necesidad de evaluar las recomendaciones en un foro de alto nivel. Dicho foro técnico debe estar integrado por: a) Departamentos de Planificación de los Ministerios de Transportes, b) Departamentos de Diseño y Administración de Carreteras de los Ministerios de Transporte, c) Ministerios de Ciencia y Tecnología, d) Comisiones Nacionales de Emergencia, e) Institutos de Investigación en

Ingeniería de Pavimentos, f) Institutos de Investigación en Ingeniería Sísmica, g) Institutos de Investigación en Hidrología.

- Informe de resultados, con el plan de acción para prevención y mitigación de desastres, incluyendo la programación de su incorporación en los métodos de trabajo por país (especificaciones generales para la construcción y sistemas de Administración de carreteras).

#### **8.4.3. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD DEL SECTOR TRANSPORTE, RELATIVA A LOS PUERTOS Y A LOS AEROPUERTOS, PARA SU INCORPORACIÓN EN EL PLAN BÁSICO DEL PLAN REGIONAL**

Los puertos y aeropuertos más importantes para el comercio de la región centroamericana están ubicados en zonas cuya principal amenaza natural son los sismos, con la excepción de Puerto Cortés y el aeropuerto de San Pedro Sula en Honduras, y del puerto de El Bluff en Nicaragua. En estos últimos casos, la principal amenaza natural son los huracanes, con sus efectos directos (viento y lluvia), e indirectos (inundaciones, deslizamientos, flujos de lodo). Puerto Cortés en Honduras y Puerto Limón en Costa Rica están expuestos tanto a amenaza sísmica como a amenaza por huracán.

##### **8.4.3.1 EVALUACIÓN DE LAS AMENAZAS PARA LOS PUERTOS Y AEROPUERTOS DE LA REGIÓN CENTROAMERICANA**

Los puertos más importantes de la región centroamericana están ubicados, mayoritariamente, sobre la costa del Pacífico. Esta zona está expuesta principalmente a los efectos de los sismos generados por el proceso de subducción de la Placa Cocos bajo la Placa Caribe. Puerto Castilla, Puerto Barrios y, en menor grado, Puerto Cortés están expuestos los efectos de los sismos generados por el sistema de fallas transcurrentes de Polochic y Motagua. No puede descartarse a priori la existencia de otras fuentes sísmicas importantes en la región Caribe, que pudieran generar eventos de gran magnitud y poco frecuentes, capaces de afectar otros puertos en esa costa, tales como los puertos Colón y Almirante, en Panamá y El Bluff, en Nicaragua. En consecuencia, puede aseverarse que la amenaza sísmica es la más importante para los puertos de la región.

Para propósitos de definir estrategias de inversión en mitigación y reducción de la vulnerabilidad de puertos, es necesario definir los posibles efectos en el ámbito de microzonificación. La determinación en detalle de las características geotécnicas y topográficas de los sitios donde se encuentra ubicada la infraestructura más importante debe ser parte importante del análisis de amenaza. Para los puertos ubicados en zonas de depósitos aluviales arenosos es necesario evaluar la posibilidad de ocurrencia de licuación de suelos. Estos depósitos se encuentran en los estuarios y los deltas de los grandes ríos de Centro América.

Otro efecto importante que debe ser considerado en el análisis de amenaza por sismos, sobre puertos, es la posibilidad de ocurrencia de *tsunamis* o maremotos. Estos efectos de los sismos son típicos de zonas donde ocurre subducción, tal como en Centro América. Ejemplo trágico de este fenómeno fue el maremoto que afectó la costa Pacífica de Nicaragua en 1992, el cual arrasó varias poblaciones costeras y provocó más de 200 muertes. Los puertos del Pacífico de Centro América pueden también estar expuestos al oleaje extraordinario de tsunamis generados por sismos ocurridos en otras partes del mundo. Los estudios deben llegar al detalle, puesto que las características geométricas de la costa en, su sección submarina, determinan la magnitud de la amenaza por tsunami.

Los aeropuertos más importantes de la región centroamericana se encuentran en la zona montañosa, cerca de, o en, las ciudades capitales. También en estas regiones la amenaza sísmica prevalece sobre otras y ésta es el producto de la combinación de varias fuentes.

El proceso de subducción genera sismos de gran magnitud, con focos profundos y alejados de los principales aeropuertos internacionales. Todos los aeropuertos internacionales de la región están expuestos en forma similar a esta amenaza, con Ciudad de Panamá y San Salvador en el extremo de mayor cercanía a los focos y Tegucigalpa y San Pedro Sula en el extremo opuesto. Aunque la cercanía a los focos sísmicos es indicativa del nivel de la amenaza, el movimiento sísmico puede verse amplificado por el comportamiento del suelo en los depósitos de los valles montañosos o en las desembocaduras de ríos, y provocar daños importantes a la infraestructura.

Los aeropuertos internacionales de Ciudad de Guatemala, San Salvador, Managua y San José están ubicados en las zonas montañosas donde hay actividad sísmica frecuente en fallas geológicas. Los sismos en estas zonas son de menor magnitud que los generados por el proceso de subducción, pero sus focos se encuentran más cercanos a los centros de mayor desarrollo de económico y de mayor población, de allí su potencial destructivo para esta infraestructura.

El aeropuerto internacional de Ciudad de Guatemala y, en menor grado, el de San Pedro Sula, están expuestos a la amenaza sísmica del sistema de fallas de Polochic - Motagua. Estas fallas pueden generar sismos con un alto potencial destructivo, por tener magnitudes de moderadas a altas y focos relativamente superficiales.

En la evaluación detallada de la amenaza, debe analizarse, en primer lugar, la posibilidad de ocurrencia de deformaciones permanentes del terreno, producida por licuación de arenas o por deslizamientos de tierra. Si estos efectos pueden ser descartados, el movimiento fuerte es el principal efecto de la amenaza sísmica que debe considerarse en los aeropuertos.

Aunque la amenaza sísmica es, en general, la más importante para puertos y

aeropuertos, es necesario siempre considerar los efectos directos e indirectos de los huracanes y lluvias intensas. Es posible que la funcionalidad de un puerto o aeropuerto pueda verse seriamente afectada por las inundaciones y por la destrucción de infraestructura que causan los eventos hidrometeorológicos (vientos, alta precipitación, avenidas de agua y lodo).

No menos importante es la evaluación de las amenazas antrópicas, y los escenarios de desastre deben incluir al menos los derramamientos de petróleo y otros contaminantes en los mares. Esto es necesario para definir planes de acción regionales en caso de contingencia.

#### **8.4.3.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE PUERTOS Y AEROPUERTOS DE LA REGIÓN CENTROAMERICANA**

Las instalaciones de puertos y aeropuertos incluyen estructuras y equipos cuyo costo e importancia obligan a reducir su vulnerabilidad, ante desastres naturales, al mínimo posible.

Si se determina que la principal amenaza es la licuación de suelos, es necesario evaluar la vulnerabilidad de las pistas de rodamiento y de cualquier otro sistema de transporte dentro del puerto. Las grúas descargadoras y transportadoras de contenedores son una parte fundamental de la infraestructura en los puertos. Si las cimentaciones (en caso de grúas estacionarias), o la línea férrea por la cual viajan, sufren deformaciones, el sistema pierde su funcionalidad, aún cuando se descartara el daño directo a las grúas.

Las grúas pueden estar equipadas con sistemas de alta tecnología, muy sensibles a las vibraciones y al movimiento fuerte. Por lo tanto, su vulnerabilidad ante un movimiento fuerte del terreno también se debe analizar cuidadosamente. Las especificaciones con las cuales se construyó el equipo y el mantenimiento que haya recibido son de gran importancia en el análisis de vulnerabilidad. Un inventario de esta infraestructura y de las especificaciones, es una de las primeras tareas a realizar.

La modelación estructural de estos equipos y su comportamiento durante sismos es una tarea de la Ingeniería Estructural, para la cual existen técnicas y tecnología bastante avanzadas. De un análisis estructural se obtienen las curvas de fragilidad, que serán útiles en la evaluación del riesgo.

De igual manera, la infraestructura de aeropuertos consiste de equipos especializados colocados sobre pistas y sobre o dentro, de estructuras. Para los equipos colocados sobre pistas es necesario analizar la posibilidad de que sufran daño por deformaciones permanentes del terreno, producidas por licuación del suelo o movimientos de masa (deslizamientos). Para los equipos colocados sobre o dentro de las estructuras es necesario analizar su vulnerabilidad ante efectos de la vibración, si se descarta la ocurrencia de deformaciones permanentes intolerables.

En el análisis de vulnerabilidad se deben incluir también los efectos directos e indirectos de los huracanes y lluvias intensas.

Los vientos fuertes tienen en común con los sismos, la generación de cargas horizontales sobre las estructuras, las cuales deberán ser soportadas sin daño. El análisis de este aspecto de la vulnerabilidad física también es tarea de la Ingeniería Estructural.

La evaluación de vulnerabilidad ante las fuerzas hidráulicas marinas, o de ríos, que pueden generar las tormentas sobre la infraestructura de puertos, requiere de la intervención de la Ingeniería Hidráulica y, especialmente de la Ingeniería de Costas.

#### **8.4.3.3. DEFINICIÓN DE PRIORIDADES, PLANES Y PROYECTOS ESPECÍFICOS DE MITIGACIÓN. DETERMINACIÓN DE LOS PROYECTOS A EJECUTAR DENTRO DEL PLAN DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD EN LOS PUERTOS Y EN LOS AEROPUERTOS PRINCIPALES Y SU FINANCIAMIENTO**

También deben evaluarse las amenazas y la vulnerabilidad que afectan a los puertos y a los aeropuertos principales de la región, a través de los cuales se lleva a cabo la mayor parte del comercio internacional, tarea que, por ser muy especializada, debe ser ejecutada, con la mayor prioridad, por las Autoridades Portuarias y las de Aeronáutica Civil de cada uno de los países de la región. Una vez efectuada esta tarea, deberán prepararse los perfiles de los proyectos, requeridos en los casos en que se determine una vulnerabilidad importante ante amenazas que periódicamente han afectado sus instalaciones, particularmente en lo referente a los efectos directos e indirectos de los huracanes, y a los eventos sísmicos. El equipo portuario juega un papel primario, dado su importancia en las operaciones de la terminal, su alto costo y su difícil reposición.

Las referidas autoridades deben definir cuáles proyectos de reducción de la vulnerabilidad proceden en estos casos, así como la factibilidad de financiar las obras con recursos propios, la posibilidad de presentarlas como parte de las obras cuyo financiamiento se solicitará a los países cooperantes en la reunión de Madrid de octubre del 2000, o recurrir al crédito externo. En este particular, igualmente es importante la visión regional del problema, así como la acción conjunta de los países centroamericanos en la presentación de los proyectos y en la gestión financiera necesaria.

#### **8.4.3.4 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD DE LOS PUERTOS Y DE LOS AEROPUERTOS QUE EJECUTEN LOS PAÍSES CENTROAMERICANOS ORIENTADOS A DISMINUIR EL IMPACTO DE LOS DESASTRES**

En este tema es fundamental que los Ministerios de Transportes de la región,

como rectores del sector, encarguen a las Direcciones de Planificación la tarea de mantener una base de datos actualizada de la vulnerabilidad existente, de la cartera de proyectos elaborada para su corrección y de las obras en proceso, o que se ejecuten al propósito. Al mismo tiempo, para que vigilen que los proyectos que en adelante se realicen incluyan los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y análisis del riesgo, como un factor importante del diseño.