



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIÓN

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS  
ASEGURABLES EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE PUENTES EN  
MÉXICO

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA  
CONSTRUCCIÓN

PRESENTA:  
ALEJANDRO CASTAÑEDA JIMÉNEZ

TUTOR DE TESIS  
M.I. SERGIO MACUIL ROBLES  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, Cd. Mx, noviembre de 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**Presidente:** M. en I. Miguel Ángel Rodríguez Vega

**Secretario:** M. en I. Carlos Narcia Morales

**Vocal:** M. en I. Sergio Macuil Robles

**1 er. Suplente:** M. en I. Marco Tulio Mendoza Rosas

**2 do. Suplente:** M. C. Esteban Figueroa Palacios

Lugar donde se realizó la tesis:

Universidad Nacional Autónoma de México, México, Ciudad de México

**TUTOR DE TESIS:**

M. en I. Sergio Macuil Robles

---

FIRMA

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS  
ASEGURABLES EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE PUENTES EN  
MÉXICO**

Presenta  
Alejandro Castañeda Jiménez

Tutor de tesis  
M. en I. Sergio Macuil Robles



*Dedicatoria*

*Dedico este trabajo con cariño a mi madre y padre*

*Estela R. Jiménez Núñez*

*y*

*Alejandro Castañeda Pineda*

*A mis hermanas: Nelly y Marlene*

*Mis sobrinos: Saulo, Danna y Orlando*

*a Lesley Denisse por su apoyo durante este tiempo*

## ***Agradecimientos***

Quiero agradecer al M. en I. Sergio Macuil Robles por el apoyo y tiempo que me dedicó para la elaboración de este trabajo, a los sinodales que formaron parte del jurado por su tiempo y comentarios hechos al revisar este trabajo para su mejora.

Agradecer también al Posgrado en Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y a todos los profesores que me impartieron clases, por transmitir sus conocimientos y experiencia en las aulas.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS:.....	2
1.2	HIPÓTESIS.....	2
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4	METODOLOGÍA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.5	DESCRIPCIÓN CAPITULAR.....	4
2.	MARCO TEÓRICO.....	6
3.	MARCO CONCEPTUAL.....	14
3.1	QUE ES UN RIESGO.....	14
3.2	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO.....	15
3.3	ANÁLISIS DE RIESGOS.....	16
3.4	VARIABLES PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	20
3.5	RESPUESTAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO.....	23
3.6	COBERTURAS DEL RIESGO.....	24
4.	LA GESTIÓN DE RIESGOS.....	31
4.1	COMPONENTES DEL RIESGO.....	31
4.2	LA GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS.....	32
4.3	EL PROCESO DE LA GESTIÓN DE RIESGOS.....	36
4.4	TIPOS DE GESTIÓN DE RIESGOS:.....	38
4.5	GESTIÓN DE RIESGOS APLICADA EN LA METODOLOGÍA DEL PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE.....	40
5.	RIESGOS EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA.....	42
5.1	CLASIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA.....	42
5.2	RIESGOS ASOCIADOS A LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA.....	46
6.	PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS ASEGURABLES EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE PUENTES.....	55

6.1 ALCANCES DE LA METODOLOGÍA.....	55
6.2 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS .....	56
6.3 PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS .....	67
6.4 TRANSFERENCIA DE LOS RIESGOS.....	76
6.5 EVALUACIÓN Y CONTROL.....	84
7. CONCLUSIONES .....	94
8. BIBLIOGRAFÍA.....	96

## 1. INTRODUCCIÓN

Con base en el Plan Nacional de Desarrollo, los proyectos de infraestructura son ineludibles para el progreso moderno, equitativo y sustentable del país; estos proyectos pertenecen a infraestructura física que cada vez es más compleja y costosa, aspecto que aumenta en algunos casos, debido al impacto de fenómenos naturales. El territorio nacional se encuentra sujeto a una gran variedad de fenómenos naturales que pueden causar daños a la infraestructura de puentes existente, debido a que en algunos casos estos se encuentran ubicados en zonas de peligro, o a causa de que desde la concepción de los proyectos, no existió una adecuada planeación y control en todas las etapas del proyecto con una visión de gestión de riesgos, dando como resultado deficiencias en las obras construidas y el aumento de la vulnerabilidad de la infraestructura ante la acción de algún fenómeno perturbador, que finalmente impactan en los costos, la duración del proyecto, calidad, rentabilidad del proyecto durante su operación, la conservación y mantenimiento, entre otros aspectos como los legales y sociales.

La reducción o el control de la construcción de vulnerabilidad, del riesgo en la sociedad, y la opción de reducir los futuros daños asociados con el impacto de diversos fenómenos físicos de origen natural o antropogénico, constituye un elemento fundamental, y uno de los factores que deberían definir el “desarrollo”. Difícilmente se podría pensar en desarrollo si esto se acompaña por un aumento en los niveles de riesgo en la sociedad y, en consecuencia, en las posibilidades de daños y pérdidas para la población (Lavell, 1998; 1999).

El proceso a través del cual una sociedad, o subconjuntos de una sociedad, influyen positivamente en los niveles de riesgo que sufren, o podrían sufrir, está captado en la idea o noción genérica de la “Gestión del Riesgo” o, más precisamente, la “Gestión de la Reducción del Riesgo” (Wilches Chaux, 1998). Esta gestión, que tendrá sus características, estrategias e instrumentos particulares, debe ser considerada en su esencia como un componente intrínseco y esencial de la gestión del desarrollo. Todo proceso de desarrollo debe ser informado por un proceso de análisis y control sobre los factores de riesgo existentes o posibles.

## 1.1 OBJETIVOS:

### General

- Proponer una metodología para la gestión de riesgos asegurables en proyectos de infraestructura de puentes en México, que permita optimizar el uso de recursos, en la construcción y reconstrucción de esta infraestructura ante el impacto de fenómenos naturales.

### Específicos

- Se investigará en qué situación se encuentra el estado físico de la infraestructura de puentes en México.
- Se analizarán las metodologías, estrategias y marco legal utilizadas para el diagnóstico, la planeación y control de los riesgos en proyectos de infraestructura de puentes actualmente.
- Se analizarán las coberturas globales de seguros, debido a condiciones externas que son aplicadas a la infraestructura con recursos públicos.

## 1.2 HIPÓTESIS

Con la aplicación de una metodología para la gestión de riesgos asegurables en la infraestructura de puentes en México, se reducirá el riesgo, si se identifican y analizan las variables que pudieran presentarse desde el origen del proyecto, permitiendo mitigar, eliminar o planificar la respuesta ante los mismos. Como resultado se aumentaría la eficacia y eficiencia de los proyectos, optimizando el uso de los recursos empleados.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

Los proyectos de infraestructura del transporte se proyectan y construyen tomando en consideración las características del área en la cual se encuentra localizado o se ubicará el nuevo sistema, así como de estudios preliminares aplicándose la normatividad vigente. En algunos casos, los proyectos de infraestructura han presentado problemas durante la etapa de construcción o en la operación del sistema a causa del estado físico de los mismos, aumentando la vulnerabilidad ante el impacto del algún fenómeno perturbador de origen geológico e hidrometeorológico. El costo anual de pérdidas económicas registrados entre el año 2000 y 2018 fue de 2357 millones de dólares, de los cuales, los fenómenos

hidrometeorológicos son los que han causado más daño al territorio nacional en un 86.8% y del total de daños y pérdidas totales registrados para este periodo el 46.8% corresponde al sistema carretero municipal, estatal y federal (CENAPRED).

Los riesgos tienen su origen en la incertidumbre que está presente en todos los proyectos. Los riesgos conocidos son aquellos que han sido identificados y analizados, lo que hace posible planificar respuestas para tales riesgos. Los riesgos desconocidos específicos no pueden gestionarse de manera proactiva, lo que sugiere que el equipo del proyecto debe crear un plan de contingencia.

Para tener éxito, la organización debe comprometerse a tratar la gestión de riesgos de una manera proactiva y consistente a lo largo del proyecto. Debe hacerse una elección consciente a todos los niveles de la organización para identificar activamente y perseguir una gestión eficaz durante la vida del proyecto. Los riesgos existen desde el momento en que se concibe un proyecto. Avanzar en un proyecto sin adoptar un enfoque preventivo en materia de gestión de riesgos aumenta el impacto que puede tener la materialización de un riesgo sobre el proyecto y que, potencialmente, podría conducirlo al fracaso.

El propósito de esta investigación es resaltar la amplitud de la problemática y la gravedad de sus posibles consecuencias a la infraestructura de puentes existente o que estén por construir en el territorio nacional, si no se planean, controlan y aseguran los proyectos aplicando la metodología y conocimientos de gestión de riesgos como una solución para contar con infraestructura resiliente.

Por esta razón, aplicar una metodología para la gestión de riesgos asegurables en proyectos de infraestructura de puentes en México, contribuiría en minimizar el gasto público, para la reparación o reposición de la infraestructura ante el impacto de fenómenos naturales.

## **1.4 METODOLOGÍA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

Los alcances de este proyecto de investigación se enfocarán en el desarrollo del tema de la gestión de Riesgos asegurables y su aplicación en proyectos de infraestructura de puentes, principalmente las zonas de mayor impacto de fenómenos naturales, donde por consecuencia se han ocasionado daños a la infraestructura y pérdidas económicas que deben ser cubiertas por gobierno y las empresas aseguradoras en el caso de existir estas coberturas, para su reposición.

Para la elaboración de este trabajo se partirá con un enfoque cuantitativo en la investigación. En una primera etapa, se hará una búsqueda exhaustiva de información en diversos medios, como: tesis, publicaciones en artículos especializados, además de consultar bibliografía

sobre el tema, ya sea en medios impresos o electrónicos; también se accederá al portal de internet de datos abiertos de instituciones públicas como la SCT, entre otras, para obtener información de acceso público sobre el estado físico de la infraestructura de puentes en México, posteriormente se procederá a ordenar, analizar y evaluar la información obtenida, identificando las variables de interés para proponer una metodología que permitan alcanzar los objetivos planteados.

Con la correlación de las variables identificadas que estarán conformadas por las características de la infraestructura física expuesta en la zona de estudio, los sucesos históricos de impacto de fenómenos naturales en la zona, sus consecuencias económicas y empleando los conocimientos y herramientas para la gestión de riesgos; se pretende establecer la propuesta de una metodología de gestión de riesgos que pueda ser aplicada en los proyectos de infraestructura de puentes que existen y que estén por construirse en la región de estudio, para que se optimicen los recursos y mecanismos de evaluación y diagnóstico de manera eficaz y eficiente, disminuyendo el costo del aseguramiento de esta infraestructura aplicando los criterios de una gestión correctiva o compensatoria, prospectiva y reactiva, y que pueda ser considerada por las dependencias públicas y todos los involucrados del sistema, desde la concepción de los proyectos o aun cuando el sistema esté en operación.

Al finalizar este trabajo se dejarán abiertas futuras líneas de investigación que den continuidad a la propuesta, para que sea mejorada y, además, se pueda replicar en otras regiones del país, adaptándose en diversos tipos de infraestructura como hospitales, escuelas, vivienda etc.

## 1.5 DESCRIPCIÓN CAPITULAR

Este trabajo de investigación estará conformado por seis capítulos que tratan el tema de la gestión de riesgos asegurables en proyectos de infraestructura de puentes en México, teniendo como objetivo proponer una metodología de gestión de riesgos, que permita optimizar el uso de los recursos públicos de manera eficiente y que permita disminuir los costos de aseguramiento y ampliar la cobertura de estos, ante el posible impacto de un fenómeno perturbador.

En el primer capítulo se hace una breve introducción sobre el tema de la gestión de riesgos en proyectos de infraestructura, además, se concibe el planteamiento de los objetivos generales y específicos de la investigación, el planteamiento de la hipótesis, su justificación, la metodología y los alcances de la investigación.



En el segundo capítulo “marco teórico”, se hará una descripción de la problemática ocasionada por el impacto de fenómenos naturales y en la infraestructura, se abordará de manera general el tema sobre la gestión de riesgos, así como de dar a conocer algunos datos estadísticos obtenidos de las fuentes consultadas.

En el tercer capítulo “Marco conceptual” se definirán los conceptos más importantes que se abordarán en este trabajo, como riesgo, variables, tipos de respuesta y coberturas.

El cuarto capítulo “Gestión de riesgos en proyectos”, se desarrollará de manera particular el tema de gestión de riesgos, describiendo como se implementan los conocimientos de la gestión de riesgos durante el ciclo de vida del proyecto. También, se mencionarán los procesos de la metodología de gestión de riesgos empleada por el PMI en proyectos en general; además se investigarán a detalle las metodologías empleadas para la gestión de los riesgos en proyectos.

El quinto capítulo “riesgos en proyectos de infraestructura carretera”, se obtendrá información de red carretera instalada en el territorio nacional, la clasificación de está y los riesgos asociados a los que está expuesta.

En el sexto capítulo, se determinará información importante para conocer la situación actual de la infraestructura de puentes en México, obtenidos de datos públicos, investigaciones previas, (SCT, SIPUMEX, IMT, entre otros) que permitan conocer información como: la edad de la infraestructura, tipologías, nivel de daños de existir, metodologías de evaluación, instrumentación y monitoreo. Con base en la información analizada, se aplicará una metodología de gestión de riesgos que permita identificar el estado actual y sus riesgos, mejorar las prácticas actuales utilizadas en la construcción y conservación de la infraestructura de puentes, además de optimizar los recursos en este tipo de proyectos, en diversos aspectos como: mejoras en la evaluación y monitoreo de los puentes existentes, implementación de nuevas tecnologías y normatividad aplicada en el diseño y construcción de nueva infraestructura, con una visión preventiva de gestión de riesgos, lo cual permitiría disminuir los costos de la prima de riesgo y ampliar la cobertura del seguro.

Por último, se harán conclusiones y se dejarán abiertas futuras líneas de investigación de la metodología propuesta, que puedan ser replicadas a otras zonas del país y en otro tipo de infraestructura como la vivienda, salud, educación, turismo, entre otros.

## 2. MARCO TEÓRICO

En la historia humana han existido ejemplos de prácticas que tienen relación con el análisis de riesgo, entendiendo y asociando este último a la idea de porvenir sin certeza, algunos ejemplos conforme lo expuesto son (Cardona & Barbat, 2004):

Comunidades de la antigua Babilonia, que ocuparon el valle del Eufrates y el Tigris, 3200 A.C., donde existió un grupo llamado el Asipu (Oppenheim, 1977). Una de las funciones del Asipu era la de servir como grupo consultor para decisiones difíciles de tomar por lo inseguras o inciertas. Si se deseaba tomar una decisión sobre alguna acción venidera se podía consultar a uno de sus miembros del Asipu, que se encargaba de dimensionar la situación, identificar alternativas de acción y recoger datos sobre los resultados factibles (éxito o fracaso; ganancia o pérdida) de cada alternativa.

También en Mesopotamia, dos siglos después, tuvo origen la figura del seguro como la más antigua estrategia para afrontar riesgos. Allí surgieron las primeras tasas de interés sobre préstamos entre agricultores, inicialmente en especie y luego en metálico, que variaban entre 0 y el 33% dependiendo del grado de riesgo asociado al préstamo.

Alrededor del comercio marítimo estableció en los contratos de transporte la figura formal del préstamo, la tasa de interés y de la prima de riesgo por la posibilidad de pérdida y consecuente cancelación de la deuda. En Grecia para el año 750 a. C. casi todos los viajes estaban cubiertos por este tipo de contrato y las primas de riesgo variaban entre el 10 y 25% dependiendo del grado de riesgo de la aventura, lo que implicaba alguna noción de su cuantificación.

Aparentemente, la palabra riesgo proviene de la palabra griega rhiza que hace alusión a los peligros de navegar alrededor de un arrecife.

Igualmente, otros ejemplos se pueden observar en las antiguas civilizaciones, tal es el caso de los Incas, entre otros, que construyeron sistemas de control de inundaciones o de deslizamientos, o tuvieron criterios preventivos para reducir el impacto de sucesos naturales o sociales.

Las pestes, los fenómenos naturales, y otras crisis sociales fueron relacionados con voluntades divinas o con la mala suerte. Por siglos, e inclusive hoy en día, este tipo de creencias se mantiene en una u otra forma dentro de las sociedades. Las determinaciones sobre el riesgo estuvieron basadas en el sentido común, el saber tradicional, el ensayo y error, las creencias o el conocimiento no científico, ya que solo hasta el siglo XX se

desarrollaron las primeras aplicaciones de la matemática de las probabilidades para la estimación del potencial de desastre por fenómenos naturales. Kervern y Rubise (citado por Cardona& Barbat, 2004) distinguen tres períodos en cuanto a estas determinaciones:

La edad de la sangre, que se caracterizó porque el hombre tranquilizaba su temor con sacrificios ofrecidos a la divinidad; la edad de las lágrimas, en la cual con el desarrollo del Cristianismo el miedo mayor conducía a plegarias y procesiones de diversa índole; y la edad de las neuronas, a partir de 1755, con el terremoto de Lisboa, cuando a raíz de este suceso Rousseau afirmó el hombre es responsable del peligro e indicó que si los efectos del terremoto fueron tan terribles, la culpa es de los habitantes.

Ahora, ante la confianza en el desarrollo de la ciencia y la tecnología, la sociedad dirige su preferencia hacia la planificación, el pronóstico, las alertas y la prevención-mitigación (reducción de riesgos), en contraste con las respuestas tradicionales a las crisis. (Cardona& Barbat, 2004).

La evaluación del riesgo desde la perspectiva de la prevención de desastres ha sido tratada en las últimas décadas del siglo XX, teniendo en cuenta esfuerzos en la década de los 70s como la creación del Center for Technology, Environment, and Development CENTED en Clark University, cuyo enfoque se orientó tanto a los riesgos naturales como nucleares; además esfuerzos de académicos tales como los de (White, 1971), (Robert, 1971, 1978), (Philip, 1977), (Wisner, 1975,1976,1979). La concepción y análisis sistemático de este tema prácticamente lo asumieron los especialistas de las ciencias naturales con estudios acerca de fenómenos geodinámicos, hidrometereológicos y tecnológicos.

Actualmente, la visión de la evaluación del riesgo se dirige a que es necesario ahondar, no solo, en la lectura acerca de la vulnerabilidad y el riesgo de los geólogos, geofísicos, hidrólogos, ingenieros, planificadores, etc.; la cual puede ser diferente a la lectura que tiene las personas, comunidades y autoridades encargadas de la gestión y de la toma decisiones para la reducción o mitigación del riesgo, sino también, conocer acerca de la percepción individual y colectiva del riesgo e investigar las características culturales, de desarrollo y de organización de las sociedades que favorecen o impiden la prevención y la mitigación; aspectos de fundamental importancia para poder encontrar medios eficientes y efectivos que logren reducir el impacto de los desastres. (Maskrey, 1997).

Durante las etapas del ciclo de vida de un proyecto, la gestión de los riesgos y el desempeño de los procesos con su interacción en las demás etapas del proyecto puede ser un factor determinante tanto para el éxito, como para el fracaso del proyecto. En algunos casos los problemas que se presentan en los proyectos de infraestructura ante agentes externos como el impacto de fenómenos naturales, son atribuibles a deficiencias del diseño, debido a que

no se verificaron los alcances del proyecto y de los riesgos asociados desde la etapa de planeación, sumado a un deficiente control durante las etapas del ciclo de vida del proyecto.

Para desempeñar exitosamente un proyecto de infraestructura es necesario realizar una serie de actividades programadas, ordenadas y sistematizadas. Estas actividades deben tener una orientación principalmente preventiva para evitar reconstruir o reparar la infraestructura existente o por construir, ya que se incrementan tanto el costo, como el tiempo de ejecución, y probablemente también afecten la calidad de la infraestructura y de vida de los habitantes, entre otros aspectos. Las acciones preventivas están orientadas a la revisión de los requisitos de ejecución de las actividades antes que estas se ejecuten para reducir el impacto y mitigar o disminuir los riesgos. Por tal motivo, la aplicación de los conocimientos de gestión de riesgos es relevante para que disminuyan, por lo que es necesario aplicar la gestión de riesgos para planificar un plan de respuesta ante estos.

En el aspecto económico, la estabilidad financiera de un país es propensa a sufrir impactos internos, las autoridades financieras pueden influir en la dimensión y vulnerabilidad de los desequilibrios internos mediante la regulación, supervisión y el control de la crisis. Sin embargo, es más difícil controlar las perturbaciones externas, a no ser mediante políticas macroeconómicas sujetas a plazos largos e inciertos. En este contexto, los desastres naturales, son considerados como riesgos externos, ya que se derivan de problemas que se presentan fuera del sistema financiero.

México es un país grande en extensión, por lo que la mayor parte de eventos extremos ocurridos en el pasado han causado daños en zonas relativamente pequeñas, y su impacto en la economía nacional no ha sido muy importante. El temblor de 1985 ocasionó grandes daños en la Ciudad de México, pero su efecto sobre el Producto Bruto Interno del país no fue notable. Otros eventos sísmicos, como los temblores de Puebla y Oaxaca de 1999, si bien causaron estragos en la economía local, sus efectos no fueron percibidos en la producción nacional.

Un evento importante en México ha sido el paso de los huracanes Wilma y Stan, en el 2005. El huracán Wilma provocó daños en una gran cantidad de hoteles e infraestructura turística de Cancún, uno de los principales centros captadores de turistas del país. A diferencia de lo ocurrido en la Ciudad de México en 1985, en Cancún una buena parte de la infraestructura contaba con un seguro catastrófico, lo que permitió que en la mayor parte de los casos se contara con recursos para enfrentar la reconstrucción en poco tiempo. El sector asegurador ha resentido fuertemente el impacto de este evento, lo que probablemente introduzca cambios en los términos de las pólizas en la zona.

Las pérdidas en los sectores de la población menos favorecidos están a cargo del Estado. El FONDEN era una fuente importante para que se atendiera a estos sectores, y el Estado ha visto la necesidad de contratar un bono catastrófico que permita, bajo ciertas condiciones claramente establecidas, restituir la parte gastada. Es importante aclarar que este Bono no restituye los bienes materiales perdidos o dañados, sino que repone la parte del dinero que el gobierno dispuso para ello.

Bajo una situación de desastre, se solicitaban recursos al FONDEN y la proporción de financiamiento a nivel federal estatal y municipal. Estos porcentajes están claramente indicados en las Reglas de Operación del FONDEN, y van desde 0% hasta 100% para infraestructura pública federal (Comunicaciones y transportes, hidráulica, física educativa, deportiva y de salud, eléctrica, naval turística y pesquera. Entonces, el contar con el FONDEN no se exige a los estados de contar con recursos propios para enfrentar los desastres. Para evitar que, de manera emergente, el Estado tenga que tomar recursos destinados a otros fines, existe en el mercado mexicano un seguro ofrecido por compañías privadas que restituyen el dinero que el gobierno estatal se vio obligado a tomar de otros rubros. Este producto, financieramente atractivo, no ha tenido buena acogida entre los distintos gobiernos estatales. En palabras de algunos expertos, esto se puede deber a que aún es más fácil justificar un gasto emergente atribuido a un fenómeno de rara ocurrencia, que un gasto sistemático de menor en temporadas donde no se han manifestado dichos fenómenos.

De los fenómenos naturales que impactan en el territorio nacional, los ciclones tropicales constituyen una de las mayores amenazas para diversas regiones de México, basta recordar los devastadores efectos de los huracanes: Gilbert en 1988, Pauline en 1997, Ingrid y Manuel en 2013 y Odile en 2014 (ver figura 1).

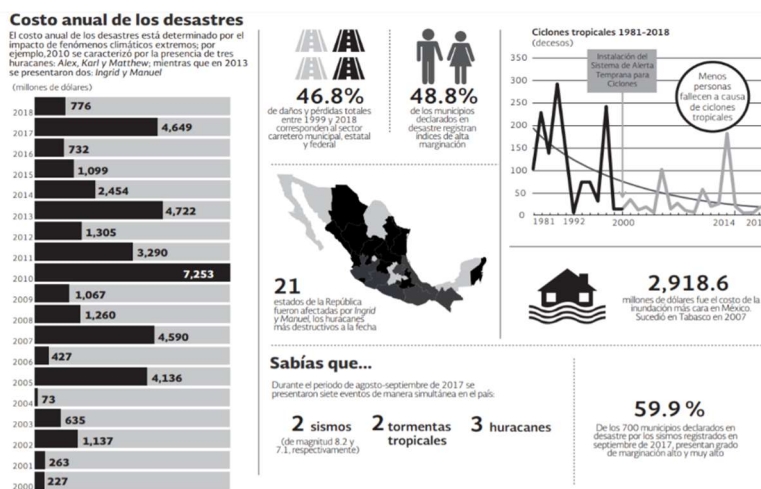
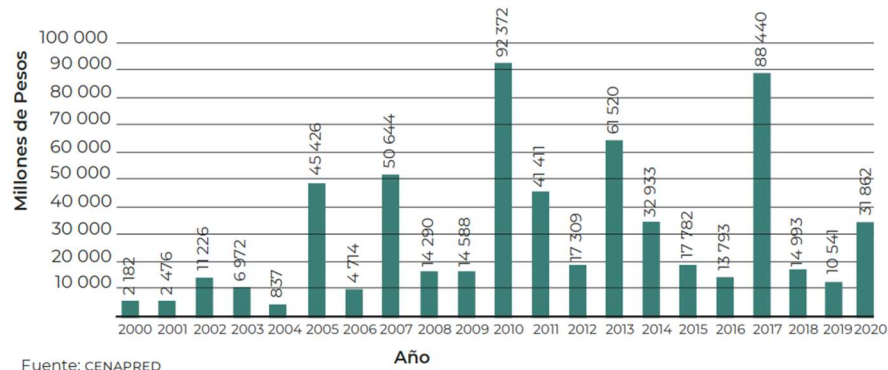


Figura 1. Costo de los desastres naturales en México. (Fuente CENAPRED)

Las estadísticas indican que a nivel mundial los daños que producen estos fenómenos han estado aumentando. Esto se debe, principalmente, al aumento de la población que se asienta en las costas expuestas al impacto directo de estos fenómenos y en las laderas y cañadas afectadas por las fuertes lluvias que a ellos se asocian, lo cual repercute en los sistemas expuestos. Otro fenómeno natural que impacta a la infraestructura son los sismos, como ejemplo más notable de este fenómeno, pueden recordarse los daños ocurridos en la ciudad de México en 1985 y los más recientes ocurridos en septiembre de 2017

Un modelo de desarrollo y transformación de la sociedad, que parte del análisis de las experiencias ya sufridas en múltiples sitios con el solo impacto de un fenómeno físico, debe plantearse como directriz global la gestión de las diferentes formas de riesgo que asumirían las localidades en forma específica, y la sociedad como un todo. Ello no significa simplemente reducir la vulnerabilidad o mitigar las amenazas, sino también plantearse y tomar decisiones colectivas sobre los niveles y formas de riesgo que se pueden asumir como aceptables en un período determinado y los cambios que deben impulsarse para evitar las consecuencias que podría tener la ocurrencia efectiva del daño al que se ha estado arriesgando tal sociedad, localidad o comunidad.

El balance histórico permite observar cómo se han asumido riesgos en grados y formas cuyo costo efectivo se lamenta profundamente y se asume con un altísimo sufrimiento social. Además, se han asumido riesgos sin la información mínima apropiada para medir la magnitud y la profundidad que podrían tener los daños efectivos, de manera que el costo es mucho más alto que el riesgo supuesto. En casos concretos ello implica que los aparatos de seguridad definidos frente al riesgo no han sido suficientes. En términos financieros ello puede causar la quiebra de los instrumentos de seguridad (como empresas de seguros) cuando los hay. Cuando no se ha ni siquiera construido tales instrumentos ello significa que las pérdidas simplemente se asumen sin tener reservas mínimas para sobrevivir al daño y los individuos, las empresas, las comunidades terminan por perecer o sufrir daños irreparables, en la gráfica 1 se muestra el valor de los desastres a precios corrientes que ocurrieron en México en el periodo 2000 al 2020, donde se observa que el año 2010 y 2017 son los años más costosos para el país en materia de desastres.



Grafica 1. Evolución del costo de los desastres en México 2000-2020 (Fuente CENAPRED)

Un modelo de gestión de riesgos consiste en construir la información mínima que permita calcular el riesgo que se va a asumir y prever las reservas (financieras, sociales, psicológicas, emocionales, etc.) que permitirían la supervivencia en condiciones adecuadas, a pesar de la ocurrencia de los impactos previstos como probables en períodos de tiempo también previamente establecidos. Ello implica entonces la puesta en contacto de los diversos sectores involucrados no solo para construir la información, sino también para determinar las tareas que se requieren para construir las reservas de recursos y las opciones de respuesta en diversos plazos de manera que se alcancen los niveles de bienestar deseados en el corto plazo, pero sin sufrir costos y daños irreparables en otros plazos. Ello por supuesto también implica no solo costos financieros para el diseño y construcción de tales instrumentos, sino el desarrollarlos en condiciones también rentables desde el punto de vista social, no solo desde el punto de vista individual (en el largo plazo no solo la organización ‘aseguradora’ debe sobrevivir, sino también la sociedad y los clientes individuales de tal ‘aseguradora’). Gestión del riesgo, en fin, significa un proceso social de puesta en contacto y un diálogo permanente evaluativo de los cambios progresivos tanto del riesgo como de los instrumentos de aseguramiento social frente al daño probable.

La gestión del riesgo no es solo la reducción del riesgo, sino la comprensión que en términos sociales se requiere de la participación de los diversos estratos, sectores de interés y grupos representativos de conductas y modos de vida (incluso de ideologías y de perspectivas del mundo, la vida, la religión) para comprender como se construye un riesgo social, colectivo, con la concurrencia de los diversos sectores de una región, sociedad, comunidad o localidad concreta. La gestión del riesgo no es simplemente bajar la vulnerabilidad, sino la búsqueda de acuerdos sociales para soportar o utilizar productivamente los impactos, sin eliminar la obtención inmediata de beneficios.

Por lo tanto, la gestión no puede ser reducida a la idea de una obra o una acción concreta como es, por ejemplo, la construcción de un dique, una presa o una pared de retención para impedir inundaciones y deslizamientos. Más bien se refiere al proceso por medio del cual un grupo humano o individuo toman conciencia del riesgo que enfrenta, lo analiza y lo entiende, considera las opciones y prioridades en términos de su reducción, considera los recursos disponibles para enfrentarlo, diseña las estrategias e instrumentos necesarios para enfrentarlo, negocia su aplicación y toma la decisión de hacerlo. Finalmente se implementa la solución más apropiada en términos del contexto concreto en que se produce o se puede producir el riesgo. Es un proceso específico de cada contexto o entorno en que el riesgo existe o puede existir. Además, es un proceso que debe ser asumido por todos los sectores de la sociedad y no como suele interpretarse, únicamente por el gobierno o el Estado como garante de la seguridad de la población. Aunque por supuesto el Gobierno y el Estado tienen una primera responsabilidad en el impulso y puesta en práctica de los modelos de gestión que aseguren el beneficio social. Aquí es importante reconocer, por ejemplo, que una parte importante del riesgo que enfrentan países y poblaciones es producto de las acciones conscientes o inconscientes del sector privado y sus agentes, a veces avalado por las políticas públicas y a veces ignorando la normativa y legislación nacional.

En las etapas de diseño y construcción de obras de ingeniería civil debe tomarse en cuenta la posibilidad de que los proyectos pongan en riesgo la salud o seguridad pública, o provoquen pérdidas económicas a la comunidad (Merritt et al, 1999). De acuerdo con el Departamento del Transporte de Texas (TDOT, 2009), un riesgo se define como las consecuencias asociadas con la probabilidad de que un evento peligroso ocurra. Así, con la evaluación de riesgos se identifica el nivel de vulnerabilidad de distintas alternativas de diseño, aunque no con la profundidad que demandaría la optimización de costos (TDOT, 2009).

En términos de confiabilidad estructural, Canto y Alamilla (2000) afirman que se trata de la probabilidad de que una obra no falle cuando es sometida a sollicitaciones externas. Ellos mismos indican que, para que una estructura se pueda considerar como confiable, es imperativo garantizar que resistirá la carga máxima que se le aplicará durante su vida útil. Dicha carga, de acuerdo con Ang y De León (2005), es una variable que debe predecirse o estimarse en el análisis de confiabilidad.

De esta forma, los análisis de riesgo y confiabilidad contribuyen a desarrollar programas óptimos de mantenimiento preventivo, ya que permiten anticipar los posibles daños que una obra podría presentar durante su operación (Nessim y Stephens, 1995). Siendo los puentes vehiculares proyectos de infraestructura fundamentales para el desarrollo de un país, su análisis de riesgos resulta importante para asegurar que brindarán un servicio adecuado, y



de no hacerlo, tomar las medidas correspondientes en beneficio de su correcto funcionamiento.

Los puentes son construcciones que contribuyen a la comunicación de localidades, librando obstáculos como ríos. Dada su gran importancia, la aplicación del análisis y gestión de riesgos en estas obras de infraestructura es relevante, en virtud de que permite reconocer con anticipación las causas de una posible pérdida, y programar actividades de mantenimiento para reducir posibles daños ante la existencia de eventos causantes de fallas. De esta forma, una metodología de gestión de riesgos en la construcción, operación y mantenimiento de los puentes, son aspectos que tanto propietarios como administradores deben aplicar.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 QUE ES UN RIESGO

Existen diversos tipos de riesgo: económico, político, ecológico, cultural, por desastres naturales, terrorismo, entre muchas otras variaciones. En común, se puede afirmar que el riesgo implica que una acción, actividad o tarea (incluida la inactividad) pueda generar una pérdida o un resultado inesperado e indeseable.

El riesgo está asociado con la posibilidad de que ocurra o no ocurra un evento. También se asocia con la probabilidad de que algún evento suceda, esto es, que existe un margen para que ciertas acciones tengan lugar. En términos de proyectos, éstos se encuentran ligados a la obtención de un producto, servicio o resultado en el futuro. Dicho resultante es acotado en etapas tempranas del proyecto, escrupulosamente planeado, aunque en la realidad las acciones, tareas o actividades tienen una probabilidad de que ocurran conforme se ha planeado. No existe una certeza absoluta de que aquello planeado corresponda a lo ejecutado. Al no coincidir se puede generar un descontrol entre los participantes del equipo que resulte en un proyecto fuera de alcance, con sobrecostos y fuera de los límites fijados en el calendario.

Para el enfoque que se le dará a este trabajo, el riesgo se encuentra definido como: la probabilidad de ocurrencia de unas consecuencias económicas sociales o ambientales en un sitio particular y durante un tiempo. Es decir, la combinación de la amenaza (la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dañino) y la vulnerabilidad (las pérdidas potenciales sufridas por los elementos expuestos). El riesgo se evalúa en términos de los daños y las pérdidas que se podrían presentar si ocurre el fenómeno detonante del evento (sismo, lluvia, etc.), los cuales no sólo están relacionados con su fuerza o magnitud (en términos de energía liberada), sino también y principalmente, con la capacidad (o incapacidad) de la sociedad para soportar y sobreponerse del impacto ocasionado por tal fenómeno; tal capacidad o incapacidad se conoce como resiliencia.

Para la Estrategia Internacional para la Reducción De Desastres EIRD, 2004, el riesgo es la “probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) resultado de interacciones entre amenazas naturales, antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad.”

### 3.2 CLASIFICACIÓN DEL RIESGO

El “riesgo” se conforma de la probabilidad de que ocurran pérdidas y daños en el futuro de un proyecto, una empresa, o en diversos componentes o sectores de la sociedad como pueden ser: individuos, comunidades, ciudades, infraestructura, viviendas, etc.

Esta probabilidad de ocurrencia está sujeta a análisis y mediciones cualitativas y cuantitativas. Los riesgos a los que se enfrenta una institución de cualquier sector y sus operaciones pueden resultar de factores tanto internos como externos. La figura 2 muestra algunos ejemplos de riesgos en estas áreas que pueden verse afectados por estos factores. Estos riesgos se pueden clasificar en diferentes categorías como: de azar, financieros, operacionales, estratégicos, etc.

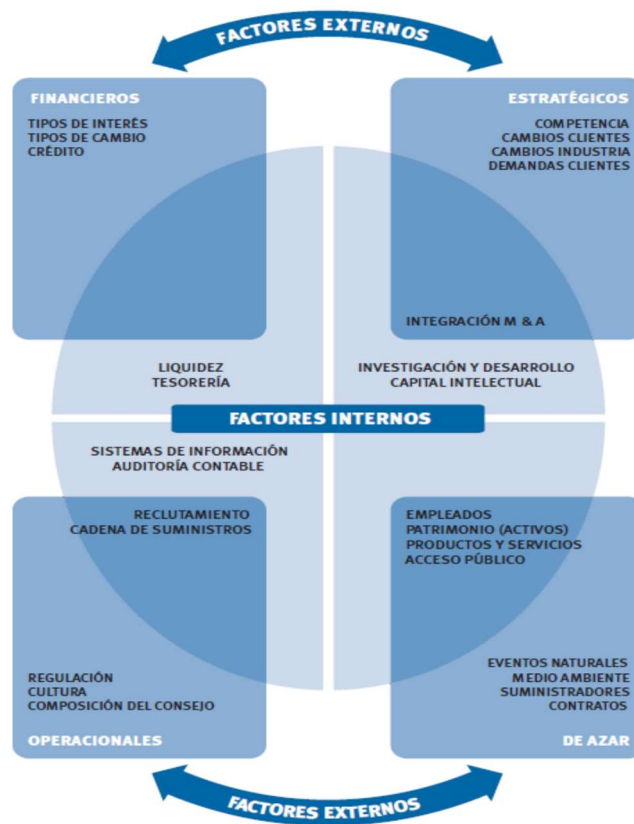


Figura 2. Factores externos e internos

Fuente: © AIRMIC, ALARM, IRM: 2002, translation copyright FERMA: 2003.

### 3.3 ANÁLISIS DE RIESGOS

En su forma más simple es el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y consecuencias en un área determinada.

El análisis de riesgos comprende las siguientes etapas: identificación, descripción y estimación de riesgos.

a) **Identificación de riesgos:** la identificación de los riesgos pretende identificar la exposición del objeto de estudio o de una empresa a la incertidumbre. Se necesita un conocimiento detallado del objeto a estudiar, del mercado en el que opera, del entorno legal, social, político y cultural que le rodea, así como de una visión común coherente de su estrategia y de sus objetivos operacionales, incluyendo los factores críticos para su éxito y las amenazas y oportunidades. Hay que enfocar la identificación de los riesgos de forma metódica para asegurarse de que se han identificado todas las actividades importantes y que se han definido todos los riesgos que implican dichas actividades. Las actividades pueden clasificarse de la siguiente manera:

- *Estratégicas:* se refieren a los objetivos estratégicos a largo plazo de la empresa. Pueden estar condicionadas por áreas como la disponibilidad de capital, los riesgos políticos y soberanos, los cambios legales y de regulación, la reputación y los cambios en el entorno físico.
- *Operacionales:* se refieren a los problemas cotidianos a los que se enfrenta la empresa al esforzarse por conseguir sus objetivos estratégicos.
- *Financieras:* Se refieren a la gestión efectiva y al control de las finanzas de las empresas, así como a los efectos de factores externos como la disponibilidad de crédito, los tipos de cambios de las divisas, los movimientos de los tipos de interés y otras exposiciones al mercado.
- *Gestión del conocimiento:* Se trata de la gestión efectiva y del control de los recursos del conocimiento, la producción, protección y comunicación de estos. Los factores externos pueden incluir el uso sin autorización o el abuso de la propiedad intelectual, los fallos en el área de energía y la competencia tecnológica. Entre los factores internos se pueden incluir el mal funcionamiento de los sistemas o la pérdida de personal clave.

- *Conformidad*: Se refiere a temas como salud y seguridad, medioambiente, descripción comercial, protección del consumidor, protección de datos, prácticas de empleo y temas de regulación.

Mientras que la identificación de riesgos puede llevarla a cabo consultores externos, es muy probable que un enfoque interno con procesos y herramientas coherentes, coordinados y bien comunicados resulte más eficaz. La "propiedad" interna del proceso de gestión de riesgos es esencial.

b) **Descripción de riesgos**: El objetivo de la descripción de riesgos es mostrar los riesgos identificados de una forma estructurada, por ejemplo, utilizando una tabla (ver tabla 1). La tabla de descripción de riesgos que figura a continuación se puede utilizar para facilitar la descripción y valoración de riesgos. El uso de una estructura bien diseñada es necesario para asegurar un proceso exhaustivo de identificación, descripción y valoración de riesgos. Al tener en cuenta la consecuencia y probabilidad de cada uno de los riesgos que constan en la tabla, debería ser posible dar prioridad a los riesgos clave que tienen que ser analizados con más detalle. La identificación de los riesgos asociados a las actividades empresariales y la toma de decisiones se puede calificar como estratégica, táctica u operacional. Es importante incorporar la gestión de riesgos en la fase de concepción de los proyectos, así como a lo largo de la vida de un proyecto específico.

1. Nombre del riesgo	
2. Alcance del riesgo	Descripción cualitativa de los sucesos, su tamaño, tipo, número y dependencias.
3. Naturaleza del riesgo	Ej. Estratégicos, operacionales, financieros, de gestión del conocimiento y de conformidad.
4. Interesados	Interesados y sus expectativas
5. Cuantificación del riesgo	Importancia y probabilidad
6. Tolerancia del riesgo / Apetito	Potencial de pérdida e impacto financiero del riesgo Valor en riesgo Probabilidad y tamaño de las pérdidas/ganancias potenciales Objetivo(s) del control de riesgo y nivel deseado de rendimiento
7. Tratamiento del riesgo y mecanismos de control	Medios primarios por los que se gestiona el riesgo actualmente Niveles de confianza en el control existente Identificación de protocolos de supervisión y revisión
8. Acción potencial de mejora	Recomendaciones para reducir riesgos
9. Política y estrategia a desarrollar	Identificación del responsable de la función de desarrollo de la política y la estrategia.

Tabla 1 Descripción del Riesgo

Fuente: © AIRMIC, ALARM, IRM: 2002, translation copyright FERMA: 2003.

c) **Estimación de riesgos:** La estimación de riesgos puede ser cuantitativa, semicuantitativa o cualitativa en términos de probabilidad de ocurrencia y de sus posibles consecuencias. Por ejemplo, las consecuencias en términos de amenazas (riesgos negativos) y oportunidades (riesgos positivos) pueden dividirse en altas, medias o bajas (Ver tabla 2). La probabilidad puede clasificarse como alta, media o baja, pero requiere diferentes definiciones respecto a las amenazas y las oportunidades (Ver tablas 3 y 4). Los ejemplos aparecen en las tablas. Algunas empresas opinarán que se adecuarán mejor a sus necesidades medidas de consecuencia y probabilidad diferentes.

Por ejemplo, muchas empresas opinan que clasificar las consecuencias y probabilidades como altas, medias o bajas, se adapta bastante bien a sus necesidades y se pueden presentar en una matriz 3 x 3. Otras empresas creen que usar una matriz de 5 x 5 para evaluar las consecuencias y las probabilidades les proporciona una mejor valoración.

Altas	El impacto financiero en la empresa es susceptible de superar €x. Fuerte impacto en la estrategia o en la operatividad de la empresa. Alta preocupación de los interesados.
Medias	El impacto financiero en la empresa es susceptible de situarse entre €x y €y. Impacto moderado en la estrategia o en la operatividad de la empresa. Moderada preocupación de los interesados.
Bajas	El impacto financiero en la empresa es susceptible de situarse por debajo de €y. Bajo impacto en la estrategia o en la operatividad de la empresa. Baja preocupación de los interesados.

*Tabla 2 Consecuencias – Amenazas y Oportunidades*

Fuente: © AIRMIC, ALARM, IRM: 2002, translation copyright FERMA: 2003.

Estimación	Descripción	Indicadores
Alta (Probable)	Susceptible de ocurrir cada año o más del 25% de probabilidad de que ocurra.	Posibilidad de que suceda varias veces en el período de tiempo (por ejemplo, diez años). Ha ocurrido recientemente.
Media (Posible)	Susceptible de ocurrir en un período de diez años o menos del 25% de probabilidad de que ocurra.	Podría suceder más de una vez en el período de tiempo (por ejemplo, diez años). Podría ser difícil de controlar debido a varias influencias externas. ¿Hay un historial de ocurrencia?
Baja (Remota)	No es susceptible de ocurrir en un período de diez años o menos del 2% de probabilidad de que ocurra.	No ha sucedido. Poco probable que suceda.

*Tabla 3 Probabilidad de Ocurrencia – Amenazas*

Fuente: © AIRMIC, ALARM, IRM: 2002, translation copyright FERMA: 2003.

Estimación	Descripción	Indicadores
Alta (Probable)	Es probable que se alcancen resultados favorables en un año o más del 75% de probabilidad de que ocurra.	Oportunidad clara, que se puede barajar con razonable certeza y conseguir a corto plazo basándose en los procesos de gestión actuales.
Media (Posible)	Perspectivas razonables de resultados favorables en un año o del 25% al 75% de probabilidad de que ocurra.	Oportunidades alcanzables pero que requieren una gestión cuidadosa. Oportunidades que pueden surgir fuera de lo previsto
Baja (Remota)	Cierta posibilidad de resultados favorables a medio plazo o menos del 25% de probabilidad de que ocurra.	Oportunidad posible que aún tiene que ser investigada completamente por la dirección. Oportunidad en la que la probabilidad de éxito se considera baja, partiendo de los recursos de gestión que se están aplicando en este momento.

*Tabla 4 Probabilidad de Ocurrencia – Oportunidades*

*Fuente: © AIRMIC, ALARM, IRM: 2002, translation copyright FERMA: 2003.*

Algunas de las técnicas empleadas para la identificación de riesgos son las siguientes:

- Tormenta de ideas
- Cuestionarios
- Estudios empresariales que se centren en cada proceso de negocio y describan tanto los procesos internos como los factores externos que puedan influir en estos procesos.
- Establecimiento de criterios de competencia comparativa (“benchmarking”) en la industria.
- Análisis de distintos escenarios
- Talleres de valoración de riesgos
- Investigación de incidentes
- Auditoría e inspección
- Método HAZOP (Hazard & Operability Studies -Estudios de Azar y Operatividad)

Algunos ejemplos de técnicas y métodos de análisis de riesgos son los siguientes:

- Establecimiento de modelos de dependencia
- Análisis SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats -puntos fuertes, puntos flacos, oportunidades y amenazas)
- Análisis del árbol de sucesos

- Planes de continuidad del negocio
- Análisis BPEST (Business, Political, Economic, Social, Technological -de negocio, político, económico, social, tecnológico)
- Establecimiento de modelos de opción real.
- Toma de decisiones en condiciones de riesgo e incertidumbre
- Inferencia estadística
- Medidas de tendencia central y dispersión
- PESTLE (Political, Economic, Social, Technical, Legal, Environmental - político, económico, social, técnico, legal, medioambiental)

#### Para Riesgos positivos

- Estudios de mercado
- Prospección
- Pruebas de mercado
- Investigación y desarrollo
- Análisis de impacto en el negocio

#### Para Riesgos negativos

- Análisis de amenazas
- Análisis del árbol de fallos
- Análisis FMEA (Failure Mode & Effects Análisis -análisis de los modos de fallos y sus efectos)

### 3.4 VARIABLES PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

Cuando el proceso de análisis de riesgos se ha llevado a cabo, es necesario comparar los riesgos estimados con los criterios de riesgo establecidos por la empresa. Los criterios de riesgo pueden incluir costos y beneficios asociados, requisitos legales, factores socioeconómicos y medioambientales, preocupaciones de los interesados, etc. Por tanto, se usa la evaluación de riesgos para tomar decisiones acerca de la importancia de los riesgos para la empresa y sobre si se debe aceptar o tratar un riesgo específico.

La administración de riesgos es una parte integral del proceso de administración. La administración de riesgos es un proceso multifacético, aspectos apropiados del cual son a



menudo llevados a cabo mejor por un equipo multidisciplinario. Es un proceso iterativo de mejora continua.

Las variables o elementos principales del proceso de administración de riesgos son los siguientes (ver figura 3):

i. Establecer el contexto

Establecer el contexto estratégico, organizacional y de administración de riesgos en el cual tendrá lugar el resto del proceso. Deberían establecerse criterios contra los cuales se evaluarán los riesgos y definirse la estructura del análisis.

ii. Identificar riesgos

Identificar qué, por qué y cómo pueden surgir las cosas como base para análisis posterior.

iii. Analizar riesgos

Determinar los controles existentes y analizar riesgos en términos de consecuencias y probabilidades en el contexto de esos controles. El análisis debería considerar el rango de consecuencias potenciales y cuán probable es que ocurran esas consecuencias. Consecuencias y probabilidades pueden ser combinadas para producir un nivel estimado de riesgo.

iv. Evaluar riesgos

Comparar niveles estimados de riesgos contra los criterios preestablecidos. Esto posibilita que los riesgos sean ordenados como para identificar las prioridades de administración. Si los niveles de riesgo establecidos son bajos, los riesgos podrían caer en una categoría aceptable y no se requeriría un tratamiento.

v. Tratar riesgos

Aceptar y monitorear los riesgos de baja prioridad. Para otros riesgos, desarrollar e implementar un plan de administración específico que incluya consideraciones de fondeo.

vi. Monitorear y revisar

Monitorear y revisar el desempeño del sistema de administración de riesgos y los cambios que podrían afectarlo.

vii. Comunicar y consultar

Comunicar y consultar con interesados internos y externos según corresponda en cada etapa del proceso de administración de riesgos y concerniendo al proceso como un todo.

La administración de riesgos se puede aplicar en una organización a muchos niveles. Se le puede aplicar a nivel estratégico y a niveles operativos. Se lo puede aplicar a proyectos específicos, para asistir con decisiones específicas o para administrar áreas específicas reconocidas de riesgo.

La administración de riesgos es un proceso iterativo que puede contribuir a la mejora organizacional. Con cada ciclo, los criterios de riesgos se pueden fortalecer para alcanzar progresivamente mejores niveles de administración de riesgos. Para cada etapa del proceso deberían llevarse registros adecuados, suficientes como para satisfacer a una auditoría independiente.

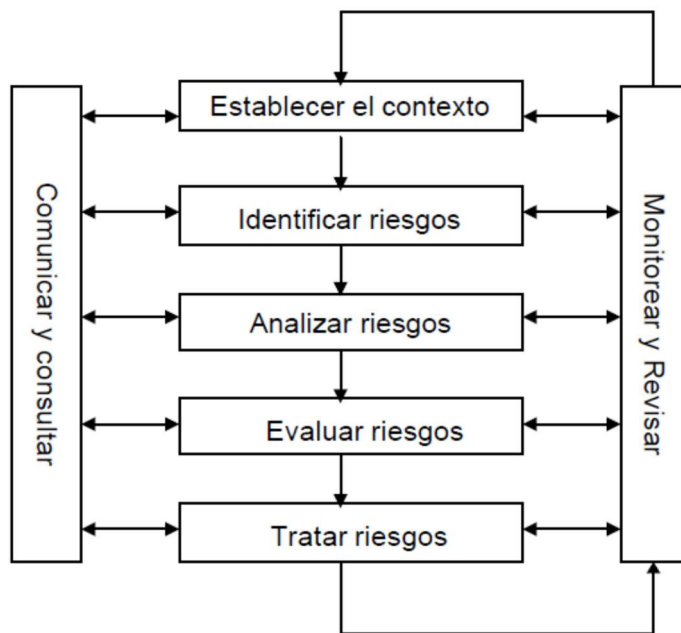


Figura 3. Vista general de la administración de riesgos y sus elementos

### 3.5 RESPUESTAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO

Para dar respuesta a los riesgos se aplican estrategias para definir líneas de acción ante la ocurrencia de estos eventos imprevistos. El enfoque estratégico ofrece una oportunidad para dar respuesta a los riesgos identificados. Se parte además de la premisa de que todas las situaciones inciertas ofrecen no sólo amenazas al proyecto, sino que también representan oportunidades para beneficio del proyecto. Se diseñan entonces estrategias que atiendan tanto al riesgo negativo como al riesgo positivo.

#### I. Estrategias para riesgos negativos o amenazas:

**Evitar.** Realizar acciones para asegurar que la ocurrencia de un evento tenga una probabilidad de cero ocurrencias.

**Mitigar.** Se busca la probabilidad de ocurrencia de un evento al tiempo que se reduce el impacto que pudiera ocasionar por el suceso del evento. Para ello se dispone de prácticas recomendadas, guías, reglamentos, supervisiones, actualizaciones, capacitación y de otras herramientas que buscan disminuir, con una tendencia a cero, la probabilidad y el daño que pueda ocasionar un evento.

**Transferir.** Por medio de un acuerdo contractual, las actividades consideradas de riesgo pueden ser trasladadas a la esfera de competencias de un agente con capacidad probada para atender estas situaciones. Este agente asume las responsabilidades ante el riesgo. La subcontratación de algunas actividades transfiere el riesgo por estas acciones al subcontratista, quien dada su experiencia y especialidad está en mejor condición para atender el desarrollo de las actividades y su riesgo asociado.

#### II. Estrategias para riesgos positivos y oportunidades:

**Aceptar.** Todo el proyecto está sujeto a riesgos, hayan sido identificados o no. El equipo de proyecto acepta esa condición y define estrategias generales de acción para atender de forma contingente o sobre la marcha del proyecto los sucesos que ocurran. Una estrategia ampliamente aceptada es ubicar un porcentaje de recursos como contingencia ante imprevistos: costos por riesgos, tiempo extra de ejecución, etcétera.

**Explotar.** Utilizar los recursos de manera oportuna atendiendo a las particularidades del proyecto, personal calificado, tecnologías actualizadas.

**Compartir.** Estimular a los participantes a abordar situaciones imprevistas con inteligencia, sentido común y responsabilidad en el entendido de que los beneficios por aprovechar una oportunidad serán distribuidos entre los participantes.

**Mejorar.** Aprovechar la disponibilidad de recursos para distinguir y mejorar las condiciones del proyecto. Aceptar. Crear conciencia de que los riesgos no sólo son negativos, sino que existe otra posibilidad: los riesgos también representan una oportunidad.

### III. Estrategias de respuestas ante contingencia.

Se plantean cursos de acción que serán empleados ante la presencia exclusiva de determinados hechos y condiciones.

## 3.6 COBERTURAS DEL RIESGO

El sector gobierno tiene diversas opciones para transferir el riesgo a través de seguros, incluido el seguro privado, incluso el risk pooling y la mutualidad entre agencias gubernamentales. El risk pooling se define como elementos de transferencia del riesgo donde varias entidades privadas y/o mixtas, es decir compuestas de capital privado y del gobierno, comparten mutuamente la responsabilidad bajo parámetros de exposición, costo y utilización preestablecidos. Otra opción que podría considerarse es la transferencia del riesgo a mercados de capitales a través de instrumentos financieros.

Una manera esquemática es la que se muestra en la Figura 4 que ilustra una estructura de retención y transferencia en la cual se han colocado unos valores hipotéticos del total de un portafolio de bienes. Los umbrales factibles obedecen a factores económicos y financieros y también a la economía política del problema.

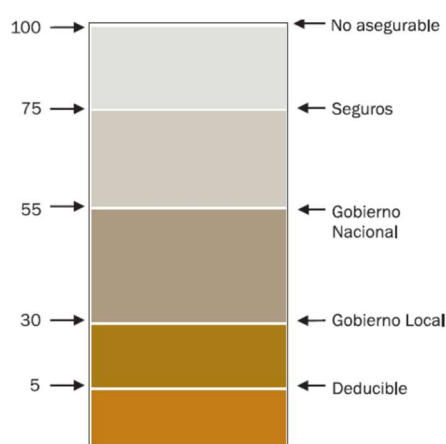


Figura 4. Estructura de retención y transferencia del riesgo

El ejemplo es optimista. De un total de pérdidas de 100, se observa que se pueden cubrir 75. La distribución es de acuerdo con criterios económicos, políticos y de equidad. Los hogares asumen 5 del total. El gobierno local actúa cuando las pérdidas sobrepasan este nivel y cubre hasta 25 puntos. Si el evento fue lo suficientemente fuerte que sobrepasa los 30 puntos, entonces el gobierno nacional contribuye con 25 puntos adicionales. Las pérdidas que superen estos umbrales deben ser cubiertas por los seguros privados y públicos.

Los precios de los seguros y de los reaseguros se ven distorsionados por restricciones de oferta y de demanda. Una estructura institucional y regulatoria más sólida y un sistema de información transparente contribuirían notablemente a reducir este tipo de restricciones. Sin embargo, mientras se logran implementar dichos cambios, es de vital importancia que tanto los gobiernos nacionales y los gobiernos locales tomen conciencia de la importancia de adoptar medidas de diversificación de los riesgos de desastres, especialmente los que conciernen con daños en la infraestructura física. Mecanismos como el aseguramiento permiten disminuir la carga fiscal del gobierno una vez ocurrido un desastre.

- **El seguro y reaseguro como mecanismo tradicional**

El seguro y el reaseguro son instrumentos de protección financiera que permiten transferir el riesgo a una compañía de seguros y al mercado de reaseguros a nivel internacional. Para el caso de eventos naturales extremos tales como terremotos o huracanes, el riesgo, entendido como el potencial de pérdidas económicas, significa la posibilidad de que se afecten en forma simultánea varios bienes dentro de un portafolio.

Esta alternativa tiene la ventaja que el cedente descarga en la compañía de seguros el riesgo incurriendo en menores costos de manejo. Una vez cedido o transferido el riesgo a la compañía esta, como tomadora, decide la manera óptima de diversificar su portafolio. Instituciones grandes, como son los gobiernos, pueden tener fácil acceso a este mercado, por lo que este mecanismo de transferencia del riesgo es una alternativa viable. Las entidades territoriales pequeñas podrían recurrir el gobierno central para, a través de éste, canalizar su transferencia de riesgo a una compañía de seguros.

**a) El seguro:** es un contrato por medio del cual una empresa aseguradora se compromete a asumir el riesgo de ocurrencia de un acontecimiento incierto, obligándose a pagar las pérdidas en que pueda incurrir el tomador por efecto del riesgo determinado en el contrato. En contraprestación el tomador debe pagar una prima al asegurador.

Este mecanismo es posible gracias al principio mutual; el cual plantea la compensación entre personas sometidas a un mismo riesgo. Unas pocas compañías grandes controlan la mayor parte del mercado. Los ramos de la industria con mayor participación son los seguros de vida y los seguros para automóviles. La participación de los seguros contra desastres naturales es muy pequeña. Por esta razón es de vital importancia que los gobiernos centrales y locales implementen nuevas estrategias para estimular el desarrollo del mercado primario de seguros contra las distintas amenazas que representan los desastres, dando especial importancia a la transferencia del riesgo de los daños en la infraestructura física pública. Este primer paso permitiría disminuir la carga fiscal de los gobiernos después de un desastre y abriría la senda a seguir para facilitar el acceso del sector privado al mercado de seguros.

- b) **El reaseguro:** es el seguro de las compañías aseguradoras. En otras palabras, es la transferencia del riesgo a un segundo asegurador por parte de una compañía que ha adquirido directamente el riesgo de sus clientes. El asegurador utiliza el reaseguro para limitar las fluctuaciones temporales en los siniestros frente a los que es responsable y para protegerse contra la insolvencia en caso de un desastre. Sin embargo, existen algunos inconvenientes en su uso. Los precios de los seguros y reaseguros a nivel mundial tienden a ser muy inestables. Después de una catástrofe de grandes proporciones las primas de seguros y de reaseguros se incrementan súbita y dramáticamente. Estos incrementos tienden a desvanecerse en el tiempo, pero de manera mucho más lenta a la elevación. Este comportamiento de los precios puede estar explicado por el intento de los reaseguradores de obtener una compensación vía precios por las pérdidas en que incurren después de un desastre, dado que los contratos entre aseguradores y reaseguradores son de largo plazo. Otro factor que influye en este comportamiento cíclico de los precios es la revisión que hacen las compañías aseguradoras de los daños potenciales de un desastre. Después de dicha revisión las compañías aseguradoras pueden estar dispuestas a interrumpir el aseguramiento o aumentar la prima necesaria para seguir con los contratos. Estudios en los Estados Unidos ilustran que para una parte del sector reasegurador las primas a las que se ofrecen los contratos de exceso de pérdida son muy superiores a las pérdidas esperadas e ilustra que los aseguradores tienden a reducir

su nivel de reaseguramiento conforme aumenta la magnitud del desastre y se reduce la probabilidad de ocurrencia.

- **Mercado de capitales**

En general, las dos o tres primeras capas (coaseguro) de pérdidas ante la ocurrencia de un desastre las cubren las empresas de seguros y reaseguros. La siguiente capa o nivel de pérdida generalmente es llevado a los mercados financieros utilizando instrumentos de financiación y transferencia de riesgo, y finalmente las capas más altas en la mayoría de los casos son cubiertas por líneas de crédito provenientes de instituciones multilaterales (Banco Mundial, BID).

En los mercados de capitales existen dos categorías básicas de instrumentos de financiación y transferencia de riesgo: títulos de renta fija (Bonos CAT) y derivados (opciones, swaps). Estos títulos generalmente son emitidos por grandes empresas aseguradoras o reaseguradoras (Swiss Re, AON, entre otras) y su monto de emisión es bastante alto (las emisiones oscilan entre los 50 y los 1500 millones de dólares).

**a) Bonos de Catástrofe (Cat Bonds):** Estos bonos se diferencian de un bono en su forma más simple, en que están sujetos a riesgo de crédito (riesgo de no pago o default por parte del emisor) en todo o parte del principal y/o de los cupones en el caso de la ocurrencia de cierto desastre natural previamente especificado, convirtiéndose en instrumentos de transferencia de riesgo. Los fondos que se obtienen de la venta del bono son invertidos a una tasa libre de riesgo, y los rendimientos de esta última inversión son a su vez utilizados para pagar el interés o cupón del bono. En compensación por el riesgo de crédito que estos presentan, ofrecen tasas de interés y rendimientos mayores que los que se ofrecen en el mercado. En general, en el proceso de emisión de un Bono CAT, las dos partes (emisor e inversionista) utilizan un Vehículo de Propósito Especial (SPV) como intermediario en el proceso de titularización de riesgo a través del bono. Este Vehículo de Propósito Especial es una entidad legal e independiente que emite el Bono CAT, recibiendo un pago de los inversionistas que compran el título. A su vez, el SPV establece un contrato de seguros con la firma aseguradora mediante el cual ésta última se cubre en los riesgos establecidos en el bono a cambio de premios periódicos que son utilizados por el SPV para pagar los cupones al inversionista. La

cantidad que recibe el SPV por la venta del bono es depositada en una Compañía de Inversión o Banco de Depósitos (Trust) que emiten como colateral Títulos del Tesoro, que no tiene Riesgo de crédito. Las empresas aseguradoras que buscan cubrir su riesgo por medio del bono tienen incentivos para utilizar un SPV debido a beneficios en términos impuestos y requerimientos contables que estos ofrecen, ya que generalmente se ubican en zonas que tiene menos restricciones de este tipo. Por su parte, los inversionistas utilizan el SPV para evitar el riesgo de solvencia que ocasionalmente puede enfrentar la firma aseguradora.

Los gobiernos pueden combinar instrumentos de transferencia del mercado de la industria del seguro como del mercado de capitales para cubrir las pérdidas ocasionadas por un evento catastrófico o de gran intensidad. El uso de los instrumentos depende de su costo financiero o de oportunidad y de la posibilidad de acceder a dichos recursos.

- **Retención del riesgo:**

En algunas ocasiones puede resultar de interés combinar el seguro comercial con el autoseguro o tener seguros con un límite y lo restante asumirlo directamente. En algunos países donde el seguro privado no ha sido factible los gobiernos locales han establecido un pool de seguros que con algunos límites cubren los costos de las emergencias, de reparación e incluso de otras obligaciones. Estos fondos de autoseguro por riesgo en ocasiones son orientados hacia sectores específicos como escuelas u hospitales.

La retención del riesgo es también una opción que podría considerarse cuando existe una buena información de qué riesgos pueden retenerse y cederse. En este caso lo correcto sería estimar el valor de las primas y mantenerlas en un fondo donde se puedan obtener rendimientos. Sin embargo, es necesario revisar las restricciones existentes para mantener reservas de acuerdo con la legislación presupuestal existente en cada país. Existen varios instrumentos financieros de retención o autoseguro y arreglos institucionales que se pueden utilizar.

- a) **Fondos de desastres:** Las autoridades pueden crear un fondo de recursos destinados a la atención de desastres. Los recursos acumulados en dicha cuenta deben mantenerse en activos líquidos, es decir, en papeles o cuentas bancarias que se puedan cancelar rápidamente sin grandes costos de transacción. En la medida que los



recursos se demandan para enfrentar contingencias y eventos catastróficos, las inversiones deben tener bajo riesgo y por ende un pequeño rendimiento.

- b) Endeudamiento:** El gobierno puede acudir a los mercados bancarios nacionales o internacionales y pedir fondos prestados ya sea para cubrir los costos directos del desastre o contratar créditos contingentes. En el primer caso, pueden presentarse problemas en la consecución de los recursos, debido a que, en una situación de desastre, la demanda de crédito de todos los sectores aumenta, encareciendo los recursos y el riesgo financiero. Los intermediarios estarán menos predispuestos a otorgar empréstitos y posiblemente se agudicen los problemas de racionamiento. De otra parte, si las pérdidas son excesivas es posible que el gobierno no pueda conseguir los recursos necesarios y necesite acudir a la ayuda del gobierno central o de la banca internacional, esta última puede incluso ser más adversa a otorgar créditos a la administración central si no existen avales del gobierno central, máxime cuando las calificaciones de riesgo de los bonos de deuda pública prácticamente se han deteriorado significativamente.
- c) Emisión de nueva deuda en forma de bonos:** una alternativa para conseguir recursos es la emisión de bonos de deuda pública. Nuevamente, esta fuente de recursos puede verse seriamente limitada si los mercados consideran que la situación fiscal se está deteriorando y por tanto exigen altas primas de riesgo que pueden hacer prácticamente imposible la colocación de nuevos papeles en el mercado.

- **Cautivas para retención y transferencia**

Dentro de las alternativas de transferencia de riesgo que se encuentran de manera complementaria a las estructuras tradicionales de reaseguro que se pueden obtener dentro del mercado asegurador local con las características legislativas y restrictivas conocidas. En términos prácticos, una cautiva es una entidad corporativa creada y controlada ya sea por una sociedad matriz, una asociación profesional o un grupo de empresas, cuyo único propósito es proveer cobertura sobre los riesgos de dicha sociedad madre, la asociación o

del grupo, como una alternativa a la adquisición de seguros en el mercado tradicional. Las principales categorías de compañías cautivas son:

**Pure captive:** 100% subsidiaria de otra sociedad, a la cual le asegura en forma exclusiva sus riesgos específicos.

**Mutual captive:** asegura los riesgos colectivos de miembros específicos de una industria.

**Association captive:** que brinda cobertura a los riesgos individuales de miembros de una asociación profesional, comercial o industrial.

Las cautivas representan ventajas comerciales para las empresas que las incorporan y capitalizan. Constituyen vehículos idóneos para la reducción de costos (dan cobertura a cambio de primas más baratas y por medio de ellas se contratan directamente reaseguros sin necesidad de adquirir pólizas en el mercado asegurador tradicional); coadyuvan a una mejor y más cómoda administración de los riesgos y facilitan el flujo de caja del grupo económico o sociedad de que se trate, lo cual conlleva crecimiento económico.

En resumen, como se mencionó, el Estado tiene básicamente la responsabilidad de cubrir o asegurar sus activos, la infraestructura pública y los sectores de la población con menores ingresos. El aseguramiento de sus activos e infraestructura pública debe ser contratado con empresas aseguradoras, las cuales transferirán parte del riesgo a una reaseguradora quien a su vez transferirá parte de su riesgo al mercado de capitales. Esto se justifica en el hecho de que son estas empresas las que tienen experiencia en el diseño de instrumentos financieros que titularicen el riesgo en catástrofe y además son ellas las que tiene representación en las bolsas de valores en donde este tipo de títulos son transados.

## 4. LA GESTIÓN DE RIESGOS

### 4.1 COMPONENTES DEL RIESGO

El riesgo existe al concurrir tanto una amenaza, como determinadas condiciones de vulnerabilidad. El riesgo se crea en la interacción de amenaza con vulnerabilidad, en un espacio y tiempo particular (ver figura 5).

Estos dos factores (amenaza y vulnerabilidad) se han definido como los componentes principales para la existencia del riesgo. A continuación, se definen:

*Amenaza*: el peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, socio natural o provocado por el hombre (antrópico) que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes, servicios y/o el medio ambiente. Técnicamente, se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad, en un sitio específico y en un período de tiempo determinado.

*Vulnerabilidad*, se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir el grado de pérdidas esperadas. En términos generales pueden distinguirse dos tipos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social. La primera es más factible de cuantificarse, mientras que la segunda puede valorarse cualitativamente y es relativa, ya que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, así como el grado de preparación de las personas (definida en publicación del CENAPRED 2004). Para los propósitos de este trabajo se centrará la atención en la vulnerabilidad física.

*Vulnerabilidad física*: está relacionada con la calidad, material y tipo de construcción de viviendas, establecimientos económicos (comerciales, industriales) y de servicios (salud, educación, sede de instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (central hidroeléctrica, carretera, puentes, canales de riego, etc.) para asimilar los efectos de la amenaza.



Figura5. Fórmula del riesgo de desastres

Fuente: Elaboración equipo IGGRD con base en terminología de riesgo de desastres de Naciones Unidas, 2009

Las amenazas y vulnerabilidades son mutuamente condicionadas o creadas. No puede existir una amenaza sin la existencia de una sociedad vulnerable y viceversa. Un evento físico de la magnitud o intensidad que sea no puede causar un daño social si no hay elementos de la sociedad expuestos a sus efectos. De la misma manera hablar de la existencia de vulnerabilidad o condiciones inseguras de existencia es solamente posible con referencia a la presencia de una amenaza particular.

El desastre es la realización o concreción de las condiciones de riesgo preexistentes en la sociedad. Esta realización ocurre en el momento en que un determinado evento físico, sea este un huracán, sismo, explosión, incendio, u otro ocurre y con ello muestra las condiciones de vulnerabilidad existentes, revela el riesgo latente y lo convierte en un producto, con consecuencias en términos de pérdidas y daños.

Por lo tanto, el riesgo se puede definir como la combinación de la probabilidad de un suceso y sus consecuencias (Guía ISO/CEI 73). En todos los tipos de empresa existe un potencial de sucesos y consecuencias que constituyen oportunidades para conseguir beneficios (lado positivo) o amenazas para el éxito (lado negativo).

Se reconoce cada vez más que la gestión de riesgos trata tanto los aspectos positivos como los negativos de los riesgos. Por lo tanto, se debe considerar el riesgo desde ambas perspectivas.

En el campo de la seguridad, se suele admitir que las consecuencias son sólo negativas, por lo que la gestión de riesgos de seguridad se centra en la prevención y en la mitigación del daño.

## **4.2 LA GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS**

La Gestión del Riesgo es una parte fundamental en la gestión estratégica de cualquier empresa tanto del sector público o del sector privado. Es un proceso en el que las empresas tratan los riesgos relacionados con sus actividades, con el fin de obtener un beneficio sostenido en cada una de ellas y en el conjunto de todas las actividades.

Una gestión de riesgos eficaz se centra en la identificación y tratamiento de estos riesgos. Su objetivo es añadir el máximo valor sostenible a todas las actividades de la empresa. Introduce una visión común del lado positivo y del lado negativo potenciales de aquellos factores que pueden afectar a la empresa. Aumenta la probabilidad de éxito y reduce tanto la probabilidad de fallo como la incertidumbre acerca de la consecución de los objetivos generales de la misma.

La gestión de riesgos tiene que ser un proceso continuo y en constante desarrollo que se lleve a cabo en toda la estrategia de la empresa y en la aplicación de esa estrategia. Debe tratar metódicamente todos los riesgos que rodeen a las actividades pasadas, presentes y, sobre todo, las futuras.

La Gestión de Riesgos debe estar integrada en la cultura de la empresa con una política eficaz y un programa dirigidos por la alta dirección. Tiene que convertir la estrategia en objetivos tácticos y operacionales, asignando responsabilidades en toda la empresa, siendo cada gestor y cada empleado responsable de la gestión de riesgos como parte de la descripción de su trabajo.

En el sector público, la inversión pública se ha constituido en un vehículo de gran utilidad para potenciar el desarrollo sostenible, así como para la provisión de servicios y aplicación de oportunidades de crecimiento económico, que dependen directamente las estrategias eficaces de inversión pública adoptadas por los países (FMI 2018).

No obstante, existen diferentes eventos que pueden afectar significativamente a la inversión pública, siendo los más frecuentes aquellos de origen natural, que impactan directamente a la infraestructura interrumpiendo la provisión del servicio para el que fue diseñada, como es el caso de la infraestructura de puentes.

En el caso de México se ha mejorado significativamente los mecanismos institucionales de respuestas y atención a emergencias y desastres, disminuyendo la pérdida de vidas humanas debido a desastres. Sin embargo, quedan muchos aspectos por mejorar en lo relativo a la protección de activos sociales y económicos, ajustando los esquemas de inversión en infraestructura al incluir la Gestión de Riesgos de Desastres.

Cuando se habla de gestión de riesgos de desastres en la inversión pública se habla de considerar el daño potencial que puede tener un proyecto de inversión ante la ocurrencia de un fenómeno perturbador. La posibilidad de que una infraestructura se destruya o resulte dañada antes de que finalice su vida útil es un aspecto que, pese a ser común para la mayoría de los proyectos, pocas veces se considera en la evaluación de los proyectos de inversión debido a la complejidad que implica.

En México, un proyecto de inversión se define como el conjunto de obras y acciones que llevan a cabo las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal para la construcción o ampliación de activos fijos, con el propósito de solucionar una problemática o atender una necesidad específica y que generan beneficios y costos a lo largo del tiempo. El ciclo de vida de inversión de un proyecto está conformado por tres etapas (CEPEP, 2018) (ver figura 6):

- Preinversión: considera todos aquellos estudios y acciones previos a la inversión que son necesarias para reducir la incertidumbre en los resultados que se esperan del proyecto en las subetapas de diseño, ejecución y operación. Para el caso de estudios, se consideran generalmente tres niveles de profundidad para su desarrollo; perfil, prefactibilidad y factibilidad.
- Inversión: corresponde a la etapa en donde se lleva a cabo las obras, los componentes, el equipamiento, el diseño de procesos y procedimientos, la liberación de afectaciones y la gestión de recursos humanos, es decir, es la etapa en donde se desarrollan todas aquellas acciones necesarias previas a la operación del proyecto.
- Operación: es la etapa en la que el proyecto atiende el problema, satisface la necesidad o permite aprovechar la oportunidad por la que surgió, es decir, es la etapa en la que el proyecto genera beneficios. En esta etapa el proyecto también incurre en costos de operación, mantenimiento y reinversiones de activos que van concluyendo con su vida útil.



Figura 6. Ciclo de vida de los proyectos de inversión pública en México

Fuente: Guía Conceptual para la Presentación de Evaluaciones Costo y Beneficio de Programas y Proyectos de Inversión (SHCP, 2018)

Teniendo en cuenta que la Gestión de Riesgos se ha centrado en el enfoque reactivo, este tipo de medidas pueden ubicarse en la fase de operación del ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, un enfoque reactivo que no siempre es el que tiene mayor sentido en términos financieros y de rentabilidad socioeconómica, ya que se realiza posterior al evento catastrófico. Por ello la etapa de Preinversión es crítica, ya que es donde se deben precisar potenciales interacciones entre el funcionamiento de la infraestructura y las dinámicas naturales, para determinar los riesgos a los que se enfrentará la obra de inversión pública.

En el esquema siguiente (ver figura 7) pretende orientar a adaptar el proceso general para incluir las medidas de Gestión de riesgos de desastres en un proyecto.

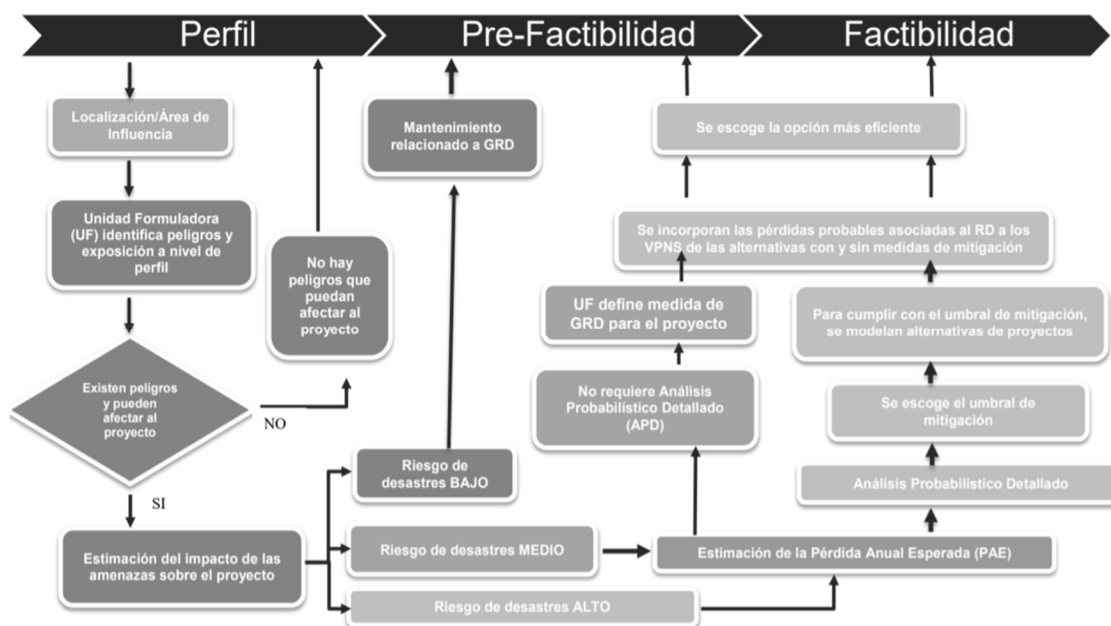


Figura 7. Esquema de incorporación de la Gestión de Riesgos en la formulación y evaluación de proyectos de inversión. Fuente: elaborado con base en el Centro de estudios para la preparación y evaluación socioeconómica de proyectos (CEPEP), e Ortegón; Pacheco - Roura, 2005

La Gestión de Riesgos en los proyectos de infraestructura es una herramienta que se aplica para realizar una serie de acciones y procesos coordinados a lo largo del ciclo de vida del proyecto con la finalidad de reducir la probabilidad de ocurrencia de los riesgos identificados y reducir el impacto de estos si es que ocurriesen, consiguiendo de esta manera los objetivos del proyecto.

La gestión del riesgo también hace referencia a un proceso social y político a través del cual la sociedad busca controlar los procesos de creación o construcción del riesgo o disminuir el riesgo existente, con la intención de fortalecer los procesos de desarrollo sostenible y la seguridad integral de la población. Es un instrumento para la formulación, coordinación, ejecución y seguimiento de acciones, que deben ser implementadas en el territorio tendiente a mejorar las condiciones de seguridad de la población, y el desarrollo de esta; busca al máximo la previsión, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad.

### 4.3 EL PROCESO DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

La gestión de riesgos protege y añade valor a la empresa y sus interesados mediante el apoyo a los objetivos de la empresa (ver figura 8) a través de:

- Proveer una estructura que permite que las actividades futuras se desarrollen de forma consistente y controlada.
- Mejorar la toma de decisiones, la planificación y el establecimiento de prioridades mediante una visión integrada y estructurada del negocio, su volatilidad y las oportunidades y amenazas del proyecto.
- Contribuir a una asignación más eficiente del capital y los recursos dentro de la organización.
- Reducir la volatilidad en las áreas no esenciales del negocio.
- Proteger y mejorar los activos y la imagen de la compañía.
- Desarrollar y apoyar a los empleados y la base del conocimiento de la organización.
- Optimizar la eficiencia operacional.



Figura 8. El proceso de la Gestión de Riesgos Fuente: © AIRMIC, ALARM, IRM: 2002, translation copyright FERMA: 2003.



La gestión del riesgo, como proceso, se centra en el mejoramiento y el empoderamiento institucional y de la comunidad, buscando que, de una forma lógica y secuencial, sean ejecutadas las actividades para lograr un fin común. Estas actividades son:

- El conocimiento del riesgo (amenazas y vulnerabilidades).
- La estimación del riesgo, un proceso a determinar el nivel de riesgo.
- La definición de estrategias tendientes a intervenir las condiciones de riesgo existentes.
- La concertación de alternativas.
- La implementación de estrategias y acciones priorizadas.

De igual forma, vista desde la perspectiva de (Sarmiento, 2007), la gestión de riesgos es entendida como “el conjunto de elementos, medidas y herramientas dirigidas a intervenir las condiciones de vulnerabilidad, o a actuar sobre amenazas (donde esto sea posible), o ambas, está dirigida a disminuir o mitigar los riesgos existentes”, plantea unas áreas y componentes a saber: “Análisis de riesgos - estudios de amenazas y vulnerabilidades. Reducción y transferencia de riesgos- prevención, mitigación, financiación y transferencia de riesgos. Manejo de eventos adversos preparación, alerta y respuesta. Recuperación rehabilitación y reconstrucción.

Así, es importante observar que el enfoque de procesos de la gestión de riesgos, busca optimizar la planeación, ejecución y evaluación de las líneas de acción principales en el territorio tales como: el conocimiento del riesgo, la reducción (prevención- mitigación) del riesgo actual y futuro, la transferencia del riesgo, la preparación y ejecución de la respuesta, la recuperación (rehabilitación reconstrucción) de desastres y emergencias, y la organización para la gestión, todo dirigido hacia el proceso equilibrado de desarrollo sostenible de un país.

Otra forma de entender el enfoque de procesos es el esquema de intervención riesgo desastre planteado por Lavell, Narvaez y Pérez en el 2009 para el Predecán en su libro “La gestión del riesgo de desastres un enfoque basado en procesos (ver figura 9).

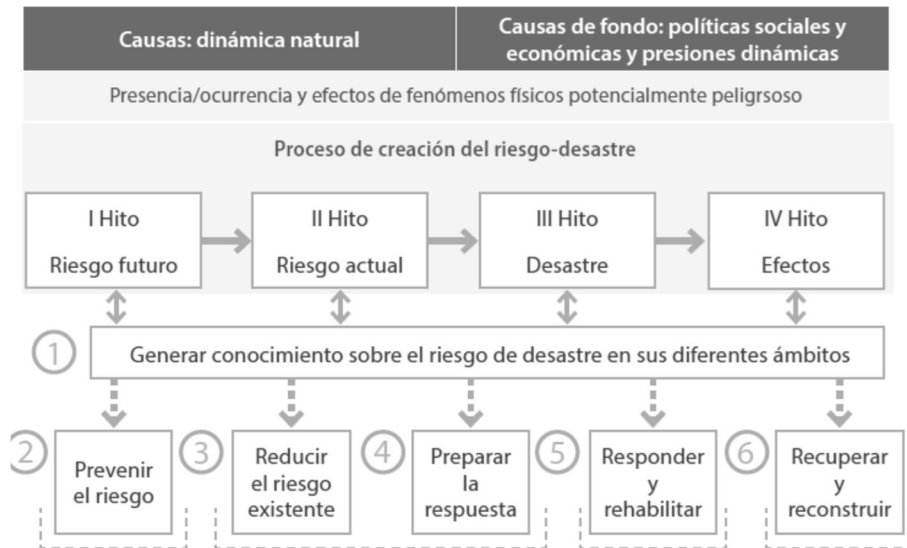


Figura 9 Proceso de intervención del riesgo- desastre (Lavell, Narvaez, Pérez,2009)

Los riesgos del proyecto tienen su origen en la incertidumbre que está presente en todos los proyectos. Los riesgos conocidos son aquéllos que han sido identificados y analizados, lo que hace posible planificar respuestas para tales riesgos. Los riesgos desconocidos específicos no pueden gestionarse de manera proactiva, lo que sugiere que el equipo del proyecto debe crear un plan de contingencia.

#### 4.4 TIPOS DE GESTIÓN DE RIESGOS:

En la actualidad se habla de la Gestión de Riesgos indicando tres tipos de Gestión:

- a) **La Gestión Reactiva:** La gestión reactiva del riesgo interviene sobre el riesgo existente, o “riesgo aceptado” y abarca medidas que minimizan probables daños y pérdidas, y/o que incrementen la resiliencia y capacidad de respuesta. Por ejemplo: Sistemas de alerta temprana, preparación para la respuesta, seguros agrícolas.
- b) **La Gestión Correctiva o Compensatoria:** La gestión correctiva interviene igual sobre el riesgo existente, pero a diferencia de la gestión reactiva, no (sólo) tiene como fin la reducción de daños, sino emplea medidas y acciones que promueven la reducción de la vulnerabilidad. Ejemplos para medidas de gestión correctiva son la reubicación de comunidades en riesgo, el reforzamiento de construcciones y/o estructuras existentes vulnerables, así como instrumentos de seguros indexados.

- c) **La Gestión Prospectiva:** La gestión prospectiva interviene, a diferencia de los otros dos, sobre el riesgo aún no existente. Abarca medidas y acciones en la planificación del desarrollo, orientadas a evitar nuevas vulnerabilidades, así como, por ejemplo: normas y regulaciones, Planes de Ordenamiento Territorial incluyendo gestión del riesgo, usos productivos alternativos en áreas amenazadas, o la incorporación de los criterios de análisis del riesgo en proyectos de inversión. Es en el contexto de la gestión correctiva y prospectiva que debe priorizarse el contemplar las nuevas condiciones que plantean los escenarios del cambio climático, referidos a aquellas amenazas de origen hidrometeorológico así como a las nuevas condiciones del clima futuro que alterará no solo las amenazas antes indicadas sino la afectación de los medios de vida y ecosistemas de sustento de las sociedades y que debido al calentamiento global se refleja de manera diferenciada dependiendo de las diferentes escalas y unidades territoriales.

Incorporar la gestión del riesgo en los procesos de desarrollo requiere tener presente que la probabilidad que se presente una emergencia en un país como consecuencia de la ocurrencia de eventos de origen natural nunca es cero. Esta probabilidad de ocurrencia de eventos con potencial de desastre obliga o debe obligar a los gobiernos a planificar sus procesos de desarrollo incorporando el análisis de riesgo en sus políticas. Para ello, es importante partir de la caracterización de las distintas fases de la gestión del riesgo desde una perspectiva de la gestión pública (ver figura 10).

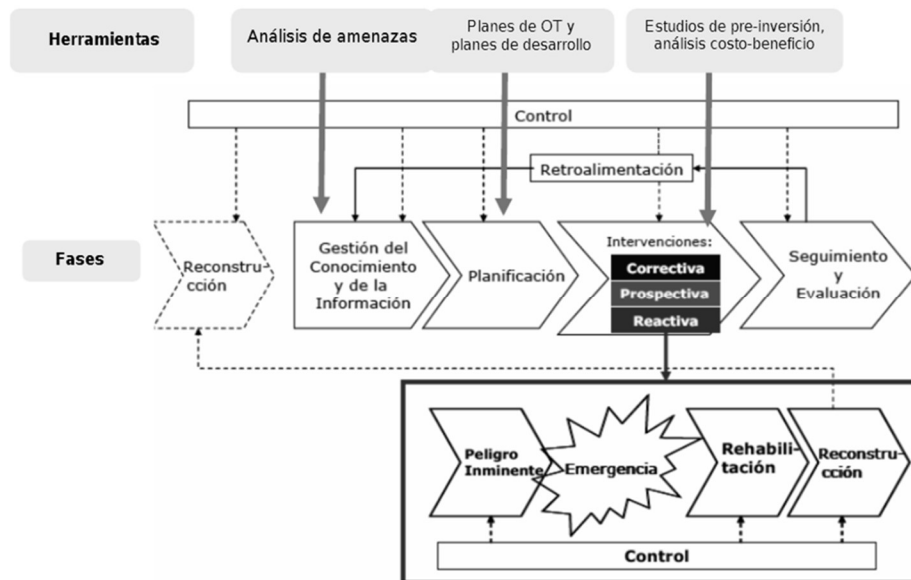


Figura 10 Gestión del riesgo en el proceso de desarrollo desde una perspectiva de la gestión pública

Fuente: Gráfico M. Von Hesse, 2008

#### 4.5 GESTIÓN DE RIESGOS APLICADA EN LA METODOLOGÍA DEL PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE

La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía del PMBOK) menciona que las etapas del ciclo de vida de un proyecto están compuestas por aquellos procesos requeridos para prever, monitorear, analizar y regular el progreso y el desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambios y para iniciar los cambios correspondientes. El beneficio clave de este grupo de procesos radica en que el desempeño del proyecto se observa y se mide de manera sistemática y regular, a fin de identificar variaciones respecto del plan del proyecto, que alcance los requerimientos en tiempo, costo y calidad.

La Gestión de los Riesgos del Proyecto de acuerdo con el PMI incluye los procesos relacionados con llevar a cabo la planificación de la gestión, la identificación, el análisis, la planificación de respuesta a los riesgos, así como su seguimiento y control en un proyecto. Los objetivos de la Gestión de los Riesgos del Proyecto son aumentar la probabilidad y el impacto de eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de eventos negativos para el proyecto.

Los procesos de la Gestión de riesgos según la metodología del PMI son los siguientes:

- i. Planificar la Gestión de Riesgos—Es el proceso por el cual se define cómo realizar las actividades de gestión de los riesgos para un proyecto.
- ii. Identificar los Riesgos—Es el proceso de identificar los riesgos individuales del proyecto, así como las fuentes de riesgo general del proyecto y documentar sus características.
- iii. Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos—Es el proceso de priorizar los riesgos individuales del proyecto, para análisis o acción posterior, evaluando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos, así como otras características.
- iv. Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos—Es el proceso que consiste en analizar numéricamente el efecto combinado de los riesgos individuales del proyecto identificados y otras fuentes de incertidumbre sobre los objetivos generales del proyecto.
- v. Planificar la Respuesta a los Riesgos—El proceso de desarrollar opciones, seleccionar estrategias y acordar acciones para abordar la exposición al riesgo del proyecto en general, así como para tratar los riesgos individuales del proyecto.
- vi. Implementar la respuesta a los riesgos— El proceso de implementar planes acordados de respuesta a los riesgos.
- vii. Monitorear y Controlar los Riesgos—Es el proceso de monitorear la implementación de los planes acordados de respuesta a los riesgos, hacer seguimiento a los riesgos

identificados, identificar y analizar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a lo largo del proyecto.

En la figura 11 se puede observar el diagrama general de los procesos de Gestión de Riesgos del Proyecto del PMI en el ciclo de vida del proyecto.



Figura 11. Descripción general de la Gestión de los Riesgos del Proyecto

Fuente: Guía del PMBOK sexta edición, pág. 396

## 5. RIESGOS EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA

Se considera que el primer paso para realizar la estimación del riesgo de desastres consiste en conocer la dinámica de los peligros que potencialmente podrían impactar al proyecto. El análisis de los peligros depende fundamentalmente de tres factores: la intensidad, la localización y la recurrencia. La combinación de estos tres parámetros da como resultado un número infinito de episodios que teóricamente podrían impactar al proyecto.

El análisis del peligro o amenazas es el primero que se realiza en los estudios de riesgo de desastre, pues es el factor que ante las condiciones propicias detona la afectación.

El criterio de priorización para determinar la magnitud de un peligro tiene que ver con una valoración espacio temporal: qué tan cerca está la obra de la manifestación natural y, posteriormente, qué tan vulnerable es el activo ante la dinámica conocida o probable. Considerando el emplazamiento de la obra, se definen los posibles efectos de fenómenos que estén Impactando en esa ubicación. Por ejemplo, en el caso de una carretera, si el peligro identificado es la dinámica de socavamiento de las bases de un puente, entonces la consideración espacial para dicho peligro deberá ser la totalidad de la cuenca.

### 5.1 CLASIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA

La información de la Red Nacional de Caminos (RNC), es generada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en conjunto con el Instituto Mexicano del transporte (SCT-IMT) y el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). La RNC integra el total de la red pavimentada y parte importante de los caminos no pavimentados de México, las vialidades de las localidades urbanas y rurales con las que se conectan, vías fluviales y marítimas donde se transbordan vehículos y, adicionalmente, servicios de interconexión de transporte como aeropuertos, puertos, estaciones de ferrocarril, aduanas, puentes y túneles, sitios de esparcimiento y recreativos, sitios de interés para el turismo, entre otros.

La información disponible al 2020 de la RNC se muestra en las figuras 12 a 16 y se sintetiza en las siguientes cifras:

- 174,779 km carreteras pavimentadas
- 50,685 km-Carreteras federales
- 102,719 km-Carreteras estatales
- 21,375 km-municipales, particulares
- 10,767 km-Carreteras de cuota
- 1,261 plazas de cobro

- 78385 km vialidades urbanas e infraestructura de enlace
- 527,345 km caminos No pavimentados
- 21,989 km de Veredas
- Longitud total de la RNC: 780,511 km

Fuente: <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>

A través de la RNC se transita el 95% del pasaje y el 56 % de la carga que circula en el ámbito nacional. La mayor longitud de carreteras y caminos, por entidad federativa, corresponde en orden decreciente a: Chihuahua, Sonora, Veracruz, Jalisco, Chiapas, Oaxaca, Durango, Michoacán, Tamaulipas y Guerrero.



Figura 12. Corredores troncales en México (Anuario estadístico SCT, 2020)



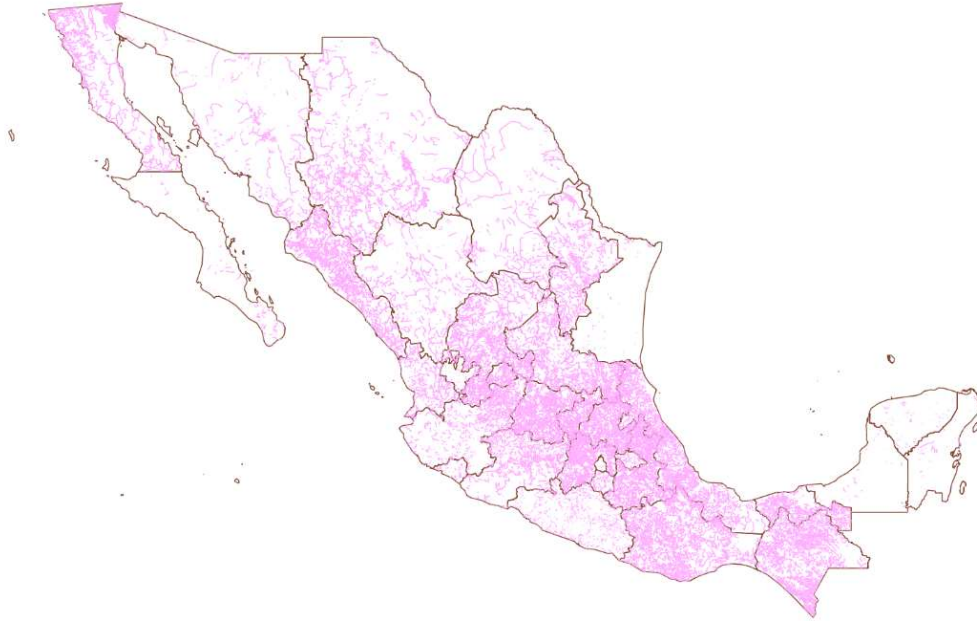


*Figura 13. Red Federal de Carreteras*  
*Fuente: Red nacional de caminos SCT-IMT, INEGI*



*Figura 14. Red Estatal en México*  
*Fuente: Red nacional de caminos SCT-IMT, INEGI*





*Figura 15. Red Municipal en México*  
*Fuente: Red nacional de caminos SCT-IMT, INEGI*



*Figura 16. Red de cuota en México*  
*Fuente: Red nacional de caminos SCT-IMT, INEGI*

## 5.2 RIESGOS ASOCIADOS A LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA

Aunque el territorio mexicano presenta una notable diversidad de peligros naturales capaces de ocasionar grandes daños a la población y a los bienes expuestos, de los fenómenos naturales que impactan en el territorio nacional y que pone en riesgo a la infraestructura existente o por construir, los ciclones tropicales son los que constituyen una de las mayores amenazas para diversas regiones de México (Ver figura 1 y 17), basta recordar los devastadores efectos de los huracanes: Gilbert en 1988, Pauline en 1997, Ingrid y Manuel en 2013 y Odile en 2014. Las estadísticas indican que a nivel mundial los daños que producen estos fenómenos han estado aumentando. Esto se debe, principalmente, al aumento de la población que se asienta en las costas expuestas al impacto directo de estos fenómenos y en las laderas y cañadas afectadas por las fuertes lluvias que a ellos se asocian, lo cual repercute en los sistemas expuestos. Otro fenómeno natural que impacta a la infraestructura son los sismos, como ejemplo más notable de este fenómeno, pueden recordarse los daños ocurridos en la ciudad de México en 1985 y los más recientes en 2017.

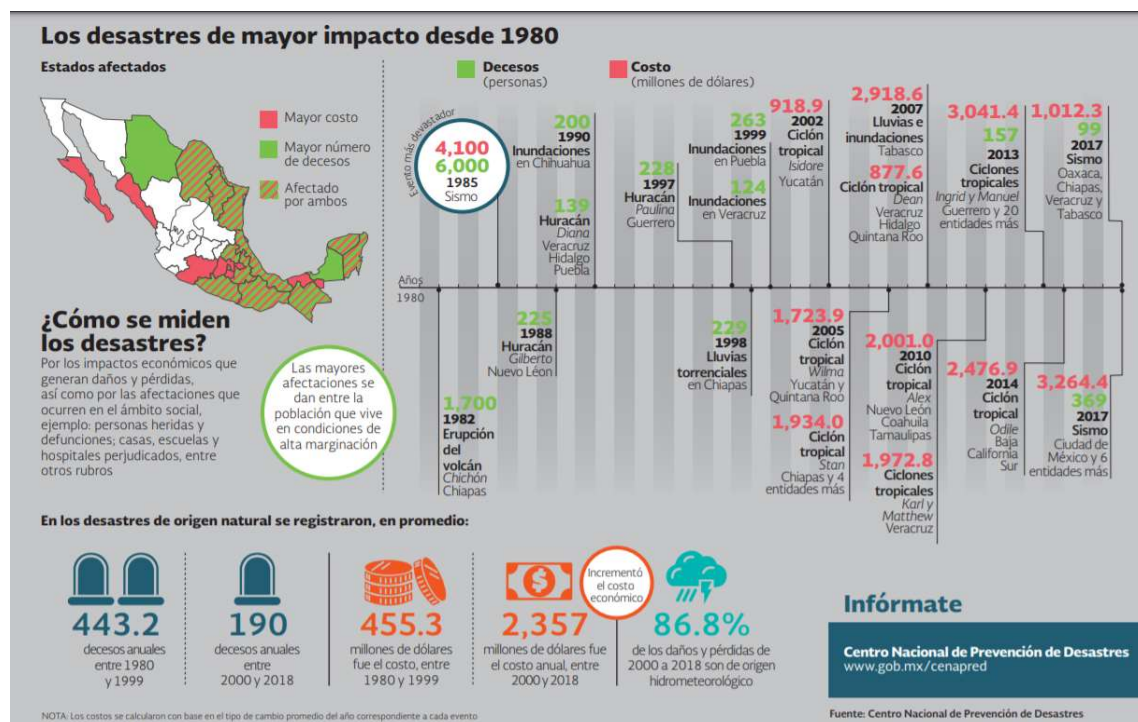


Figura 17 Los desastres de mayor impacto en México desde 1980 (Fuente CENAPRED)

Cuando alguna región llega a ser afectada por un desastre, la red carretera es determinante para llevar el auxilio que demandan los amplios sectores de la población afectados. Estas circunstancias de vulnerabilidad que pone en riesgo a la infraestructura de sufrir daños, la importancia de restablecer en poco tiempo la transitabilidad de los tramos carreteros y los

puentes que la conforman. Es importante hacer énfasis en que actualmente la Secretaría de Comunicaciones y Transportes no cuenta ya con maquinaria y equipo propios que le permitan hacer frente por sí sola a este tipo de contingencias. Esta circunstancia la obliga a prever la participación, en primer término, de los contratistas responsables de los trabajos de conservación rutinaria para restablecer el paso de vehículos y personas en los puntos fallados.

También es relevante mencionar que, no obstante que existen lugares de mayor riesgo, sobre todo en los litorales, se debe tener presente que el resto del territorio nacional no está exento de sufrir estas circunstancias, como quedó de manifiesto en los cortes carreteros ocurridos en los años 2001, 2002 y 2003 en varias carreteras de Sonora, Zacatecas y Guanajuato respectivamente, lugares en donde se consideraba improbable que esto sucediera.

El efecto causado por desastres producidos por fenómenos naturales extraordinarios, cuya previsión no abarca la ubicación específica de los daños ni la magnitud de estos. Para el caso de emergencia en carreteras, los efectos destructivos que exceden la capacidad de atención inmediata para el restablecimiento del estado original de la obra, requiriéndose para ello recursos financieros superiores a los autorizados para el Programa Nacional de Conservación de Carreteras. Los riesgos a los que está expuesto el territorio nacional y por ende la infraestructura carretera, están relacionados principalmente con los riesgos hidrometeorológicos, geológicos y antropogénicos (ver figura 18).

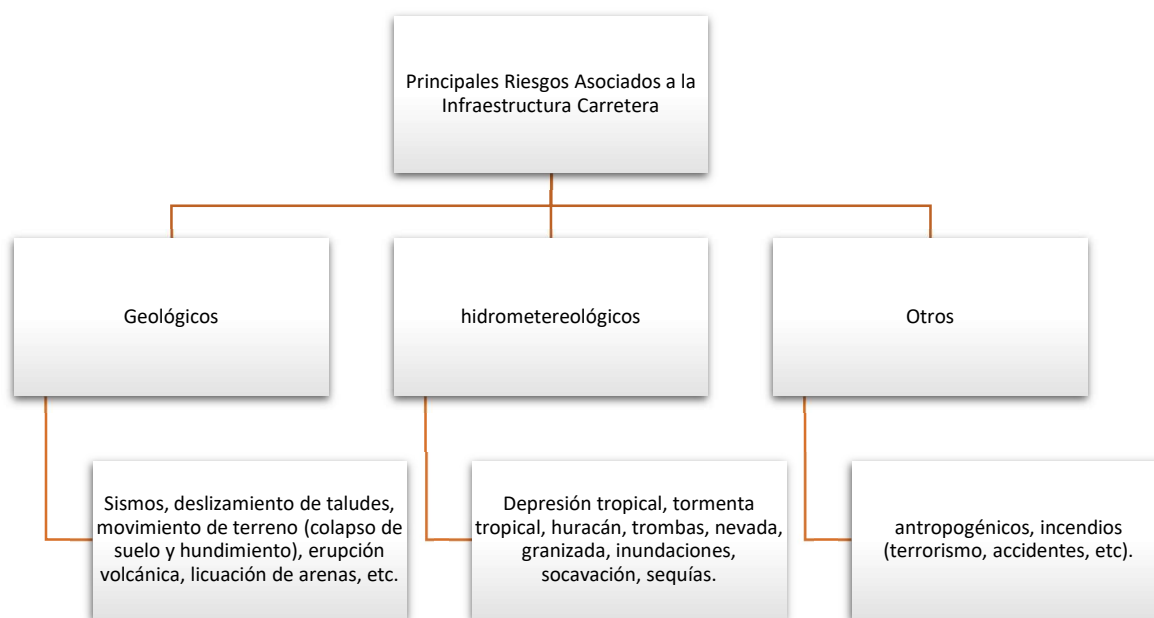


Fig. 18 Principales riesgos asociados a la infraestructura carretera

- **Sismos (origen geológico)**

El territorio nacional es afectado por una fuerte actividad sísmica, por ser parte del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico. Dos terceras partes del país tienen un riesgo sísmico significativo, que se debe principalmente a los terremotos que se generan en la Costa del océano Pacífico, en la conjunción de las placas tectónicas de Cocos y de Norteamérica.

México, se encuentra afectado por la movilidad de cuatro placas tectónicas: la de Norteamérica, Cocos, Rivera y del Pacífico. En la figura 19 se muestra la configuración de estas placas; las flechas indican las direcciones y velocidades promedio de desplazamiento relativo entre ellas.

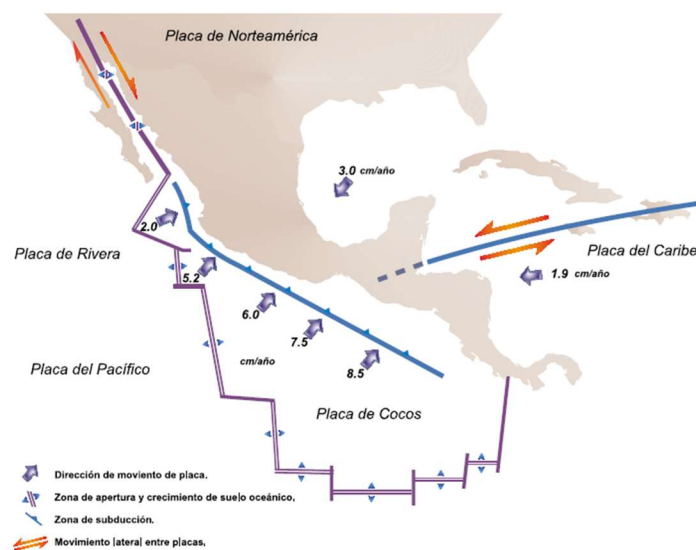


Figura 19. Configuración de placas tectónicas en el territorio nacional

La generación de los sismos más importantes en México se debe, básicamente, a dos tipos de movimiento entre placas. A lo largo de la porción costera de Jalisco hasta Chiapas, las placas de Rivera y Cocos penetran por debajo de la norteamericana, ocasionando el fenómeno de subducción. Por otra parte, entre la placa del Pacífico y la norteamericana se tiene un desplazamiento lateral cuya traza, a diferencia de la subducción, es visible en la superficie del terreno; esto se verifica en la parte norte de la península de Baja California y a lo largo del estado de California, en los Estados Unidos.

Una manera cuantitativa de representar el peligro por grandes sismos es el cálculo de aceleraciones máximas posibles del terreno. Para el caso de México, se ha observado que aquellas aceleraciones que rebasan el 15% del valor de la aceleración de la gravedad (g), producen daños y efectos de consideración, sobre todo para los tipos constructivos que predominan en México. Para conocer el grado de peligro sísmico que tiene una región

determinada, se recurre a la regionalización sísmica que, en el caso de México, se encuentra definida por cuatro niveles (ver figura 20).

Esta clasificación del territorio se emplea en los reglamentos de construcción para fijar los requisitos que deben seguir los constructores para diseñar las edificaciones y otras obras civiles de tal manera que éstas resulten suficientemente seguras ante los efectos producidos por un sismo. Se ha observado claramente que la distribución de daños por sismo en áreas urbanas presenta fuertes variaciones en función del tipo de suelo. Los daños se acentúan en aquellas zonas con sedimentos poco consolidados, normalmente con grandes espesores en cuencas aluviales o depósitos de barra. Como ejemplos más notables de este fenómeno, pueden citarse los daños ocurridos en la Ciudad de México en 1985, y los más recientes en 2017.



Figura 20. Regionalización sísmica de México (Fuente CFE, 2015)

En la figura 21, 22 y 23 se observan algunos ejemplos de daños ocasionados por sismos



Figura 21. Daño por sismo en vía de ferrocarril en la vecindad de Mexicali  
 Sismo de Mexicali de 2010 Fuente: CENAPRED





Figura 22. Daños en el Puente Coahuayana localizado en la carretera Playa Azul-Manzanillo, por el temblor del 21 de enero de 2003 ( $M=7.6$ ) (fuente: Jara, J. M., 2015)



Figura 23. Puente Cuajilote colapsado por pérdida de longitud de apoyo durante el sismo de Guerrero del 8 de mayo de 2014.

Inicialmente, el puente se desplazó lateralmente por la ocurrencia del sismo del 18 de abril de 2014 (fuente: Jara, J. M., 2015)

- **Ciclones Tropicales (origen hidrometeorológico)**

La República Mexicana, debido a su ubicación entre los paralelos  $16^\circ$  y  $32^\circ$  latitud norte y por la gran extensión de litorales con que cuenta, es afectada por ciclones tanto en las costas del océano Pacífico como en las del Golfo de México y el Caribe. Por lo mismo, los asentamientos humanos cercanos a las costas están expuestos a la influencia de las perturbaciones ciclónicas. Las áreas afectadas regularmente abarcan más del 60 % del territorio nacional.

Se ha observado que, en México, entre mayo y noviembre, se presentan 25 ciclones en promedio con vientos mayores de 63 km/h, de los cuales aproximadamente 15 ocurren en el océano Pacífico y 10 en el Atlántico. De éstos, anualmente 4 ciclones (dos del Pacífico y dos del Atlántico) inciden a menos de 100 km del territorio nacional.

Un ciclón, así como cualquier fenómeno natural, puede ocasionar un desastre de diversas proporciones. Su impacto destructivo depende no sólo de su intensidad, sino también de la conformación urbana que tengan las poblaciones. Por tanto, las zonas costeras, y en particular las que tienen una más frecuente incidencia de huracanes, son las que están expuestas a un mayor peligro por efecto de viento.

Algunos ejemplos de daños ocasionados a la infraestructura se pueden observar en las figuras 24 al 26



*Figura 24. Puente Vado ancho, Tapachula – Arriaga, daños por socavación local en pilas y exposición de acero de refuerzo (CENAPRED, Instituto de ingeniería UNAM,2017)*



Figura 25. Puente Piaxtla libre, Escuinapa los Mochis. Daño por socavación severa. (CENAPRED, Instituto de ingeniería UNAM, 2017)



Figura 26. Colapso del puente de Coyuca de Benítez tras el paso del huracán Manuel (2013) (CENAPRED)

Los daños mencionados en los casos anteriores tienen como origen un fenómeno natural, por lo que al impactar un área urbana se les suele llamar desastres naturales, aunque en su desarrollo y consecuencias tiene mucho que ver la acción del hombre.

- **Otros fenómenos (origen antropogénico, errores de diseño y constructivos, etc.)**

Existen otro tipo de riesgos que su origen no está asociado directamente a fenómenos naturales, pero que pueden ocasionar pérdidas económicas y daños considerables en los bienes expuestos; como puede ser la falta de actualización de reglamentos de construcción y normas, e incumplimiento de las mismas; falta de coordinación y comunicación entre los involucrados del proyecto desde su concepción, deficiencias en los planes de desarrollo urbano; infraestructura construida con carencias técnicas en las etapas de diseño, construcción y supervisión; mínimo en el monitoreo y programas de conservación y mantenimiento de la infraestructura, accidentes viales, actos vandálicos, etc.

Un ejemplo, es el que ocurrió en el puente “El Carrizo”, que forma parte de la autopista Durango–Mazatlán, la cual es operada por CAPUFE desde el año 2013, en virtud que, el 12 de enero de 2018 un tracto camión de doble remolque tipo pipa cargado con diésel, ocasionó daños en la superestructura de ese puente, por lo que para poner en operación rápidamente



a la autopista, se dio inicio al “Procedimiento para la Atención de Emergencias Técnicas”, con el cual por una parte se gestionó la autorización de recursos con cargo a los recursos del FONADIN para reparar los daños ocasionados al puente y por otra parte se dio aviso a la compañía aseguradora con la que CAPUFE tiene contratada la póliza del seguro de responsabilidad civil de la autopista Durango–Mazatlán, a fin de llevar a cabo las acciones legales correspondientes y obtener el pago de los daños ocasionados por dicha emergencia (ver figura 27 y 28).



*Figura 27. Vista aérea del puente El Carrizo*

*Fuente: [http://punto.mx/media/externo/18/180117/39537\\_middle.jpg](http://punto.mx/media/externo/18/180117/39537_middle.jpg)*



*Figura 28. Daños en carpeta y losa puente El Carrizo*

*Fuente: [http://www.lineadirectaportal.com/media/interior/18/180113/367567\\_zoom.jpg](http://www.lineadirectaportal.com/media/interior/18/180113/367567_zoom.jpg)*

Otro caso reciente como ejemplo, es el colapso de un tramo elevado de la línea 12 del metro en la Ciudad de México ocurrido en mayo de 2021, entre las estaciones Tezonco y Olivos (ver figura 29). Según los resultados de los análisis indicaron que el colapso ocurrió como resultado del pandeo de las vigas Norte y Sur facilitada por la falta de pernos funcionales en una longitud significativa lo que causó que parte del tramo elevado perdiera su estructura compuesta. Los factores que contribuyeron a la falta de funcionalidad en los pernos incluyen pernos con soldaduras deficientes, pernos faltantes, y pernos mal colocados. Los factores que contribuyeron al colapso incluyen deficiencias en las propiedades mecánicas de las vigas y en el diseño del marco transversal que no cumplió con los estándares de diseño AASTHO aplicables.



*Figura 29. Colapso de tramo elevado línea 12 metro de la Ciudad de México*

## 6. PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS ASEGURABLES EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE PUENTES

### 6.1 ALCANCES DE LA METODOLOGÍA

La metodología se enfocará en la gestión de Riesgos asegurables, ocasionados por fenómenos naturales de origen geológico e hidrometeorológico principalmente y que afectan la infraestructura de puentes en las zonas de mayor riesgo dentro del territorio nacional, ocasionando daños materiales y pérdidas económicas que deben ser cubiertas con recursos públicos de los tres niveles de gobierno a través de los instrumentos financieros disponibles y seguros en el caso de existir éstas coberturas contratadas para la reparación o reposición de la infraestructura afectada.

La metodología para la gestión de riesgos asegurables está conformada por etapas o procesos, representadas de forma general en la figura 30, con el objetivo de alcanzar una infraestructura resiliente, que permita a los organismos públicos el uso eficiente de los recursos y garantizar la operatividad ante la ocurrencia de algún fenómeno perturbador, implementando acciones preventivas que permitan maximizar las coberturas y minimizar las pólizas de los seguros contratados, buscando como objetivo alcanzar una infraestructura resiliente.



Figura 30. Etapas para la Gestión de los Riesgos

## 6.2 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Los puentes ha sido siempre una estructura destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar, y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras. De este modo se da continuidad a un camino y se permite el tránsito de viajeros y mercancías que son primordiales para el desarrollo económico de un país. Identificar los riesgos es el proceso por el cual se puede determinar la afectación a este tipo de infraestructura ante la ocurrencia de algún fenómeno natural, por lo cual es necesario documentar la información de los puentes existentes en el territorio nacional, sus características, estadísticas de fenómenos naturales que los afectan, para poder identificar los riesgos a los que está expuesta la infraestructura de puentes.

- **Inventario de Puentes en México**

Existe una base de datos realizada en colaboración por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), que consiste en un mapa de la Red Nacional de Caminos (RNC) con información georreferenciada de cada puente existente en el territorio nacional, el cual consta de un total de 13398 puentes contabilizados hasta 2021 (RNC 2021). La distribución de los puentes y su ubicación geográfica en el territorio nacional se puede observar en la figura 31, donde cada punto representa la existencia de un puente.



Figura 31. Puentes en México, Fuente: Red Nacional de Caminos SCT-IMT, INEGI (2021)

En la tabla 4 se muestra el registro de puentes existentes en la Red Federal por cada Estado de la República Mexicana, con un total de 9167 puentes. La información fue obtenida de Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT, actualizada hasta abril de 2019.

<b>SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES</b> <b>SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA</b> <b>DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS</b> <b>Puentes en la Red Federal de Conservación de Carreteras</b> <b>2019</b>	
AGUASCALIENTES	105
BAJA CALIFORNIA	213
BAJA CALIFORNIA SUR	167
CAMPECHE	161
COAHUILA	350
COLIMA	113
CHIAPAS	425
CHIHUAHUA	396
DURANGO	337
GUANAJUATO	351
GUERRERO	415
HIDALGO	296
JALISCO	314
MEXICO	434
MICHOACAN	558
MORELOS	149
NAYARIT	134
NUEVO LEON	380
OAXACA	486
PUEBLA	168
QUERETARO	114
QUINTANA ROO	56
SAN LUIS POTOSI	400
SINALOA	311
SONORA	485
TABASCO	264
TAMAULIPAS	407
TLAXCALA	286
VERACRUZ	511
YUCATAN	69
ZACATECAS	312
<b>TOTAL</b>	<b>9,167</b>

Tabla 4: Puentes existentes en la Red Federal de conservación de carreteras en cada estado de la República Mexicana (2019). Fuente: <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-conservacion-de-carreteras/puentes-de-la-red-federal-de-carreteras/>

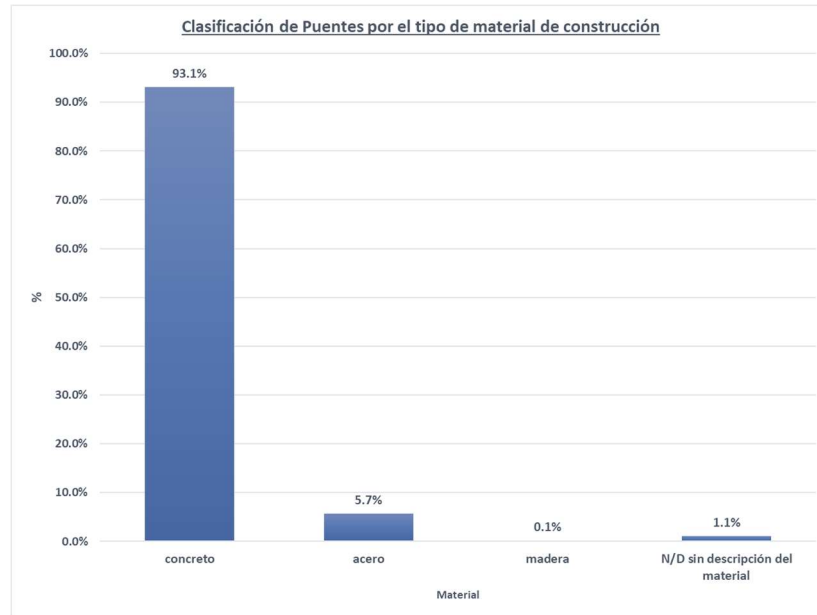
- **Clasificación de los puentes en México por el material de construcción y longitud**

De la información obtenida en el mapa de la RNC, se puede obtener la clasificación de los 13398 puentes existentes por el tipo de material de construcción y por su longitud.

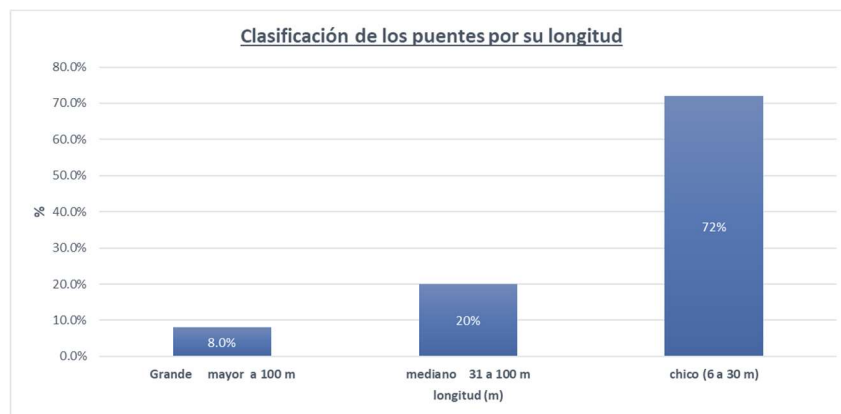


La clasificación por el tipo de material de construcción está conformada por cuatro tipos: concreto 93.1%, acero 5.7%, madera 0.1% y sin descripción de material utilizado 1.1%, representada en la gráfica 2.

La clasificación por su longitud está catalogada en tres tipos, grande: puentes con longitud mayor a 100 metros y que representan el 8%; mediano: con longitud de 31 a 100 metros y que representan el 20%; chicos: de 6 a 30 metros de longitud y que representan el 72%. Los datos se muestran en la gráfica 3.



Gráfica 2. Clasificación de los puentes por el material utilizado en la construcción  
 Fuente: elaborado con información de la RNC, 2021

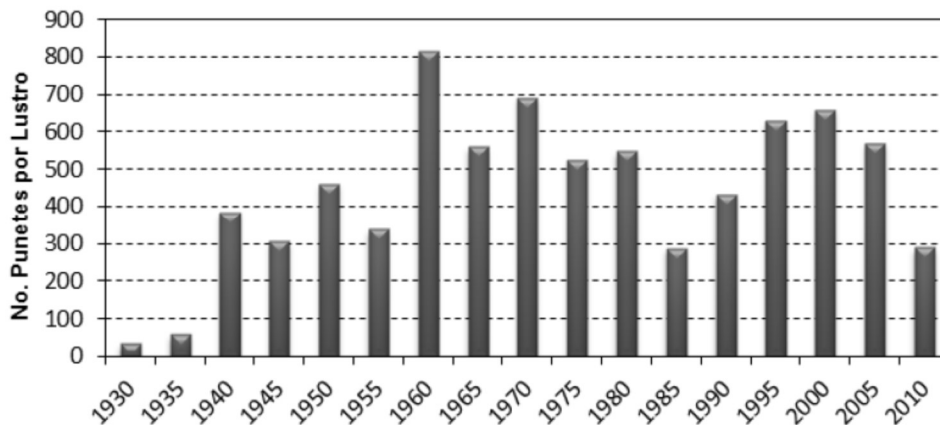


Gráfica 3. Clasificación de los puentes por su longitud  
 Fuente: elaborado con información de la RNC, 2021

Con base en la información se puede determinar que más del 90% de puentes existentes están contruidos a base de concreto (reforzado y presforzado), y del total de puentes registrados el 72% son chicos con longitudes de 6 a 30 m.

- **Edad promedio de los puentes en México**

Otro aspecto importante para determinar la vulnerabilidad de la infraestructura es la edad promedio de los puentes, en la publicación técnica 399 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) 2014, indica que la edad de los puentes en México es mayor a los 30 años y hay un número significativo de puentes con más de 40 años. La mayoría de estos puentes fueron contruidos antes de 1980 con normas de diseño que utilizaban criterios que consideraban cargas vivas y muertas menores a las que permite el actual reglamento de diseño y mucho menores a las cargas de los vehículos de transporte que circulan por las carreteras en la actualidad (ver gráfica 4).



Gráfica 4. Número de puentes por periodo de construcción

Fuente: Publicación técnica 399 SCT, IMT 2014

- **Clasificación de puentes especiales**

La Norma M\*PRY\*CAR\*6\*01\*008/04 de la SCT define a los puentes especiales de la siguiente manera: los puentes especiales son puentes y estructuras afines cuya estructuración es diferente a la común y consiste en superestructuras de tramos libremente apoyados o

continuos, colados en sitio o prefabricados, de concreto (reforzado o presforzados) y de vigas metálicas. Estos puentes especiales de acuerdo con la norma se clasifican en:

**Puentes contruidos en voladizo:** puentes cuya superestructura está constituida por segmentos o dovelas prefabricados o colados en sitio mediante cimbra móvil, que se colocan sucesivamente a partir de un elemento de subestructura, formando un voladizo de longitud creciente, hasta encontrarse con el extremo de otro voladizo que parte de un elemento de subestructura adyacente, o hasta apoyarse en un estribo o en un apoyo provisional.

Estos puentes pueden ser en doble voladizo cuando se construyen a partir de una pila y el avance se realiza en forma simétrica respecto a ese elemento; buen voladizo sencillo cuando se construyen a partir de un estribo y se dispone de un elemento de anclaje o de un contrapeso para el equilibrio de momentos en torno a ese estribo.

Los puentes contruidos por este procedimiento utilizan cables de presfuerzo longitudinal generalmente, en tanto que el uso de presfuerzo transversal puede ocurrir o no. El concreto que forman las dovelas puede ser de masa normal o aligerado.

**Puentes empujados:** Son aquellos cuya superestructura está formada por dovelas o segmentos, que se fabrican en el sitio o en un taller. Cada dovela se ensambla a la dovela anterior, en una plataforma localizada por detrás del estribo de una margen o una ladera. Una vez que la nueva dovela queda unida a la anterior, el conjunto se empuja hacia adelante para liberar el sitio que ocupara otra dovela más. El empujado se realiza por etapas sucesivas hasta alcanzar el estribo en la margen o ladera opuesta.

El empuje puede realizarse también desde ambas márgenes, en tal caso los conjuntos de dovelas se encuentran en un punto intermedio de la longitud del puente.

**Puentes atirantados:** Son aquellos en el que el tablero de la superestructura he soportado por tirantes o cables inclinados que se anclan a uno o varios mástiles o Torres y que inducen una fuerza axial de compresión en la sección transversal del tablero.

**Puentes en arco:** Estructura cuya directriz tiene una configuración curva o poligonal. La carga muerta genera esfuerzos axiales con excentricidades nulas o pequeñas respecto a la directriz en tanto que la carga actuando en sólo una parte del claro o las cargas accidentales generan esfuerzos axiales con excentricidades grandes respecto a la directriz y por lo tanto sollicitaciones de flexión. Por su forma de arco pueden ser circulares, circulares compuestos, parabólicos o poligonales.



- **Sobrecarga de vehículos que transitan en los puentes**

Una de las causas que ocasionan los daños a la infraestructura de puentes, es el originado por movimientos de vehículos sobrecargados, esto afecta de manera notable los planes de mantenimiento y conservación que permitan mantener la calidad de la infraestructura.

Durante los años 90, tres importantes cambios económicos en México impactaron notablemente al autotransporte de carga:

1. La desregulación del autotransporte de carga iniciada en 1989
2. El Tratado de Libre Comercio para América del Norte (TLCAN) en 1994
3. La privatización de los ferrocarriles mexicanos que arrancó en 1997. El resultante aumento en los flujos carreteros de transporte de carga debido a estos cambios realzó la importancia de controlar los impactos del autotransporte de carga.

En la tabla 5 se muestran los valores de sobrecarga por tipo de vehículo que circula en las carreteras del país:

Tipo de Vehículo	Peso Máximo Reglamentario*	Peso Promedio Sobrecargados	Sobrecarga Máxima
C2	17.5 (19.0)	21	27.9
C3	24.5 (27.5)	30.1	41.1
T3-S2	41.5 (46.5)	50.8	71.7
T3-S3	48.0 (54.0)	59.7	87.4
T3-S2-R4	66.5 (80.0)	80.9	103.1

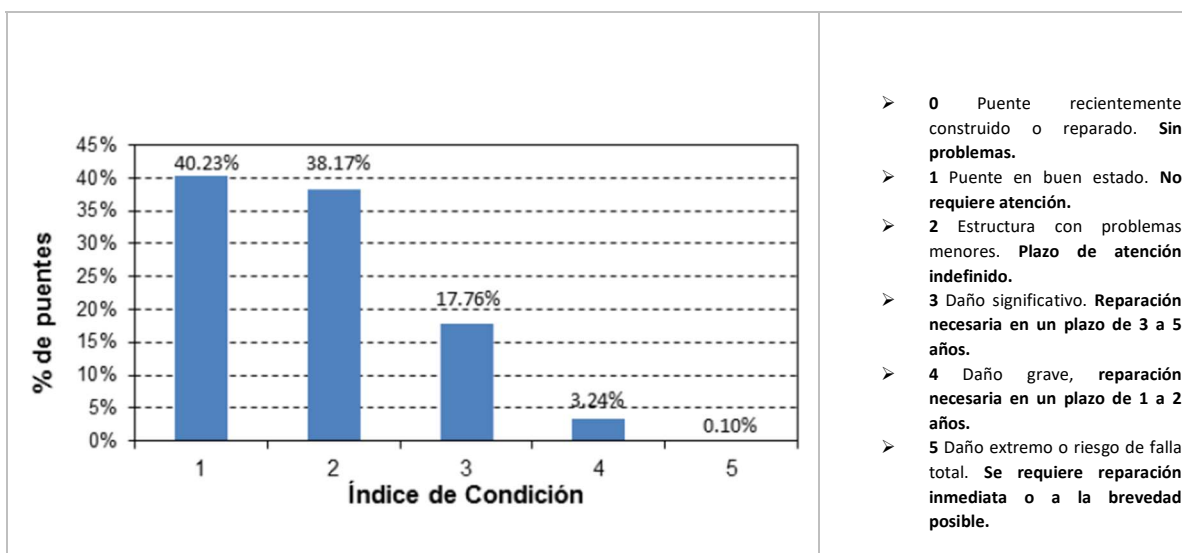
*\*Peso máximo reglamentario por incentivos*

*Tabla 5. Niveles de sobrecarga por vehículo. (Carrión, F. IMT, 2014)*

Para planear la rehabilitación, el reforzamiento o la sustitución de los puentes, es necesario evaluar la capacidad de carga de los puentes y estimar su vida remanente, considerando que más del 50% de los puentes tiene más de 30 años de servicio y en más del 80% de los puentes existentes transitan vehículos con sobrecarga y que exceden las cargas consideradas en su diseño.

- **Determinación del Índice de condición estructural en puentes**

A partir de las inspecciones visuales rutinarias realizadas, el Sistema de Puentes Mexicanos (SIPUMEX) califica su condición estructural. El índice de condición estructural puede tomar valores entre 1 y 5. Donde 1 es un estado en excelente condición, mientras que el 5 indica una condición estructural crítica que requiere acción inmediata (publicación 399, SCT, IMT 2014). En la gráfica 5 se muestran los índices de condición estructural para los puentes en México.



Gráfica 5. Índice de condición estructural

Fuente: Publicación técnica 399 SCT, IMT 2014

Se puede resaltar que el 21% del inventario de puentes tiene un índice de condición estructural mayor a 3, por lo que requieren ser intervenidos para su reparación en un plazo no mayor a 5 años.

- **Causas de fallas en puentes**

Las fallas pueden ser causadas por factores naturales y factores humanos, o la combinación de estos. Dentro de las causas más comunes de una falla se encuentran las debidas a factores naturales, como lo son las inundaciones, las cuales provocan socavación e inundación de tableros. Con base en el trabajo de Reza Choudhury & Hasnat (2015) los principales mecanismos y causas de falla se presentan a continuación.

Factores naturales:

- **Terremotos**, producen comúnmente daño por flexión - cortante en las pilas de puente, fallas de las juntas de expansión, deslizamiento de vigas en direcciones transversales o

longitudinales, y licuefacción del suelo, comprometiendo la capacidad de carga de las cimentaciones.

- **Vientos**, inducen fuerzas y vibraciones que resultan en un gran número de fallas, debido a la inestabilidad Aero elástica, en sus dos modos de inestabilidad estática. Se inducen oscilaciones flexionantes y torsionantes. Estas vibraciones son creadas por diferentes tipos de oscilaciones como lo son los fenómenos de flutter, buffeting y oscilaciones forzadas por vórtices.

- **Ciclones**, producen fuerzas hidrodinámicas causadas por una tormenta. Al combinar la elevación del nivel de agua y la alta velocidad del viento, puede ocurrir el golpeteo de la superestructura por estas fuerzas, provocando que los tableros salgan de sus apoyos, por esto la importancia de las conexiones entre la superestructura y la subestructura del puente.

- **Socavación**, fenómeno que provoca la erosión del lecho del río, exponiendo la cimentación de la estructura de puente, reduciendo la resistencia lateral del suelo que contiene a la cimentación, aumentando la deflexión lateral de la cabeza de cimentación, llegando a producir pandeo y flexión de la cimentación.

- **Deslaves**, provocados principalmente por la saturación de agua, terremotos y erupciones volcánicas, puede ocasionar el movimiento de materiales (deslave), los cuales pueden golpear el puente dañándolo, incluso llegando al colapso.

#### **Factores humanos:**

- **Diseño y construcción**, el uso de materiales de calidad dudosa o métodos constructivos inapropiados, al igual que no considerar el entorno ambiental y recomendaciones generales de almacenaje, para evitar su deterioro, como por ejemplo el acero, el cual en un entorno húmedo se oxida deteriorando su calidad. A partir de la experiencia, se ha observado que varias fallas de puentes están relacionadas con un diseño pobre de las conexiones y especificación de detalles, al cambiar las características del proyecto y no revisar que sean compatibles con el diseño y consideraciones iniciales.

- **Sobrecarga**, se debe usualmente al tránsito de autotransporte sobrecargado, provocando problemas de fatiga en los componentes del puente, acortando la vida útil y en casos extremos causando directamente el colapso.

- **Colisión**, ya sea de embarcaciones o vehículos los cuales pueden dañar algún componente estructural del puente y ocasionar desde un defecto crítico hasta el colapso parcial o progresivo de la estructura del puente.

- **Mantenimiento e inspección**, la ausencia, generalmente debida a la falta de recursos, conduce al deterioro acelerado de la estructura del puente. El deterioro se debe a las cargas vivas, cargas muertas y al medioambiente. Este deterioro se agrava con el tiempo si no existen actividades de mantenimiento. Una gran cantidad de puentes, son diseñados con una vida útil de 100 años, tiempo que solo se logrará con un programa adecuado de mantenimiento y rehabilitación. Si bien, estas acciones no eliminan el deterioro si lo reducen a un nivel mínimo y aceptable que permite alcanzar la vida útil prevista.

- **Fuego**, puede ser causado por diversas fuentes como la colisión de tractocamiones, pipas de transporte de combustible, la colisión múltiple de vehículos o accidentes de construcción, produciendo una temperatura que puede alcanzar hasta 1000 C° los primeros 30 min. (Reza Choudhury & Hasnat, 2015), causando el desprendimiento del concreto y el pandeo local de los miembros de acero, disminuyendo su capacidad de carga, lo que puede ocasionar colapsos parciales o totales de la estructura.

- **Determinación de la vulnerabilidad y riesgo en puentes**

Riesgo (H) es la probabilidad de ocurrencia de un evento o fenómeno perturbador, en un periodo de tiempo de retorno que depende la naturaleza de este. La vulnerabilidad (V) es la probabilidad de falla de un bien expuesto, dado un riesgo. Los valores de H y V se calculan de forma separada con las tablas 6 y 7, respectivamente, y se utiliza la combinación de valores máximos H-V, que representan el peor escenario que se puede presentar de todas las combinaciones de riesgo y vulnerabilidad que pueden causar la interrupción del puente (Minaie & Moon, 2017).

Riesgos considerados	Valores de riesgo		
	1	2	3
	Fuera de una llanura de inundación de 500 años Categoría de diseño sísmico A (baja probabilidad de que un terremoto provoque licuefacción)	Fuera de una llanura de inundación de 100 años Categoría de diseño sísmico B, C (probabilidad moderada de terremoto que provoque licuefacción)	Dentro de la llanura de inundación de 100 años Categoría de diseño sísmico D, E, F (alta probabilidad de que un terremoto provoque licuefacción)
Socavación; escombros y hielo; colisión de buques; sismo - licuefacción; asentamiento; inundación	Bajo riesgo de huracán [ráfaga de viento de 3 s inferior a 90 mph (145 kph)]	Riesgo de huracán moderado [ráfagas de viento de 3 s de más de 90 mph (145 kph) y menos de 130 mph (210 kph)]	Alto riesgo de huracán [ráfaga de viento de 3 s superior a 130 mph (210 kph)]
	Sobre un canal no navegable	Canal navegable para buques de mediana altura	Canal navegable para grandes buques
	Situado a más de 800 km de la costa	Situado a más de 50 mi (50) km de la costa	Situado a menos de 50 millas (50 km) de la costa
	Sin potencial de socavación		
	No hay registros de terremotos, inundaciones o mareas de tormenta significativas	Una calificación del punto 113 de la NBI (socavación) de 5 o superior	Clasificación del punto 113 del NBI (socavación) de 4 o menos
		Registros de terremotos moderados, inundaciones o mareas de tormenta	Deriva y escombros observados en los muelles/estribos, historiales de flujos de hielo en la vía navegable

	Categoría de diseño sísmico A (baja probabilidad de daños sísmicos)	Categoría de diseño sísmico B, C (probabilidad moderada de daños sísmicos)	Categoría de diseño sísmico D, E, F (alta probabilidad de daños sísmicos)
<b>Sismo; fatiga; colisión de vehículos; sobrecarga; incendio</b>	No hay registros de terremotos significativos, ADTT menores de 5,000 (baja probabilidad de fallo por fatiga)	Registros de terremotos moderados, ADDT inferior a 10000 (probabilidad moderada de fallo por fatiga)	Registros de terremotos significativos ADTT más de 10000 (alta probabilidad de fallo por fatiga)
	No se extiende sobre una carretera	Se extiende sobre una calzada con ADTT inferior a 1.000	Se extiende sobre una calzada con ADTT superior a 1.000
	Situado a más de 32 km de la industria pesada	Situado a más de 16 km de la industria pesada	Situado a menos de 16 km de la industria pesada
	No hay antecedentes de sobrecarga, colisión o incendio bajo el puente	Historial de sobrecargas moderadas, colisión, incendio bajo el puente	Historial de alto nivel de sobrecargas, colisión, incendio bajo el puente

Nota: ADTT (tránsito diario promedio anual de vehículos)

Tabla 6. Valores sugeridos del riesgo en puentes (Minaie & Moon, 2017).

Vulnerabilidades consideradas	Valores de vulnerabilidad		
	1	2	3
<b>Seguridad geo hidráulica</b>	Se asienta sobre cimientos profundos o roca madre	Cimentación poco profunda sobre suelo cohesivo	Cimentación sobre bases poco profundas o suelo no cohesivo
	No hay evidencia de licuefacción en las cercanías del puente	Evidencia de licuefacción en las cercanías del puente	Evidencia de licuefacción en las cercanías del puente
	No hay antecedentes ni evidencia de socavación o asentamiento	Evidencia de socavación menor durante las inspecciones subacuáticas pasadas/actuales	Evidencia de socavones/subterráneos de moderados a significativos durante las inspecciones subacuáticas pasadas/actuales
	Cumple las normas actuales de protección contra el impacto de los pilares y la socavación	Sistema de protección de los pilares en buen estado	Sistema de protección de pilares ausente o en mal estado
	Superestructura por encima del nivel de inundación de 500 años	Superestructura por encima del nivel de inundación de 100 años, pero por debajo del nivel de inundación de 500 años	Sistema de protección de pilares por encima del nivel de inundación de 500 años
No hay inclinación de los elementos de la subestructura	Inclinación menor de los elementos de la subestructura	superestructura por encima del nivel de inundación de 500 años	

años, pero por debajo de la llanura de inundación de 100 años

Inclinación significativa de los elementos de la subestructura

<b>Seguridad estructural</b>	Cumple todas las especificaciones de diseño actuales	Puede no cumplir con las especificaciones de diseño, pero no afecta a la integridad y capacidad estructural	No cumple las normas actuales
	La estructura presenta una redundancia bidireccional	construido simplemente con capacidad de distribución transversal	Construcción simplemente soportada con mínima capacidad de distribución transversal
	20 años o menos desde su construcción o renovación importante	50 años o menos desde su construcción o renovación importante	50 años o más desde su construcción o renovación importante
	Detalles de fatiga A y B	Detalles de fatiga C y D	Detalles de fatiga E y E'
	Rodamientos de neopreno	Apoyos de placa de acero	Cojinetes de balancín; dependencia de la fuerza intrínseca; cordones de pretensado expuestos; detalles de pasadores y colgadores
	No hay evidencia de daños estructurales	Evidencia menor de daño estructural dentro de la trayectoria de carga crítica	Evidencia de daños estructurales dentro de la trayectoria de carga crítica
	No hay historial de desplazamientos excesivos, vibraciones, deformaciones, inclinación	Historial de desplazamientos o vibraciones significativos, deformaciones	Historial de desplazamientos o vibraciones excesivas, deformaciones, inclinación

Tabla 7. Valores sugeridos de vulnerabilidad en puentes (Minaie & Moon, 2017).

### 6.3 PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS

Prevenir los riesgos consiste en desarrollar métodos preventivos, que permitan reducir el impacto y sus posibles consecuencias ante la acción de fenómenos naturales como es el caso de los daños ocasionados por el fenómeno de socavación y sismos, que principalmente tienen más repercusiones, ocasionando daños y pérdidas en la infraestructura de puentes. Implementar estos métodos preventivos, permitirá mejorar las coberturas de los instrumentos financieros existentes para hacer frente a los desastres antes mencionados, y minimizar los costos y para la reparación o reposición de los bienes expuestos.

Contar con una base de datos actualizada de la infraestructura de puentes, que proporcione información actualizada del estado físico de los componentes de la infraestructura, permitirá priorizar las acciones correctivas y de modernización de la red, que servirá de base para incrementar la calidad y capacidad de la infraestructura vial acorde a las necesidades actuales, implementando nuevos estándares de diseño, seguridad vial, así como para mejorar desde la concepción de los proyectos nuevos por construir, con un enfoque preventivo que disminuya la vulnerabilidad y por consecuencia los riesgos asociados; ya que la falla de un puente, cualquiera que sea la causa, tiene un alto costo directo e indirecto para la sociedad. El objetivo de la respuesta es mantener a los riesgos en niveles de aceptabilidad, planteando acciones a corto, mediano y largo plazo.

#### **Prevención de riesgos hidrometeorológicos:**

Una de las principales causas de fallas en puentes en México se debe al efecto de la socavación. Algunas propuestas o acciones de prevención y mitigación para proteger los puentes se pueden clasificar en dos tipos: hidráulicas y estructurales.

**Hidráulicas:** Las del tipo hidráulico generalmente son temporales y su objetivo es modificar las líneas de corriente o resistir las fuerzas erosivas del flujo en un cauce. Estas medidas consisten en la construcción de estructuras u obras adicionales al puente, aunque generalmente son destruidas total o parcialmente, o arrastradas por el flujo de agua; si llegaran a sufrir algún deterioro, estas estructuras u obras adicionales deben someterse a reparaciones posteriores, lo que siempre resulta más económico y fácil que reparar un puente. Se requiere verificar su comportamiento durante las crecientes (figuras 32-34).

## Estructuras longitudinales



*Protección del talud del dique*



*Protección del talud de la orilla superior*



*Protección del talud de la orilla inferior*

*Figura 32. Estructuras hidráulicas longitudinales, (CENAPRED, Instituto de ingeniería UNAM, 2017).*

## Estructuras transversales



*Travesías de fondo*





*Espolones*



*Protección con sistemas de puntos fijos*

*Figura 33. Estructuras hidráulicas transversales, (CENAPRED, Instituto de ingeniería UNAM, 2017).*

### Protección local del puente



*Protección contra socavación por contracción*



*Protección contra socavación al pie de pilas*



*Protección de pilas y estribos con pantallas*



*Protección de pilas y estribos con gaviones*



*Protección de pilas y estribos con sacos rellenos*

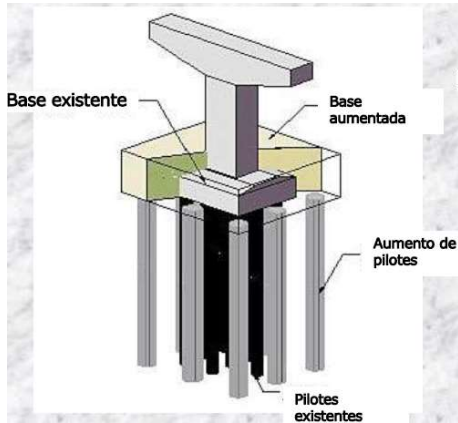
*Figura 34. Estructuras para protección local en puentes, (CENAPRED, Instituto de ingeniería UNAM, 2017).*

**Estructurales:** Las del tipo estructural generalmente están orientadas a mejorar las condiciones de la cimentación del puente. Se utilizan o aplican cuando la socavación ocasionada por el flujo de agua ha dañado o expuesto las pilas o elementos de la cimentación dejándolos sin soporte lateral, modificando las condiciones originales de diseño de la estructura. Se consideran medidas permanentes de protección, ya que restauran la integridad estructural del puente. Las medidas más utilizadas son: reforzar la cimentación y modificar la cimentación del puente. Sin embargo, hay casos en que es preferible no tomar ninguna acción particular y se sugiere reemplazar totalmente la estructura.

A continuación, se muestran algunas soluciones de tipo estructural, estas pueden ser reparaciones en seco y bajo agua, reforzamiento de la cimentación existente (figuras 35-36).



## Reforzamiento de cimentación existente



*Extensiones de la cimentación*



*Mejoramiento del suelo (jet groutin)*



*Modificaciones en el puente*



*Reemplazo de puente existente*

*Figura 35. Reforzamiento de cimentación existente, (CENAPRED, Instituto de ingeniería UNAM,2017).*

## Reparaciones en seco y bajo el agua



*Reparaciones en seco (Islas)*



*Reparaciones en seco (ataquías)*



*Reparaciones bajo agua (buceo especializado)*

*Figura 36. Reparaciones en seco y bajo agua en puentes, (CENAPRED, Instituto de ingeniería UNAM,2017).*

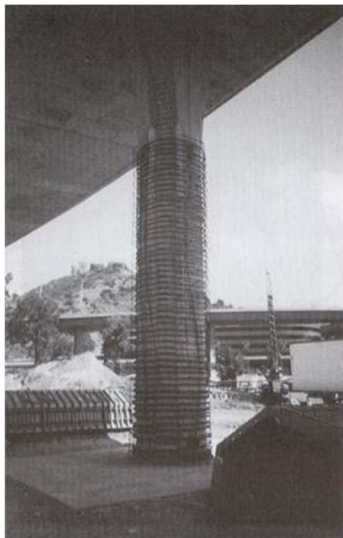
### Prevención de riesgos geológicos

Otro de los riesgos a la que está sujeta la infraestructura de puentes son los que pueden originar los sismos, en el país existe una gran cantidad de puentes con una antigüedad de construcción mayor a los 40 años, esto ha ocasionado que la infraestructura de puentes presente deterioro en sus elementos estructurales y no estructurales. Adicionalmente, los constantes cambios en las demandas de diseño sísmico especificadas en reglamentos de diseño de puentes y el incremento de las cargas vehiculares, hacen que muchos puentes no cumplan con los requisitos mínimos de seguridad especificados actualmente. Ante la ocurrencia de un sismo se pueden ocasionar daños que provoquen el colapso parcial o total de la estructura, por tal motivo es necesaria la rehabilitación o reforzamiento de la estructura para cumplir con los niveles de seguridad y de servicio durante su vida útil. Para esto los tres niveles de gobierno necesitan destinar recursos para llevar a cabo este tipo de trabajos.

A continuación, se muestran algunas soluciones de rehabilitación o reforzamiento de la estructura de un puente que permita prevenir y reducir los riesgos ocasionados ante la acción de un sismo.

#### *Encamisado de pilas con concreto reforzado o acero estructural*

Una de las técnicas de refuerzo tradicionales en la subestructura de puentes consiste en el encamisado de la sección transversal con concreto reforzado o acero estructural para aumentar su resistencia (figura 37).



*Figura 37. Encamisado de pilas de puentes con concreto reforzado (imagen izquierda) y con acero (imagen derecha) (fuente: Jara, J. M., 2015)*

### ***Refuerzo con materiales compuestos***

Los materiales utilizados son sintéticos como la fibra de vidrio, fibra de carbono y aramidas embebidas en una matriz de polímeros. Entre las ventajas de uso que tienen los materiales compuestos con relación a las técnicas tradicionales destacan las siguientes: alta resistencia a la tensión (se puede llegar a esfuerzos de falla de hasta 50000 kg/cm<sup>2</sup>), poco peso (de 75 a 130 kg/m<sup>3</sup>), facilidad de colocación y rapidez en la intervención de los puentes sin que, en muchas ocasiones, sea necesario detener el tránsito vehicular. El módulo de elasticidad de las fibras de vidrio y aramidas suele ser menor que el del acero y el de la fibra de carbono puede alcanzar valores similares (figura 38).



*Figura 38. Refuerzo de una trabe cajón con fibra de carbono (imagen derecha) y confinamiento con fibra en la base de columnas (imagen izquierda) (Fuente: Jara, J. M.,2015)*

### ***dispositivos de aislamiento sísmico***

Una alternativa atractiva para reducir la demanda sísmica en las pilas es la colocación de sistemas de aislamiento. Además de ser una alternativa cuando se desea mejorar la respuesta sísmica de puentes, los sistemas de aislamiento pueden también utilizarse para reducir la concentración de demandas sísmicas en pilas cortas de puentes con irregularidad en altura, donde normalmente la gran rigidez de estas pilas incrementa su demanda de fuerza cortante y por lo tanto suelen presentar daños sísmicos (figura 39).



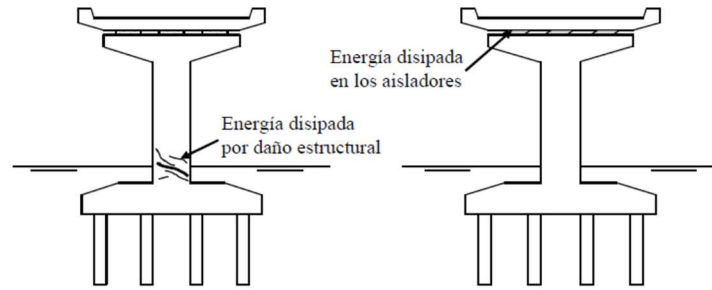


Figura 39. Comportamiento sísmico de la pila de un puente con un sistema de aislamiento (Fuente: Jara, J. M., 2015) y ejemplos de aplicación en puentes

## 6.4 TRANSFERENCIA DE LOS RIESGOS

De acuerdo con GAR (2011:108) los gobiernos tienen tres instrumentos estratégicos de gestión de riesgos de desastres: prospectivos, correctivos y compensatorios. Desde una perspectiva financiera, los gobiernos pueden adoptar tres estrategias para gestionar el riesgo de desastres: asumir el riesgo, asegurarlo y transferirlo a los mercados de capitales. La decisión sobre qué proporción del riesgo retener y cuánto transferir es una decisión política pública basada en consideraciones como el valor promedio anual de las pérdidas y las pérdidas máximas probables, el espacio o capacidad fiscal con que se cuente para invertir en reducción del riesgo, la aceptación social y política del riesgo y el acceso a la información.

Comúnmente, resulta más rentable para los gobiernos asumir los riesgos extensivos por debajo del umbral de retención que asegurarlos. Desde la perspectiva de los seguros, este nivel sería lo que se considera deducible o cantidad que los gobiernos han de cubrir con sus propios recursos. Es más rentable para un gobierno transferir los riesgos intensivos, entre el valor del deducible y el umbral de transferencia del riesgo, mediante seguros, reaseguros o crédito contingente. No es posible asegurar riesgos que superen el umbral de transferencia del riesgo: tales riesgos únicamente pueden ser transferidos a los mercados de capitales a través de instrumentos como los bonos de catástrofes.

Por su posición geográfica, México es uno de los países más expuestos a riesgos catastróficos como sismos, huracanes, heladas, granizadas, entre otros. El Atlas Nacional de Riesgos que elabora el Centro Nacional de Prevención de Desastres indica que 45% del territorio de nuestro país está expuesto a inundaciones y 40% está clasificado como zona sísmica, lo que impacta a casi 77 millones de personas. Lo más preocupante es que, pese a un incremento del riesgo y los claros pronósticos de las autoridades la mayor parte de la infraestructura privada y pública no cuenta con una cobertura por parte de una empresa aseguradora. Por lo tanto, los impactos por algún fenómeno perturbador pueden causar grandes pérdidas en las familias y desviar los presupuestos de los gobiernos estatales y federales para atender un desastre. Es indispensable que encaminemos a nuestro país para que sea más resiliente frente a los imprevistos, por ello es necesario impulsar el aseguramiento ante catástrofes para proteger viviendas, PyMes, MiPyMes y los bienes del Estado. Contar con la protección de un seguro contribuye a la resiliencia de nuestro país, Elegir una cobertura puede ser tan flexible como las necesidades (AMIS, 2021).

En México se han utilizado principalmente cuatro instrumentos financieros que utilizan recursos públicos para hacer frente a los daños ocasionados a la infraestructura ante la ocurrencia de algún fenómeno natural. Tres de estos son reactivos y solo uno preventivo, estos son:



- Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), (reactivo).
- Fondo para la prevención de desastres (FOPREDEN), (preventivo).
- Bonos catastróficos, (reactivo).
- Seguros, (reactivo).

Adicional a estos instrumentos financieros, el gobierno federal destina presupuesto para la conservación y mantenimiento de la infraestructura carretera. Se ha mencionado que el nivel mínimo de los recursos destinados a mantenimiento debe ser el 2% de la inversión inicial, sin incluir la reparación o reforzamiento, ya que estas son acciones correctivas no propiamente de mantenimiento ([SCT] y [IMT], 1994).

En una evaluación realizada en 1994, se determinó que el 60% de los puentes requerían acciones importantes de rehabilitación ([SCT] y [IMT], 1994). Para 2011 se destinó 0.11% del PIB en la inversión de mantenimiento de la red carretera, el cual es menor, comparando con el promedio de los países desarrollados como EE. UU. con 0.30%, y la región que destina mayor inversión en el mantenimiento de la infraestructura de transporte es Europa Oriental con 0.82% del PIB (SCT, 2011).

En la tabla 8, se desglosa la asignación de recursos y meta para cada programa que integra el programa nacional de carreteras 2021, se puede observar que para la conservación rutinaria de puentes se destinaron \$152,346,277.13 para una meta de 8,182 puentes; y para la reconstrucción de 32 puentes se asignaron \$446,910,982.60

SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS 2021		
PROGRAMA	ASIGNACIÓN	META
<b>I.- MEJORAR EL ESTADO FÍSICO DE LA RED</b>	<b>3,329,923,987.18</b>	
- RECONSTRUCCIÓN DE TRAMOS	109,620,000.00	35.00 km
- CONSERVACIÓN PERIÓDICA DE TRAMOS	3,220,303,987.18	1,963.08 km
<b>II.- MANTENER EL ESTADO FÍSICO DE LA RED</b>	<b>2,750,655,635.64</b>	
- CONSERVACIÓN RUTINARIA DE TRAMOS	2,598,309,358.51	40,646.57 km
- CONSERVACIÓN RUTINARIA DE PUENTES	152,346,277.13	8,182.00 puentes
<b>III.- INCREMENTAR LA SEGURIDAD</b>	<b>1,730,442,117.97</b>	
- RECONSTRUCCIÓN DE PUENTES	446,910,982.60	32.00 puentes
- CONSERVACIÓN PERIÓDICA DE PUENTES	60,891,329.71	65.00 puentes
- ATENCIÓN A PUNTOS DE CONFLICTO Y SEGURIDAD VIAL	106,684,370.80	11.00 pto.
- ATENCIÓN A FALLAS GEOLÓGICAS	6,000,000.00	1.00 falla
- OBRAS DE DRENAJE	6,432,769.62	4.00 pza
- SENALAMIENTO	1,103,522,665.24	
SENALAMIENTO HORIZONTAL	781,832,974.25	38,891.61 km
SENALAMIENTO VERTICAL	305,824,699.28	81,443.00 pza
BARRERAS DE PROTECCIÓN	15,864,991.71	17,280.00 m
<b>IV.- EST. PROY. ING Y SUP</b>	<b>420,316,322.21</b>	
- ESTUDIOS Y/O PROYECTOS	179,344,660.28	
- SEGUIMIENTO	240,971,661.93	
<b>V.- EMERGENCIAS 2020</b>	<b>1,101,000,000.00</b>	
CHIAPAS	600,000,000.00	452.65 km
TABASCO	501,000,000.00	112.33 km
<b>TOTAL</b>	<b>9,332,338,063.00</b>	

Tabla 8. Programa nacional de carreteras 2021

Fuente: Secretaria de Comunicaciones y Transportes: Programa de Trabajo 2021 (sct.gob.mx)

## Fondo de Desastres Naturales (FONDEN)

La actual administración del Gobierno Federal ha hecho nuevas reformas para operar el FONDEN, hasta la elaboración de este trabajo, aún no se tenían definidas las nuevas reglas de operación de estos instrumentos financieros. Cabe señalar que, el Fideicomiso público FONDEN era operado por BANOBRAS, mediante el cual se canalizaban los recursos del Programa FONDEN para la Reconstrucción. Una vez que el financiamiento quedaba aprobado para un fin específico, dichos recursos quedaban etiquetados en una subcuenta del Fideicomiso; el propio FONDEN también actuaba como autoridad contratante de seguros y otros instrumentos de transferencia de riesgos. Mientras que el Fideicomiso público FIPREDEN también operado por BANOBRAS canalizaba recursos provenientes del FOPREDEN hacia actividades preventivas, previamente autorizadas.

El Artículo 37 de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria (LFPRH) se establecía que, cada año, el FONDEN y sus diferentes componentes y mecanismos contarían con no menos de 0.4% del Gasto Programable. Si embargo, este artículo fue reformado en 2020, y este requerimiento fue eliminado. Es de señalar que el FONDEN era responsable de asignar recursos de acuerdo con sus reglas de operación y los recursos no utilizados, de los componentes presupuestarios del Programa FONDEN para la Reconstrucción o FOPREDEN, al término del año fiscal eran transferidos a los mecanismos financieros Fideicomiso FONDEN y FIPREDEN, respectivamente, como reservas a ser utilizadas en años subsecuentes. Este proceso de asignación de recursos se muestra en la figura 40.

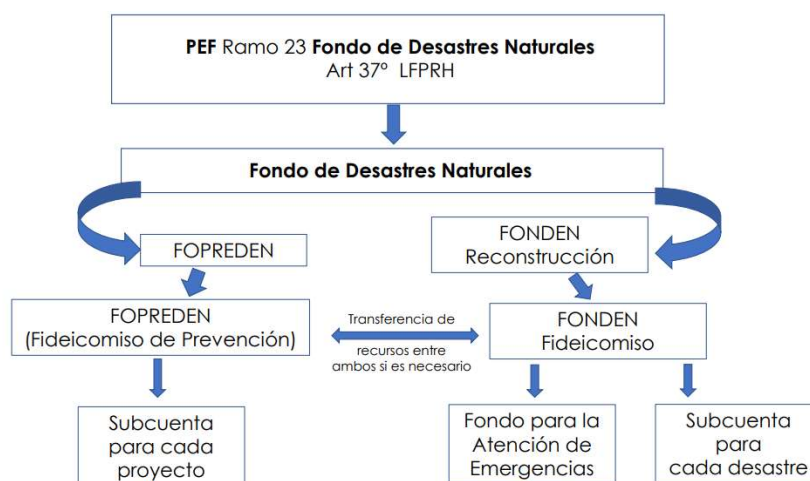
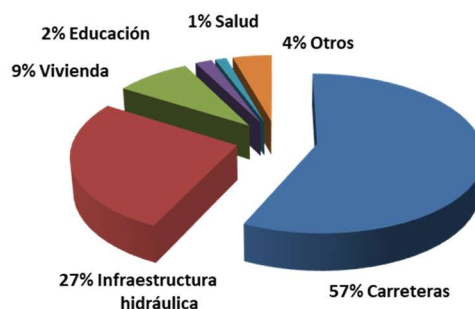


Figura 40. Proceso de asignación de recursos FONDEN. Fuente Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, con datos de SEGOB y SHCP

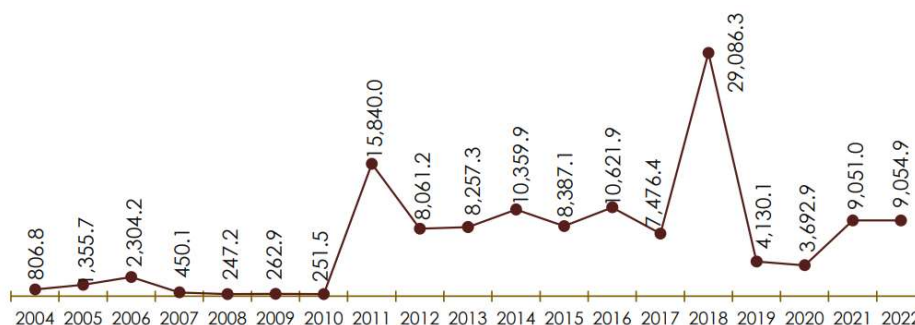
Información del CENAPRED indica que los costos de reconstrucción post desastre con cargo al Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), por tipo de activos en el periodo 2000-2011

(gráfica 6), muestran que el sector carretero es el que representa un mayor costo durante ese periodo con un 57% del total.



Gráfica 6. Costos de reconstrucción post desastre con cargo al FONDEN, por tipo de activos, 2000-2011 Fuente: CENAPRED. Subdirección de Estudios Económicos y Sociales

Con información de la SHCP, entre 2004 y 2022 los recursos del FONDEN crecieron a una tasa media anual real de 14.4 por ciento, registrándose el mayor presupuesto aprobado en 2018, dicho incremento obedece a la emergencia para la atención de la población dañada por los sismos ocurridos un año anterior (2017) y el segundo más significativo ocurrió en 2011, importa señalar que con información de la Cruz Roja, el 2010 está catalogado como el año más caótico de desastres naturales, sismos, lluvias, inundaciones y deslaves afectaron tanto a estados del norte como del sur del país, dejando miles de damnificados, en contraste los años con menores recursos aprobados fueron: 2007-2010 años en los que se consolidaron las reglas de operación, lineamientos y en consecuencia sus correspondientes fideicomisos (gráfica 7).



Gráfica 7. Pp N001 Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), PEF 2004-2022 Fuente: Fuente Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, con datos de SEGOB y SHCP

## Fondo para la prevención de desastres naturales (FOPREDEN)

Este Fondo tiene como finalidad proporcionar recursos tanto a las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal como a las entidades federativas, destinados a la realización de acciones y mecanismos tendientes a reducir riesgos, así como evitar o disminuir los efectos del impacto destructivo de los fenómenos naturales sobre la vida y bienes de la población, los servicios públicos y el medio ambiente.

### Bonos Catastróficos

Los bonos catastróficos son utilizados como recursos extraordinarios ante catástrofes significativas (baja probabilidad de ocurrencia con muy alto costo en daños). La cobertura total de este bono es de 315 millones de dólares, de estos, 115 millones de dólares son destinados para sismos y 175 millones de dólares para huracanes. Para detonar el pago del bono catastrófico están establecidos ciertos parámetros de los eventos que se deben cumplir.

Para el caso de los sismos se establecieron 5 zonas de cobertura en el país, que deben cumplir ciertos parámetros del evento sísmico como son: la ubicación, magnitud y profundidad (figura 41). Al cumplirse estos parámetros se detona el pago del bono catastrófico.

Zona	Magnitud	Profundidad
Zona A	$\geq 7.9$	$\leq 200$ km
Zona B	$\geq 8.1$	$\leq 200$ km
Zona C	$\geq 7.4$	$\leq 70$ km
Zona D	$\geq 7.6$	$\leq 200$ km
Zona E	$\geq 7.0$	$\leq 80$ km



Figura 41. Zonas y parámetros para la cobertura del Bono Catastrófico ante la ocurrencia de sismo  
Fuente: SAT, CENAPRED

Como dato reciente, el sismo de 8.2 ocurrido el 7 de septiembre de 2017, que afectó el estado de Chiapas y Oaxaca, dejando un total de 99 decesos y 408 municipios declarados como zona de desastre, el evento cumplió con lo establecido en los procedimientos de activación y confirmación de parámetros por el United States Geological Survey (USGS), en cuanto a la ubicación (epicentro), profundidad e intensidad, por lo que se detonó el pago del 100% del Bono Catastrófico por 2700 millones de pesos (figura 42)

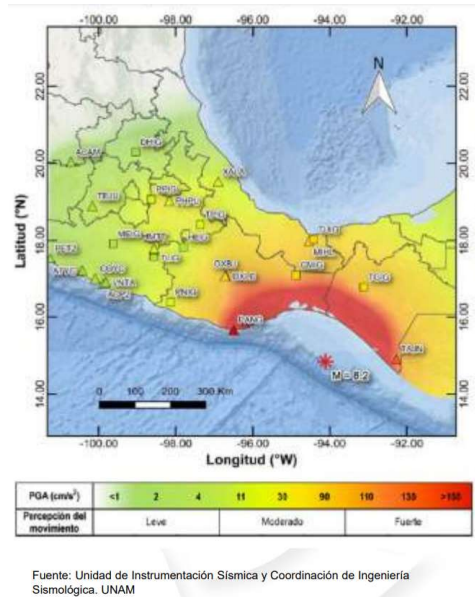


Figura 42. Mapa de intensidad sísmica, sismo 8.2, septiembre 2017

Para el caso de los huracanes se establecieron tres zonas geográficas en el país, que deben cumplir ciertos parámetros ante el evento de un huracán como son: la categoría del huracán, y la presión central (ver figura 43). Al cumplirse estos parámetros se detona el pago del bono catastrófico de 175 millones de dólares, que va del 50% al 100% para la zona de pacifico, y del 100% para Yucatán y Tamaulipas.

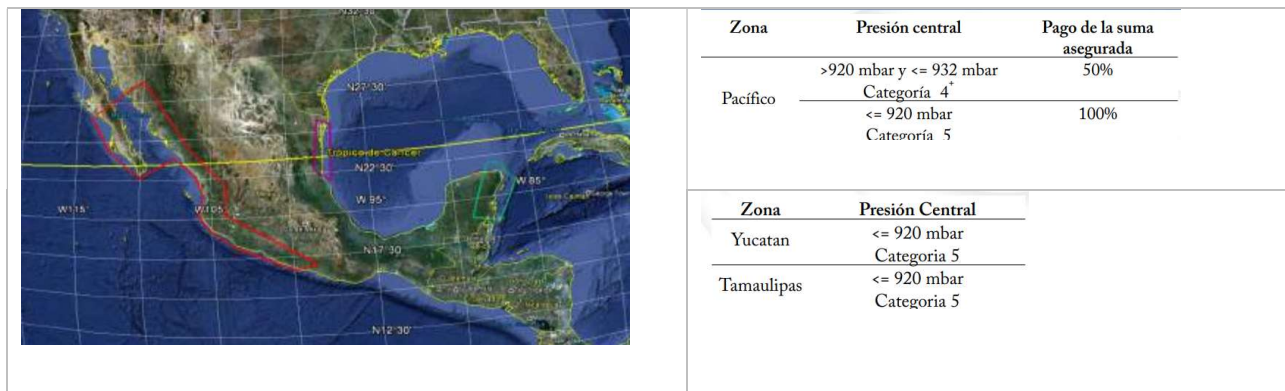


Figura 43, Zonas y parámetros para la cobertura del Bono Catastrófico ante la ocurrencia de huracán

Fuente: SAT, CENAPRED

## Seguro catastrófico del FONDEN

Todos los bienes susceptibles de ser apoyados con recursos del FONDEN estarían cubiertos; sobre éstos se determinaría el monto de las pérdidas en caso de la ocurrencia de un desastre. Los riesgos por cubrir son los amparados por FONDEN; en términos generales, éstos se agrupan en: geológicos, hidrometeorológicos e incendios forestales. La operación del seguro estará alineada a lo establecido en las Reglas y Lineamientos del FONDEN. Así, los eventos cubiertos serán aquellos que ampare una Declaratoria de Desastre. El esquema de seguro catastrófico vigente (figura 44) considera una cobertura por evento bajo las siguientes condiciones:

- Deducible de 300 millones de pesos por evento
- Cuando el evento supere el deducible, la diferencia entre el daño total y el deducible se acumula en una retención de 750 millones de pesos
- Una vez que se acumula la retención, se tiene una cobertura de 5000 millones de pesos por evento.

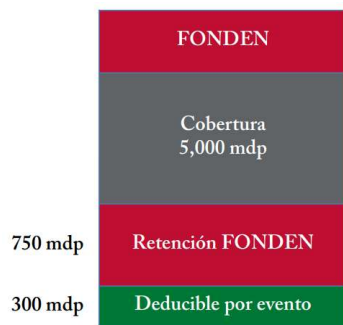


Figura 44. Esquema de operación de seguro catastrófico. Fuente: SHCP

En la figura 45 se puede observar de manera general como opera el FONDEN, para cada sector de la infraestructura pública, notándose que el sector carretero y el de vivienda son los que están cubiertos en su totalidad por el FONDEN ante los daños o pérdidas ocasionadas por algún fenómeno natural.

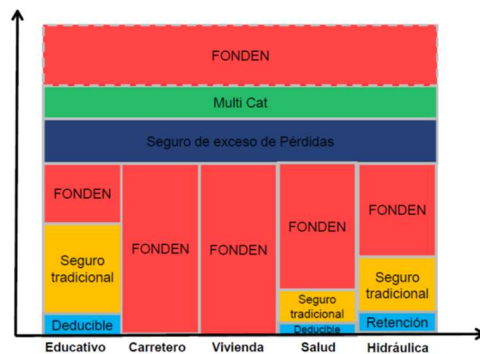


Figura 45. Esquema de operación del FONDEN para cada sector de la infraestructura. Fuente: SHCP



Es necesario que la SHCP cambie y mejore las estrategias de cobertura del FONDEN y de los seguros para el sector carretero, que permita reducir el gasto público ante desastres. Existe una propuesta de incorporación de los seguros tradicionales al sector carretero por parte de la SHCP, donde bien podrían incorporarse pólizas de seguro específicas para la infraestructura de puentes, implementando las obras de prevención y mitigación en los puentes ya construidos, descritos en el capítulo anterior, con la finalidad de disminuir la prima y maximizar la cobertura del seguro (figura 46).

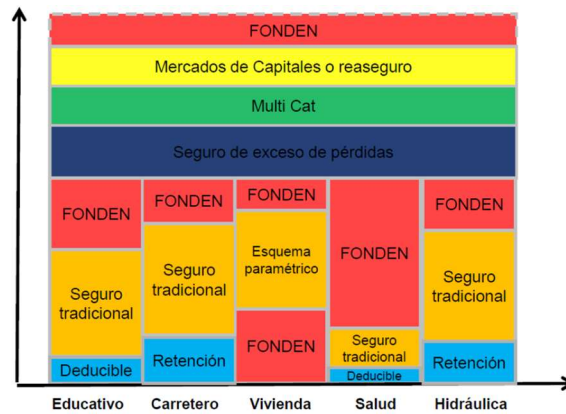


Figura 46. Mejora en el esquema de operación del FONDEN para cada sector de la infraestructura.  
Fuente: SHCP

## 6.5 EVALUACIÓN Y CONTROL

La evaluación y control dentro de la gestión de riesgos es importante para prevenir y corregir oportunamente los riesgos que pueden presentarse durante la operación de la infraestructura de puentes, para esto, es necesario identificar los elementos clave que intervendrán en los procesos durante las etapas de: prevención y reducción de los riesgos, y la de recuperación (tabla 9).

Etapa: Prevención y reducción de riesgos				Etapa: Recuperación	
Identificación de riesgos	Mitigación y prevención	Transferencia de riesgos	preparativos	Respuesta a emergencia	Rehabilitación y reconstrucción
Evaluación de amenazas naturales (frecuencia, magnitud y localización)	Obras de mitigación y reforzamiento estructural	Contratación de seguros y reaseguros para la infraestructura de puentes	Sistemas de alerta temprana y comunicaciones	Asistencia humanitaria	Reparación o reposición de puentes dañados
Evaluación de la vulnerabilidad (activos expuestos)	Planeación de la infraestructura carretera y actualización de normas y reglamentos de construcción	Utilización de instrumentos financieros como los bonos catastróficos	Planes de acción ante la declaratoria de desastre	Limpieza, reparaciones temporales y restablecimiento de comunicación	Incorporación de componentes de mitigación a las actividades de reconstrucción
Evaluación de riesgos (amenaza y vulnerabilidad)	Incentivos económicos para implementar las obras de mitigación Capacitación sobre riesgos y prevención	Participación del sector privado en la mejora y conservación de la infraestructura de puentes	Disponibilidad de recursos estatales y federales destinados para la atención de contingencia	Evaluación de los daños Transferencia de recursos para la recuperación	

Tabla 9. Elementos clave en la gestión de riesgos en puentes

Además de la identificación de los elementos clave descritos en la tabla 9, es necesario evaluar continuamente el estado físico y de operación de los puentes en México, un parámetro importante por evaluar durante la gestión de riesgos es la resiliencia, dato de interés que permitirá medir y tomar las decisiones necesarias para la rehabilitación y la transferencia de riesgos a través de instrumentos financieros y seguros. Algunas definiciones de resiliencia por diversos autores son las siguientes:



Bruneau et al. (2006), Definen la Resiliencia Sísmica, como la habilidad de un sistema, para reducir la probabilidad de un shock (abrupta reducción del comportamiento), así como absorber ese shock, si este ocurriera. Además, identifica que un sistema resiliente muestra las siguientes características:

- 1.- Reducción de la probabilidad de falla.
- 2.- Reducción de las consecuencias de la probabilidad de falla, en términos de pérdida de vidas, daños y consecuencias negativas sociales y económicas.
- 3.- Reducción del tiempo de recuperación (restauración del sistema específico o conjunto de sistemas, a su nivel normal de funcionalidad).

Bruneau también reconoce propiedades, características y medidas de la resiliencia, estas se mencionan en la tabla 10.

Propiedades de la resiliencia	Características de la resiliencia	Medidas de la resiliencia
Robustez	Disminuir la probabilidad de ocurrencia de una falla	Técnica
Redundancia	Reducir las consecuencias de una falla (en caso de ocurrir)	Operativa / organización
Inventiva	Reducir el tiempo de recuperación	Socialmente
Rapidez		Económicamente

*Tabla 10. Propiedades, características y medidas de la resiliencia (bruneau, 2006)*

### **Determinación de la resiliencia en puentes**

Minaie & Moon (2017), definen la resiliencia en puentes como la habilidad de un puente para mantener un nivel de robustez, durante y después de un evento extremo, y retornar al nivel deseado de rendimiento en el menor tiempo posible, para minimizar el impacto a la comunidad.

La evaluación física de la infraestructura de puentes de Ehsan Minaie y Franklin Moon plantea para el cálculo de la resiliencia, una recuperación simplificada en una sola etapa y medidas cuantitativas basadas en la severidad del daño provocado por el evento extremo. La cuantificación de la resiliencia, propuesta por los autores antes mencionados se puede aplicar para el caso de los puentes en México ya que se dispone de la información necesaria para su estudio y puede aplicarse a estructuras nuevas o existentes y de ser necesario se pueden realizar análisis más detallados posteriormente.

En su artículo se expresa a la resiliencia como la relación entre el área bajo el comportamiento post disrupción y el área bajo el nivel de comportamiento objetivo (se considera como el 100%, es decir, el comportamiento anterior al evento), para un periodo de control de un año (365 días), la cual se puede determinar mediante la siguiente expresión (ecuación 1):

$$R = \frac{\int_{t_0}^{t_0+365 \text{ days}} P(t)dt}{\int_{t_0}^{t_0+365 \text{ days}} P(100\%)dt} = 2.74 \times 10^{-5} \times \int_{t_0}^{t_0+365 \text{ days}} P(t)dt$$

*Ecuación 1. Cálculo de resiliencia (Minaie & Moon,2017)*

Donde:

$P(t)$ = comportamiento del puente;

$P(100\%)$  = comportamiento del puente al nivel 100% (no interrumpido);

$t_0$ = es el tiempo de ocurrencia del evento extremo (evento disruptivo);

$2.74 \times 10^{-5}$  es una constante, calculada con base en el área bajo el nivel del 100% del comportamiento dentro del periodo de control de un año, e incluso si el tiempo de recuperación excede este intervalo de tiempo. El tiempo en la ecuación está expresado en días.

Para utilizar la ecuación 1, se debe determinar el comportamiento del puente en función del tiempo  $P(t)$  y el tiempo de recuperación después del evento extremo ( $t_{rec}$ ). Para determinar el comportamiento del puente, se define a la pérdida inmediata de comportamiento posterior a un evento extremo o disruptivo, como la robustez del sistema o estructura de puente ( $P_R$ ). Esta se define como el producto del riesgo (H), la vulnerabilidad (V) y un factor de incertidumbre (UF), tal como se define en la ecuación 2. Por lo tanto, la robustez ( $P_R$ ) o comportamiento residual, después de un evento extremo se puede calcular como:

$$P_R = [100\% - \max (9.259 \times H \times V \times UF) \times I] > 0\%$$

*Ecuación 2. Cálculo de la Robustez (Minaie & Moon,2017)*

donde H es el riesgo, V la vulnerabilidad, UF es el factor de incertidumbre,  $I$  el factor de impacto del puente. La constante 9.259 se utiliza para poner a  $P_R$  en una escala de 0 - 100%. Riesgo (H) es la probabilidad de ocurrencia de un riesgo, en un periodo de tiempo de retorno que depende la naturaleza de este. La vulnerabilidad (V) es la probabilidad de falla, dado un riesgo. Los valores de H y V se calculan de forma separada con las tablas 6 y 7 (páginas 64 y

65), respectivamente, y se utiliza la combinación de valores máximos H-V, que representan el peor escenario que se puede presentar de todas las combinaciones de riesgo y vulnerabilidad que pueden causar la interrupción del puente.

Se hace uso del factor de incertidumbre (UF), entre 1 (para enfoque más objetivos) y 2 (para enfoques más subjetivos). Es aquí, donde se considera la evaluación física de la estructura que permite determinar la resiliencia, ya que en función del tipo de inspección será el factor de incertidumbre utilizado. El factor UF está dado en la tabla 11.

Prácticas de evaluación de puentes	Factor de incertidumbre UF
Inspección visual	1.20
Inspección visual y técnicas analíticas	1.10
Inspección visual, técnicas analíticas y ECM	1.00
Nota: ECM= evaluación no destructiva	

Tabla 11. Determinación del Factor de Incertidumbre (Minaie & Moon, 2017)

El factor de impacto (*I*) está basado en valores sociales del puente para la comunidad y su importancia en la red carretera (tabla 12).

Factor de Impacto (I)	Criterios
0.75	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El puente se encuentra en las rutas locales;</li> <li>• Los costos de sustitución son inferiores al 5% del presupuesto total de la agencia;</li> <li>• El puente no lleva líneas de servicios públicos;</li> <li>• El tráfico medio diario es inferior a 10.000 personas; y</li> <li>• La longitud del desvío es inferior a 3 millas el nivel de servicio en el desvío es A o B.</li> </ul>
1.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El puente está situado en el Sistema Nacional de Carreteras (NHS) o rutas estatales;</li> <li>• La sustitución cuesta más del 5% y menos del 25% del presupuesto de la agencia;</li> <li>• El puente transporta líneas de servicios públicos como fibra óptica, líneas de comunicación u otros servicios públicos de bajo riesgo (colocación);</li> <li>• Tráfico medio diario superior a 10.000 e inferior a 50.000; y</li> <li>• Longitud del desvío superior a 5 km e inferior a 16 km o el nivel de servicio en el desvío es C o D.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El puente está situado en rutas de evacuación, infraestructuras críticas infraestructura, la Red Estratégica de Carreteras o la red nacional para camiones;</li> <li>• La sustitución cuesta más del 25% del presupuesto de la agencia;</li> </ul>

1.25	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El puente transporta líneas de servicios públicos como electricidad, gas u otros servicios de alto riesgo (colocación);</li> <li>• Tráfico medio diario superior a 50.000 personas; y</li> <li>• La longitud del desvío es superior a 16 km (10 mi) O el nivel de servicio en el desvío es E o I</li> </ul>
------	--

*Tabla 12. Determinación del Factor de Impacto (Minaie & Moon,2017)*

Para el cálculo de la resiliencia, es necesario el cálculo del tiempo de recuperación ( $t_{rec}$ ) y el tiempo de control. El tiempo de control se propone sea de un año (365 días). El tiempo de recuperación de un puente después de un evento extremo está estrechamente relacionado con el área afectada y la severidad del riesgo, ya que estos determinan el acceso a servicios de emergencia y equipos de trabajo de reparación, así como el nivel del daño. Para tomar en cuenta estos factores, se utilizan para la severidad del riesgo ante los sismos las categorías de diseño sísmico de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO, por sus siglas en inglés) (AASHTO, 2007). Se considera en el coeficiente de aceleración espectral de diseño ( $S_{D1}$ ), que es el valor ajustado del coeficiente de aceleración espectral al tipo de sitio de ubicación del puente para un periodo de  $T_m=1$  s, (ver tabla 13). Para los huracanes se usa la escala de viento Saffir-Simpson sugerida por la National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA, 2019]. El área afectada, puede ser clasificada como aislada cuando un puente o parte de este se ve afectado, local cuando más de un puente de una red es afectado y regional cuando múltiples redes de puentes son afectadas.

Valor de $S_{D1}$ (g)	AASHTO SDC	Nivel de severidad propuesto
$S_{D1} < 0.15$	A	Bajo
$0.15 \leq S_{D1} < 0.30$	B	Moderado
$0.30 \leq S_{D1} < 0.50$	C	Severo
$0.50 \leq S_{D1}$	D	Catastrófico

*Tabla 13. Categorías de diseño sísmico AASHTO (Minaie & Moon,2017)*

El periodo de recuperación es complejo, por ejemplo, el National Institute of Standards and Technology [NIST] Vol. I (2016) y [NIST] Vol. II (2016), propone cuatro fases de restauración: fase 1, que corresponde a la evaluación y respuesta, se evalúa la extensión de los daños y comienza la recuperación; fase 2, restauración mínima a corto plazo, se tiene como objetivo restaurar la funcionalidad al 30% permitiendo el acceso a equipos de emergencia y de restauración; fase 3, restauración funcional intermedia, en esta etapa se tiene como objetivo el de restaurar a un 60% la funcionalidad, permitiendo la circulación restringiendo la carga y camiones por la red carretera, en esta etapa el tipo y tamaño de los puentes (por ejemplo,

claros cortos contra claros largos, o puentes tipo armadura contra puentes tipo viga-tablero) tienen una gran influencia en el tiempo de restauración de esta fase, el periodo de tiempo se estima de 12 meses; fase 4, restauración operacional a largo plazo, en esta fase la meta, es restablecer la funcionalidad al 100%, el tiempo para alcanzar este nivel de comportamiento depende del tipo de daño, en esta fase los trabajos de restauración no tienen planes de emergencia, sino que se aplican los esquemas tradicionales de construcción, pudiendo permanecer un nivel de daño para algunos eventos extremos. Algunas comunidades aprovechan estos eventos para mejorar sus comunidades y poder alcanzar un nivel de comportamiento mayor al anterior a la disrupción.

En el método propuesto por el artículo se considera una sola etapa de recuperación, la que abarca desde el inicio de la recuperación, hasta la recuperación operativa (100%), por simplicidad y practicidad se considera que el modelo de recuperación es continuo y lineal. Se propone el tiempo de recuperación como una función de los tiempos básicos de restauración y factores de ajuste como:

$$t_{rec} = t_{res} \times \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_b$$

*Ecuación 3. Tiempo de recuperación (Minaie & Moon,2017)*

donde  $t_{rec}$  = tiempo de recuperación,  $t_{res}$ = tiempo básico de restauración, para el cual se propone la tabla 14 en el mismo artículo;  $\alpha_1$ = es un factor de ajuste, el cual se toma de la tabla 15, con base en las prácticas de gestión de eventos extremos de la agencia (Freckleton et al., 2012). El factor  $\alpha_2$ = es un factor de ajuste basado en la historia de eventos extremos suscitados en el año anterior al evento extremo de análisis, el cual se presenta en la tabla 16;  $\alpha_b$  es un factor de ajuste que depende del tipo de puente, y sus valores se presentan en la tabla 17.

Área afectada	Severidad del riesgo			
	bajo	Moderado	Severo	Catastrófico
Aislado	1 día	2 semanas	6 meses	N/A
Local	3 días	6 meses	9 meses	N/A
Regional	1 semana	9 meses	12 meses	24 meses

*Tabla 14. Tiempos básicos de restauración (Minaie & Moon,2017)*

<b>Prácticas de Gestión de desastres</b>	<b><math>\alpha_1</math></b>
Al menos tres de los siguientes criterios	0.8
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programas educativos de preparación para eventos extremos, pruebas programadas y programas de simulacros;</li> <li>• Rutas de evacuación designadas;</li> <li>• Refugios designados;</li> <li>• Planes de gestión de eventos extremos y centros designados;</li> <li>• Primeros intervinientes equipados con las herramientas y el equipo necesarios para gestionar las condiciones posteriores al suceso extremo;</li> <li>• Contratistas de emergencia de guardia para la gestión de incidentes;</li> <li>• Acceso local a equipos, bienes y materiales para una restauración mínima:</li> <li>• Medios de transporte disponibles para las personas: &gt;2 [8-km (5-mi) de radio alrededor del puente];</li> <li>• Acceso a un número de instalaciones de emergencia (incluyendo urgencias, hospital, gasolineras): &gt;20 [8 km (5 mi) de radio alrededor del puente]; y</li> <li>• Gestión de la respuesta de emergencia (ERM)" Nivel III o superior.</li> </ul>	
No cumple los criterios anteriores	1.0
<p>*Niveles de gestión de la respuesta de emergencia (Freckleton et al. 2012):            Nivel I = agentes de policía que dirigen el tráfico; Nivel II = semáforos; Nivel III = cronometraje dinámico de señales de tráfico y medición de rampas; Nivel IV = cámaras de tráfico y señales de mensaje variable; Nivel V = sistemas inteligentes de transporte y sistemas avanzados de información al viajero.</p>	

Tabla 15. Factor de ajuste basado en las prácticas de administración ante eventos extremos de las agencias ( $\alpha_1$ ) (Minaie & Moon, 2017)

<b>Prácticas de contratación de la agencia</b>	<b><math>\alpha_2</math></b>
Sin historial de eventos perturbadores	1.0
Historia de eventos bajos	1.1
Historia de eventos moderados	1.2
Historia de eventos severos	1.4
Historia de eventos catastróficos	1.6

Tabla 16. Factor de ajuste basado en la historia de eventos extremos en los pasados 12 meses ( $\alpha_2$ ) (Minaie & Moon, 2017)

Tipo de puente	$\alpha_b$
Puentes de un solo vano [de hasta 15 m (50 ft) de luz], o de varios claros simplemente apoyados.	1.00
Puentes de tamaño medio [hasta 50 m (165 ft) de luz], múltiples vanos continuos, puentes móviles.	1.15
Puentes de gran envergadura [de 50 m (165 ft) a 150 m (500 ft) de claro]	1.30
Puentes complejos [generalmente de más de 150 m (500 ft) de claro]	1.50
Categorías de puentes del DOT de Pennsylvania (2015)	

Tabla 17. Factor de ajuste basado en el tipo de puente ( $\alpha_b$ ) (Minaie & Moon, 2017)

Con los valores de H, V, UF, I, se calcula la robustez del sistema al sustituirlos en la ecuación 2, que es la funcionalidad residual posterior al evento extremo. Con la ecuación 3 y con ayuda de las tablas para obtener los factores de ajuste y el tiempo básico de restauración, se obtiene el tiempo de recuperación. El tiempo de control se definió al inicio, y este se ve reflejado como un valor en días (365) en la ecuación 1. Conociendo que la funcionalidad objetivo es la funcionalidad anterior al evento, es decir, un 100%, y que se relaciona a la funcionalidad residual por medio del modelo de recuperación considerado como lineal, continuo y de una sola etapa, se sustituyen los valores obtenidos en la ecuación 1 y se obtiene la resiliencia de la estructura de la estructura de puente en porcentaje (%).

### Implementación de un sistema de gestión de puentes

Hacer una evaluación periódica del sistema de puentes permitirá conocer y predecir con certeza su comportamiento ante la ocurrencia de fenómenos naturales, permitiendo tomar la mejor decisión para elegir las opciones preventivas para el mantenimiento, reparación, refuerzo o en su caso sustitución del puente, además de transferencia de los riesgos, ejerciendo de manera eficiente los recursos públicos.

La SCT cuenta con un manual para la inspección de puentes publicado en 2018. En este manual, se detalla el procedimiento en que se deberán realizar las inspecciones a las estructuras, los recursos que se deben disponer para llevarlas a cabo, y el contenido de los informes que servirán para la toma de decisiones, es importante que dicho manual sea actualizado periódicamente ya que los elementos y sistemas constructivos que conforman a los puentes van cambiando, implementándose nuevas tecnologías en su diseño.

Para garantizar la seguridad y calidad de servicio de las estructuras es necesario contar con un Sistema de Gestión de Puentes (SGP). Sin embargo, esta gestión no debe limitarse a la

etapa de servicio del puente, se debe establecer desde la etapa de diseño y ejecución de la obra.

Los elementos básicos que debe conformar un SGP son los siguientes módulos básicos:

- 1) Inventario,
- 2) Inspección y evaluación,
- 3) Catálogo de daños,
- 4) Apoyo a las decisiones y la administración.

La implementación de este sistema debe ayudar al gestor a tomar decisiones concebidas con la información compilada durante las inspecciones realizadas, simulando diversos escenarios para poder pronosticar el nivel de conservación futuro de cada elemento y optimizar los recursos económicos, extendiendo la vida útil de los puentes y conservando un nivel de servicio adecuado.

Los componentes de un sistema de gestión de puentes se representan esquemáticamente en la figura 47

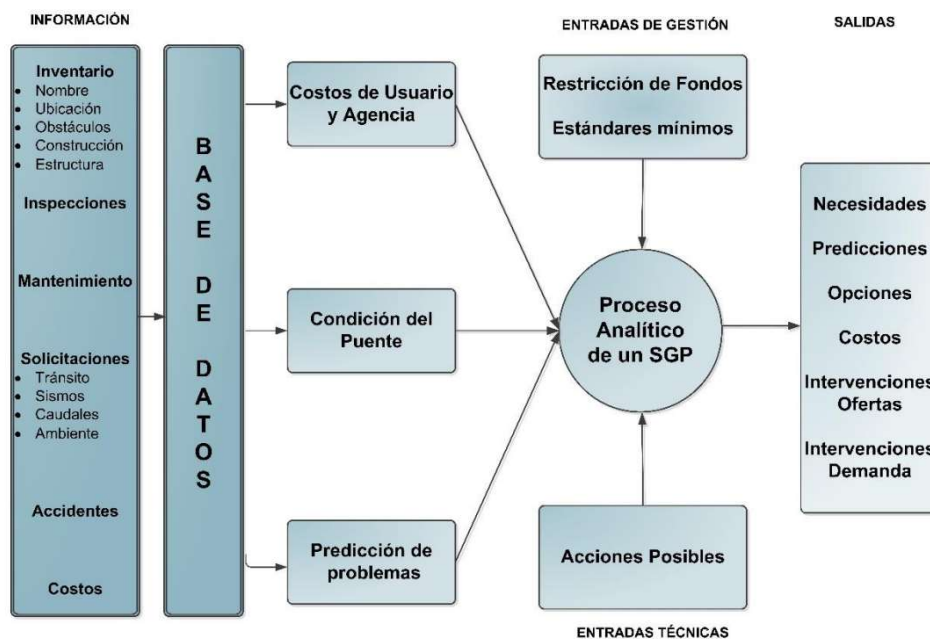


Figura 47. Componentes de un sistema de gestión de puentes (Austroads, 2002)

El funcionamiento de un sistema de gestión de puentes se basa en tres elementos:

- Inspecciones visuales de la estructura y sus alrededores. Este rubro es de vital importancia, la obtención de datos reales fidedignos y su actualización constante proveerán el insumo del principal para la generación de estadísticas y materiales de apoyo en la toma de decisiones.



- Determinación de la evolución del estado físico del puente en el tiempo, hacia el pasado mediante los registros del historial de reparaciones y hacia el futuro con base a modelos de deterioro probabilísticos o mecanicistas.
- Priorización del mantenimiento según las consecuencias de los posibles escenarios según el estado actual y futuro de las estructuras y el análisis económico de acciones de conservación de distinta magnitud durante la vida útil del puente.

A nivel global un sistema de gestión de puentes debe ser capaz de proveer:

- Información completa cuando se necesite, de las características estructurales y de funcionamiento de la estructura de cada puente (Inventario de Puentes).
- El Seguimiento detallado al comportamiento estructural de los puentes. (Historial de conservación y reparaciones)
- Facilidad en la evaluación y detección de daños, en especial, después de la ocurrencia de eventos extraordinarios (inspecciones visuales periódicas).
- Aumento en la eficiencia y eficacia de los trabajos de conservación y del ejercicio de su presupuesto.

A nivel particular un sistema de gestión de puentes debe:

- Considerar a la infraestructura como inversión.
- Administrar en forma eficiente la información.
- Organizar toda la información generada, de ser posible de una manera gráfica.
- Proporcionar información estadística necesaria para la elaboración de modelos económicos de la conservación de los puentes.
- Facilitar el manejo de la información mediante la generación automática de informes, realizando consultas selectivas de datos concretos y obteniendo estadísticas.
- Priorizar las estructuras a intervenir de acuerdo con su estado físico y su importancia.

La red carretera y de puentes en México es operada y administrada por diferentes entidades con requerimientos económico y financieros muy diferentes, existe la red federal de carreteras libres de peaje (Administrada por la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT a través del SIPUMEX), la red de autopistas de cuota (Administrada por BANOBRAS-CAPUFE con implementación parcial del SIAP proporcionado por la Dirección General de Desarrollo Carretero de la SCT), la red de autopistas concesionadas a particulares entre los cuales han implementado sistemas de administración individualizados, por lo que estas condiciones han restringido la implementación de un SGP único.

## 7. CONCLUSIONES

- Con base en la información de inspecciones visuales rutinarias realizadas a los puentes por parte de la SCT, se puede resaltar que aproximadamente el 21% del inventario de puentes tiene un índice de condición estructural mayor a tres, por lo cual requieren ser intervenidos para su reparación o reposición en un plazo no mayor a 5 años.
- También es importante mencionar que la edad promedio de los puentes en México es mayor a 40 años, esto implica que más del 50% de los puentes están en los límites de su vida útil y no cumplen con la normatividad de diseño y de cargas actuales que transitan por la infraestructura carretera, por lo que es necesario intervenirlos realizando obras de mitigación, reforzamiento estructural o reposición total del puente, para garantizar la operación y seguridad del sistema carretero ante la ocurrencia de algún fenómeno perturbador.
- Es necesario oficializar el uso de un Sistema de Gestión de Puentes único para todos los administradores responsables de infraestructura de puentes en el país, además de actualizar las normas y reglamentos de diseño, regular el control de pesos y dimensiones de los vehículos de carga que transitan por las carreteras y puentes.
- Los tres niveles de gobierno deben promover el aumento y uso eficiente de los recursos a través de instrumentos financieros e inversiones públicas y privadas, destinadas a la prevención y mitigación de riesgos, los países desarrollados como EE. UU. invierten un 0.30% del PIB en mantenimiento de su red carretera, y la región que destina mayor inversión en el mantenimiento de la infraestructura de transporte es Europa Oriental con 0.82% del PIB.
- El sector asegurador tanto público como privado basa sus estimaciones y contratos en modelos probabilísticos de pérdidas por riesgo; la gestión de riesgo se puede beneficiar de modelos que estimen el perfil de pérdidas y el impacto de las inversiones y de los proyectos en ese perfil de pérdidas; es decir, calcular el rendimiento financiero de las medidas y obras de mitigación aplicadas.
- Es necesario que los gobiernos locales y federal tomen una serie de medidas encaminadas a promover el desarrollo de mercados de seguros dentro de la infraestructura de puentes, implementando como política pública la prevención y mitigación de los riesgos en el diseño, planeación y operación de los proyectos.

- En la actualidad aún falta por hacer para que la infraestructura de puentes en México sea pueda considerar como resiliente, ya que los puentes existentes se diseñaron y construyeron basados en registros de clima y datos sísmicos disponibles en su momento. Esta situación los hace vulnerables ante los nuevos eventos extremos provocados por el clima, sismos, sobrecarga de vehículos, tránsito actual, errores constructivos y un deficiente mantenimiento. Por lo que, para alcanzar este objetivo, es necesario destinar los recursos necesarios para aplicar la gestión de riesgos correctiva o compensatoria como política pública en los proyectos de infraestructura y no solo una gestión de riesgos reactiva.
  
- Lograr que la infraestructura crítica como es el caso de los puentes sea resiliente, ayudará a reducir la brecha de desigualdad social que existe en nuestro país, ya que, por lo general, las clases sociales más desfavorecidas son las que sufren más las consecuencias ante la ocurrencia de los desastres naturales.
  
- La investigación realizada en este trabajo deja abiertas futuras líneas de investigación, donde se pueda mejorar, profundizar a detalle algún tema expuesto y se pueda replicar a otros tipos de infraestructuras, como el sector educativo, vivienda, salud, etc.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Altez Villanueva, L. F. (2009). Asegurando el valor en proyectos de construcción: un estudio de técnicas y herramientas de gestión de riesgos en la etapa de construcción.
2. Aragón-Durand, F. (2012). Análisis y diseño de medidas e instrumentos de respuesta del sector asegurador ante la variabilidad climática y el cambio climático en México. *Policy Report PNUD, INE*.
3. Australiano, E. (1999). Administración de riesgos. AS/NZS, 4360(1.999).
4. Cardona, A., & Darío, O. (2009). La gestión financiera del riesgo de desastres, instrumentos financieros de retención y transferencia para la Comunidad Andina (No. CIDAB-S598-C3g). Comunidad Andina Secretaría General Proyecto PREDECAN.
5. Carlos, J., & Luna, C. (2018). Propuesta de Análisis del Riesgo de Desastres Naturales en puentes para la formulación de proyectos en el Perú, 2018.
6. CENAPRED, (2014). Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACIONDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF>
7. CENAPRED, (2015). Informe sobre los daños causados por el impacto del huracán Odile en la península de baja california
8. Comfort, Louise K. (Louise Kloos), 1935- , autor The dynamics of risk : changing technologies and collective action in seismic events / Princeton, New Jersey : Princeton University Press, [2019]
9. Covello, Vincent T., autor Risk assessment methods : approaches for assessing health and environmental risks / New York : Springer Science+Business Media, 1993
10. Delgado, H. D. J. (2010). Efecto de la sobrecarga en puentes con problemas de socavación en las pilas de soporte. SMIE, XVII Congreso de Ingeniería estructural.
11. Federation of European Risk Management Associations. (2003). Estándares de Gerencia de Riesgos. Ferma, 16.
12. Herrera, F. B., Sepúlveda, A. M., & Gutiérrez, C. P. (2011). Análisis exploratorio de la efectividad de coberturas de instrumentos derivados bajo las IFRS. *Contabilidad y Negocios*, 6(11), 5-20.
13. Infografía, “Desastres en México – Impacto Social y Económico”, Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED, México D.F., 2015.
14. Jara, J. M. (2015). Vulnerabilidad y refuerzo de puentes en zonas sísmicas. Academia de ingeniería México
15. Lavell, A. (2001). Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. *Consultado e/*, vol.11.
16. Minaie, Ehsan & Moon, Franklin. (2017). Practical and Simplified Approach for Quantifying Bridge Resilience. *Journal of Infrastructure Systems*. 23. 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000374.
17. Miranda, J. J. M. (2011). Gestión de proyectos. MMEditores.

18. Narváez, L., Pérez Ortega, G., & Lavell, A. (2009). La gestión del riesgo de desastres. Un enfoque basado en procesos.
19. Ortigón, E. (2005). Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas (Vol. 42). United Nations Publications.
20. Posner, Richard A., autor Catastrophe : risk and response / Oxford : Oxford University Press, [2020]
21. Primero, J. (2020). Introducción a la resiliencia de puentes en México (Licenciatura). Facultad de Ingeniería, UNAM.
22. Project Management Institute, Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos, (Guía del PMBOK®) – Sexta Edición, Project Management Institute Inc., 2017
23. Propuesta para la inclusión de la variable del riesgo de desastres en el análisis de proyectos de inversión pública en México [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2019]. Disponible en:  
[https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/Propuesta\\_para\\_incorporar\\_GRD.pdf](https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/Propuesta_para_incorporar_GRD.pdf)
24. Raz, T., & Hillson, D. (2005). A comparative review of risk management standards. Risk Management, 7(4), 53-66.
25. Rosengaus M., M., “Efectos destructivos de ciclones tropicales”, Fundación MAPFRE, Madrid, España, 1998.
26. Torres, Hernández, Zacarías, and Martínez, Helí Torres. Administración de proyectos, Grupo Editorial Patria, 2014. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/unam/detail.action?docID=3227735>.
27. Zeballos Cabrera, A. (2007). Información para la gestión de riesgo de desastres: Estudio de caso de cinco países: México (No. 25933). Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

#### **Páginas consultadas:**

1. [https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_de\\_Inspeccion\\_de\\_Puentes.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_de_Inspeccion_de_Puentes.pdf)
2. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/26325/GEC\\_0114.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/26325/GEC_0114.pdf)
3. <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>
4. [https://www.snieg.mx/DocAcervoINN/documentacion/inf\\_nvo\\_acervo/SNIGMA/Red\\_Nacional\\_Caminos/estadisticas\\_rnc\\_2020.pdf](https://www.snieg.mx/DocAcervoINN/documentacion/inf_nvo_acervo/SNIGMA/Red_Nacional_Caminos/estadisticas_rnc_2020.pdf)
5. <https://www.gob.mx/sct/es/archivo/documentos?idiom=es&order=DESC&page=1>
6. [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/PDF/DEC-PDF/Anuario\\_2019.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/PDF/DEC-PDF/Anuario_2019.pdf)
7. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/PEF\\_2019\\_281218.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/PEF_2019_281218.pdf)

8. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LFPRH\\_300316.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LFPRH_300316.pdf)
9. <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/455-RESUMENEJECUTIVOIMPACTO2020.PDF>
10. [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/estadistica/Principales-Estadisticas/PE\\_2020.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/estadistica/Principales-Estadisticas/PE_2020.pdf)
11. <https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/PDF/Documentos-2019-2024/SCT-PS-2020-2024.pdf>
12. <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/318-INFOGRAFADASTRESENMXICO-IMPACTOSOCIALYECONMICO.PDF>
13. <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-conservacion-de-carreteras/puentes-de-la-red-federal-de-carreteras/>
14. Assurance-Manual-Spanish.pdf (infrastructuretransparency.org)
15. Riesgo y Seguro en Obras de Infraestructura Civil (mapfrere.com)
16. [https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2018c/Documentos/Auditorias/2018\\_0399\\_a.pdf](https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2018c/Documentos/Auditorias/2018_0399_a.pdf)
17. <https://transparencialinea12.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/613/7ac/453/6137ac453d8bc829561096.pdf>
18. <http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/>
19. <https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#008>
20. [https://www1.cenapred.unam.mx/SUBCUENTA/23a%20SESI%C3%93N%20ORDINARIA/PUNTO\\_Proyecto\\_Puentes/Actividades%208.1,%208.2%20y%208.3/02%20Propuesta%20de%20mitigaci%C3%B3n/Propuestas%20de%20mitigaci%C3%B3n.pdf](https://www1.cenapred.unam.mx/SUBCUENTA/23a%20SESI%C3%93N%20ORDINARIA/PUNTO_Proyecto_Puentes/Actividades%208.1,%208.2%20y%208.3/02%20Propuesta%20de%20mitigaci%C3%B3n/Propuestas%20de%20mitigaci%C3%B3n.pdf)
21. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46001/1/S2000453\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46001/1/S2000453_es.pdf)
22. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/36DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACIONCINDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF>
23. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Planificaci%C3%B3n-y-protecci%C3%B3n-financiera-para-sobrevivir-los-desastres.pdf>
24. <https://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Tertulias/PresentacionNorlang1.pdf>
25. <https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2022/notacefp0122022.pdf>
26. <https://sitio.amis.com.mx/de-las-diez-catastrofes-con-mas-impacto-al-patrimonio-de-los-mexicanos-cuatro-son-huracanes-amis/>
27. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt250.pdf>

28. <https://docplayer.es/79538286-Puentes-en-mexico-sistema-de-gestion-francisco-javier-carrion-viramontes-instituto-mexicano-del-transporte.html>
29. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35894/1/S2013806\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35894/1/S2013806_es.pdf)