



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA**

**INFRAESTRUCTURA RESILIENTE: GOBERNANZA DEL RIESGO  
Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

**TESINA**

QUE PARA OBTENER EL:

GRADO DE ESPECIALISTA

EN:

**ESPECIALISTA EN CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA:

**VICTOR MANUEL CARBAJAL PIÑA**



DIRECTOR DE TESINA: **ING. GUILLERMO CASAR MARCOS**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX**

**2021**

# ACRONIMOS

**ANR:** Agenda Nacional de Riesgos

**CENAPRED:** Centro Nacional de Prevención de Desastres

**CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe

**CISEN:** Centro de Investigación y Seguridad Nacional

**CRED:** Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastre (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters)

**CRRP:** Perfil de Resiliencia Urbana (City Resilience Profiling Programme)

**EIRD:** Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres

**EM-DAT:** Base de Datos de Desastres de Emergencia (Emergency Events Database)

**FONDEN:** Fondo Nacional de Desastres Naturales

**GFDRR:** Fondo Mundial para la Reducción del Riesgo de Desastres (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery)

**IFRC:** Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies)

**IMT:** Instituto Mexicano del Transporte

**INEGI:** Instituto Nacional de Estadística y Geografía

**IPCC:** Panel Intergubernamental del Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)

**LGPC:** Ley General de Protección Civil

**LG-SAT:** Local Governance – Self Assessment Tool

**OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo

**ODS:** Objetivo de Desarrollo Sostenible

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**ONU:** Organización de las Naciones Unidas

**ONU-HABITAT:** Organización de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (Human Settlements Programme)

**PIB:** Producto Interno Bruto

**RESMARC:** Red Sísmica de Apertura Continental

**SCT:** Secretaría de Comunicaciones y Transportes

**SEDATU:** Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

**SINAPROC:** Sistema Nacional de Protección Civil

**SNPC:** Sistema Nacional de Protección Civil

**SSN:** Servicio Sismológico Nacional

**UNAM:** Universidad Nacional Autónoma de México

**UNESCO:** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

**UN DESA:** Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (United Nations Department of Economic and Social Affairs)

**UN DP:** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (United Nations Development Programme)

**UN DRR:** Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (United Nations Office for Disaster Risk Reduction)

**UN FPA:** Fondo de la Población de las Naciones Unidas (United Nations Fund for Population Activities)

**UN ISDR:** Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres (United Nations International Strategy for Disaster Reduction)

**WEF:** World Economic Forum

## RESUMEN

El mundo está cambiando. Hoy día las ciudades y las áreas metropolitanas representan más de la mitad de la población mundial de acuerdo a cifras de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Estas zonas urbanas están compuestas por densos y complejos sistemas de servicios interconectados, como tal, son centros neurálgicos del crecimiento económico, ya que contribuyen aproximadamente al 80 % del Producto Interno Bruto (PIB) mundial. Sin embargo, el crecimiento demográfico acelerado de las ciudades las ha hecho cada vez más complejas y con sistemas que, por su magnitud, las vuelven más vulnerables ante desastres de cualquier tipo (UNDP, 2018).

A lo largo de la historia, los desastres han perturbado la vida en los grandes asentamientos de las civilizaciones. El clima extremo y cambiante, los terremotos y las emergencias provocadas por las amenazas inducidas por el hombre o tipo biológico y sanitario, están ejerciendo cada vez más presión en la población y en la prosperidad de las ciudades.

La insuficiencia en el financiamiento y el escaso mantenimiento son otros factores que dan lugar a edificios y viviendas poco confiables, sistemas de agua y saneamiento inadecuados, y redes de transporte sobrecargadas. Dichos eventos adversos magnifican los desafíos que enfrentan estos sistemas, que de por sí son frágiles y se encuentran bajo presión. Estos factores necesitan ser tomados en cuenta en los futuros planes de desarrollo y ordenamiento territorial.

Nos enfrentamos al reto de construir ciudades seguras, resistentes y que mantengan un nivel aceptable de funcionamiento ante desastres naturales asegurando la integridad de sus habitantes y sus sistemas, por lo que será necesario establecer una red de actores con poder de decisión, coordinados, con capacidad de reaccionar oportunamente y que se integren a niveles locales, regionales y nacionales.

Como parte de una visión más general para hacer que las ciudades sean más resilientes y adaptables al cambio climático, se pueden aplicar estrategias para atender cada uno de los posibles desastres mediante políticas públicas orientadas a planificar y gestionar las amenazas bajo el concepto de gobernanza del riesgo.

Por tanto, promover la resiliencia debe significar reducir riesgos aumentando las capacidades y disminuyendo la fragilidad para implementar soluciones efectivas (ONU-HABITAT, 2017a).

**Palabras clave:** Riesgo, resiliencia urbana, gobernanza, reducción de desastres, cambio climático.

## ABSTRACT

*The world is changing. Today cities and metropolitan areas represent more than half of the world's population according to figures from the United Nations (UN). These urban areas are composed of dense and complex interconnected service systems, as such, they are the nerve centers of economic growth, since they use approximately 60% of the world's Gross Domestic Product (GDP). However, the rapid demographic growth of cities has made them increasingly complex and with systems that, due to their magnitude, make them more vulnerable to disasters of any kind.*

*Throughout history, disasters have disrupted life in the great settlements of civilizations. Extreme and changeable weather, earthquakes and emergencies caused by human-induced or biological and health threats are putting increasing pressure on the population and on the prosperity of cities.*

*Underfunding and poor maintenance are other factors that lead to unreliable buildings and homes, inadequate water and sanitation systems, and overloaded transportation networks. Such adverse events magnify the challenges facing these systems, which are themselves fragile and under pressure. These factors need to be taken into account in future development plans and land use planning.*

*We face the challenge of building cities that are safe, resistant and that maintain an acceptable level of operation in the face of natural disasters, ensuring the integrity of their inhabitants and their systems, so it will be necessary to establish a network of actors with decision-making power, coordinated, with capacity to react in a timely manner and to be integrated at the local, regional and national levels.*

*As part of a more general vision to make cities more resilient and adaptable to climate change, strategies can be applied to address each of the possible disasters through public policies aimed at planning and managing threats under the concept of risk governance.*

*Therefore, promoting resilience must mean reducing risks, increasing capacities and decreasing fragility to implement effective solutions. (ONU-HABITAT, 2017a),*

**Keywords:** *Risk, urban resilience, governance, disaster reduction, climate change.*

# PRESENTACIÓN

El presente documento se desarrolla a lo largo de cinco capítulos que exhiben la problemática que actualmente se vive a nivel mundial a causa del crecimiento poblacional en las zonas urbanas y como estas se pueden ver afectadas por el aumento tanto en intensidad como en frecuencia de los eventos catastróficos que pone en riesgo el desarrollo económico de las regiones.

En el primer capítulo se define el concepto de fenómeno perturbador y su clasificación, asimismo, se describen las componentes del riesgo y las características de cada uno.

El segundo capítulo refiere al marco conceptual de la resiliencia, para posteriormente referir a sus propiedades y presentarlas como ciudades resilientes, además se presentan los antecedentes en materia de gestión integral de riesgos.

Dentro del tercer capítulo se aborda el tema de ciertos programas voluntarios que son empleados para evaluar los indicadores de resiliencia, promovidas por la Organización las Naciones Unidas (ONU) y finaliza puntualizando el paso a paso de la metodología para obtener el Perfil de Resiliencia Urbana (CRPP) en México haciendo hincapié en la necesidad de homologar las herramientas existentes a las condiciones de nuestra región.

Para el cuarto capítulo se recalcan los efectos en términos monetarios que en las últimas han causado los fenómenos perturbadores y destaca la importancia de invertir en resiliencia, en muchos casos pudiendo reducir sus efectos incluyendo acciones básicas como son los programas ciudadanos para el consentimiento y la creación de instituciones que permitan regular los códigos de construcción mejorando la toma de decisiones, que son parte de los obstáculos que enfrenta la infraestructura resiliente.

Ya para finalizar, el quinto capítulo expone la importancia de la implementación de la tecnología en la resiliencia urbana a través de ejemplos alrededor del mundo como parte fundamental para el desarrollo y bienestar de la población mundial.

Este documento tiene el propósito de dar a conocer las herramientas existentes para que los tomadores de decisiones lleven a cabo los esfuerzos necesarios que en resumen y desde el punto de vista del autor representan las principales dificultades de para acceder a los recursos, y la homologación de índices de evaluación que se interconectan con las actividades productivas

## CONTENIDO

<b>ACRONIMOS</b> .....	2
<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	6
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	9
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>ASENTAMIENTOS HUMANOS</b> .....	11
<b>OCURRENCIA DE CATÁSTROFES</b> .....	14
<b>CAPÍTULO 1.- EL RIESGO</b> .....	16
<b>FENÓMENOS PERTURBADORES</b> .....	16
<b>FACTORES DE RIESGO</b> .....	17
FENÓMENOS DE ORIGEN NATURAL .....	17
FENÓMENOS DE ORIGEN ANTRÓPICO.....	18
<b>COMPONENTES DEL RIESGO</b> .....	22
<b>CAPÍTULO 2.- RESILIENCIA URBANA</b> .....	26
<b>GENERALIDADES</b> .....	26
<b>GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO</b> .....	29
<b>CAPÍTULO 3.- HERRAMIENTAS DE RESILIENCIA</b> .....	31
<b>CIUDADES RESILIENTES</b> .....	31
<b>INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA</b> .....	31
<b>PERFIL DE RESILIENCIA URBANA</b> .....	40
<b>METODOLOGÍA PARA REALIZAR PERFIL DE RESILIENCIA</b> .....	41
<b>CAPÍTULO 4.- INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA</b> .....	48
<b>IMPORTANCIA DE INVERTIR EN RESILIENCIA</b> .....	48
<b>CAPÍTULO 5.- TECNOLOGÍA RESILIENTE</b> .....	55
<b>EL ROL DE LA TECNOLOGÍA EN LA RESILIENCIA</b> .....	55

<b>SUMINISTROS INTELIGENTES Y DIGITALIZADOS .....</b>	<b>60</b>
<b>COMENTARIOS FINALES.....</b>	<b>63</b>
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>65</b>
<b>RELACIÓN DE FIGURAS .....</b>	<b>66</b>
<b>RELACIÓN DE TABLAS.....</b>	<b>67</b>
<b>RELACIÓN DE GRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS .....</b>	<b>68</b>



## JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (2015a) en el mundo, más del 50% de la población vive en ciudades, y dado que está prevista una proyección de crecimiento sustancial de la población urbana para las próximas décadas, existe la necesidad de contar con nuevas herramientas y enfoques que fortalezcan los gobiernos nacionales y locales, así como las y los ciudadanos para garantizar una mejor protección de los recursos humanos, económicos y naturales de nuestros pueblos y ciudades.

Actualmente está en auge el desarrollo de estrategias para ciudades resilientes, financiadas por el sector público y privado; por lo que contar con herramientas de evaluación de resiliencia y enfoques que fortalezcan las decisiones de los gobiernos, es de suma importancia. La resiliencia urbana se identifica como un criterio estratégico para la sostenibilidad integral de las ciudades (SEDATU, 2016a).

ONU-HABITAT está promoviendo un nuevo enfoque para implementar ciudades resilientes: el Programa de Perfiles de Ciudades Resilientes (CRPP, por sus siglas en inglés), es una métrica que provee a gobiernos nacionales y locales de herramientas necesarias para medir y aumentar la resiliencia frente al impacto de múltiples amenazas. El CRPP desarrolla un enfoque de planificación y gestión urbana amplio e integrado para elaborar perfiles y acompañar la resiliencia de una ciudad frente a los posibles peligros.

Por ello, y considerando que las ciudades son directa e indirectamente responsables principales del cambio ambiental global, pero al mismo tiempo son espacios donde ya se experimentan sus efectos, desde aquellos relacionados con la calidad del aire, hasta los que se asocian con el cambio climático (aumento del nivel del mar, incremento de las temperaturas, modificación de los patrones de lluvias, más frecuentes e intensos eventos hidrometeorológicos extremos, etcétera), se desarrolló el undécimo Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, que apuesta por transitar hacia ciudades, y en general a asentamientos humanos cada vez más inclusivos, seguros, resilientes y sustentables.

Uno de los propósitos del presente documento es evidenciar la necesidad de crear Ciudades Resilientes en México, ya que de los 2 mil 446 municipios que tiene el país de acuerdo a cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), solamente 18 municipios, están dentro del CRPP de la ONU-HABITAT, lo que representa un 0.80 % de los municipios, es decir, un 16.70% de la población mexicana (21,057,135 habitantes).

# INTRODUCCIÓN

Los servicios de infraestructura contribuyen al bienestar y al desarrollo de la sociedad de muchas maneras: pueden satisfacer las necesidades consideradas universalmente esenciales, tales como, el agua, el saneamiento, la energía eléctrica, el transporte, y las telecomunicaciones para mejorar la calidad de vida de las personas e incluso facilitar ambiciosos emprendimientos en áreas como el comercio o la tecnología.

A nivel global, todas las ciudades son vulnerables a impactos severos provocados por fenómenos de origen natural o antrópicos. Hoy en día, las ciudades y sus habitantes se enfrentan a más desafíos debido a los efectos de la urbanización masiva, el cambio climático y la inestabilidad política.

Desafortunadamente, la calidad y la adecuación de los servicios varían mucho de un país a otro. Los sectores y territorios con bajo desarrollo económico son vulnerables a los fenómenos a causa de los bajos niveles de inversión en infraestructura para la reducción de riesgos, inexistencia de protección social y ambiental, pobreza rural y urbana, segregación urbana, degradación ambiental, entre otros. Después de Asia, las Américas es el segundo continente más expuesto a la ocurrencia de desastres (CEPAL, 2014a). Esto se explica por la geografía y por el clima, pero también por la pobreza y desigualdad imperantes de la región.

Las amenazas naturales son un desafío para la fragilidad de nuestros servicios, que a su vez afectan el acceso a la atención de salud, la educación y los centros de trabajo, así como las cadenas de suministro. Eso significa menores ingresos para las personas, comunidades, empresas y regiones específicas.

Durante la última década, los desastres naturales han afectado a más de 220 millones de personas y han causado un daño económico de 100 mil millones de dólares por año, sin mencionar las pérdidas humanas que estos desastres han dejado a su paso (EIRD, 2017a).

De acuerdo a datos de la Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres (por sus siglas en inglés UNDRR), solo en 2016, hubo 108 países y territorios donde hubo por lo menos un desastre (54% del mundo). Sin mencionar que dichas ciudades que son golpeadas por desastres mayores pueden tardar más de una década en recuperarse y en alcanzar sus estándares “pre-desastre”.

## ASENTAMIENTOS HUMANOS

A principios de la segunda década del siglo XXI, las ciudades cubrían una superficie de entre el 0.2 y 2.7% del área global libre de hielo equivalente al 0.28 y 3.5 millones de km<sup>2</sup>, lo que les permitía adjudicarse alrededor del 80% de la riqueza, y consumir el grueso de energía y materiales, presionando con ello la transformación de la naturaleza más allá del espacio construido. (Delgado, De Luca y Vázquez, 2015a).

De acuerdo con la ONU, en 1950 se estimaba que la población mundial era de 2,600 millones de personas. En 1987 se alcanzaron los 5,000 millones de habitantes y, para 1999 los 6,000 millones de habitantes. En octubre de 2011, se estimaba que la población mundial era de 7,000 millones de personas. Las proyecciones esperan que la población mundial aumente en 2,000 millones de personas para los próximos 30 años, pasando de los 7,700 millones (census.gov 2021) que somos actualmente a los 9,700 millones para 2050, pudiendo llegar a un pico de cerca de 11,200 millones para 2100.



Figura 1. - Población mundial estimada por ONU.

Este crecimiento tan drástico se ha producido en gran medida por el aumento del número de personas que sobreviven hasta llegar a la edad reproductiva y ha venido acompañado de grandes cambios en las tasas de fecundidad, lo que ha aumentado los procesos de urbanización y los movimientos migratorios.

Estas tendencias tendrán importantes repercusiones para las generaciones venideras, por lo que el desarrollo sostenible dependerá cada vez más de que se gestione de forma apropiada el crecimiento urbano, especialmente en los países de ingresos medios y bajos que son los que liderarán el proceso de crecimiento poblacional.

La población actual tiene la siguiente distribución: 61% de la población mundial vive en Asia (4.700 millones), un 17% en África (1.300 millones), un 10% en Europa (750 millones), un 8% en Latinoamérica y el Caribe (650 millones) y el 5% restante en América del Norte (370 millones) y Oceanía (43 millones). China (1,440 millones) e India (1,390 millones) continúan siendo los países con mayor población. Ambos cuentan con más de 1,000 millones de personas y representan el 19% y 18% de la población mundial respectivamente (ONU, 2017a).

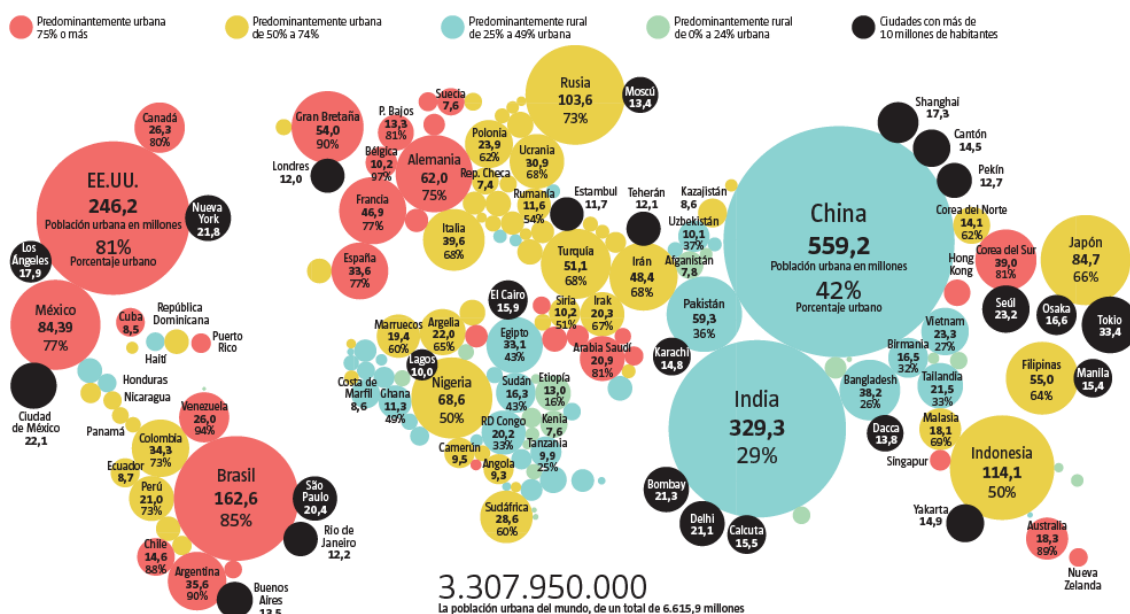


Figura 2. - Mapa urbano del siglo XXI (ONU FPA)

FUENTE: La Vanguardia, 2017a.

Se espera que, sobre 2027, India supere a China como el país más poblado del mundo. Por el contrario, se estima que China reduzca su población en 31,400 millones (un 2.2% menos) entre 2019 y 2050 (Perspectivas de Población 2019a).

Como en todas las proyecciones, existe cierto margen de error en cuanto a estos últimos datos.

El Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (por sus singlas en inglés UN DESA) ha lanzado un documento que prevé que el 68% de la población vivirá en zonas urbanas para el año 2050.

Uno de los criterios para distinguir la población urbana de la rural, es su función. La población rural tiene, como ocupación principal, cultivar la tierra; la urbana se dedica esencialmente al comercio y a la industria.

En México se sigue el criterio de considerar a una población urbana cuando la localidad tiene más de 2,500 habitantes; cuando son menos de 2,500 se considera como rural, sin tomar en cuenta el criterio señalado antes. Varios autores coinciden en calificar de arbitrario el límite numérico de 2,500, para distinguir una población de otra. De cada 10 habitantes mexicanos, siete viven en localidades con poblaciones mayores a 15 mil habitantes.

Entre ellos se encuentra Whetten (2003a), quien dice que, para que en México una población sea considerada urbana, debe tener, por lo menos, 10,000 habitantes.

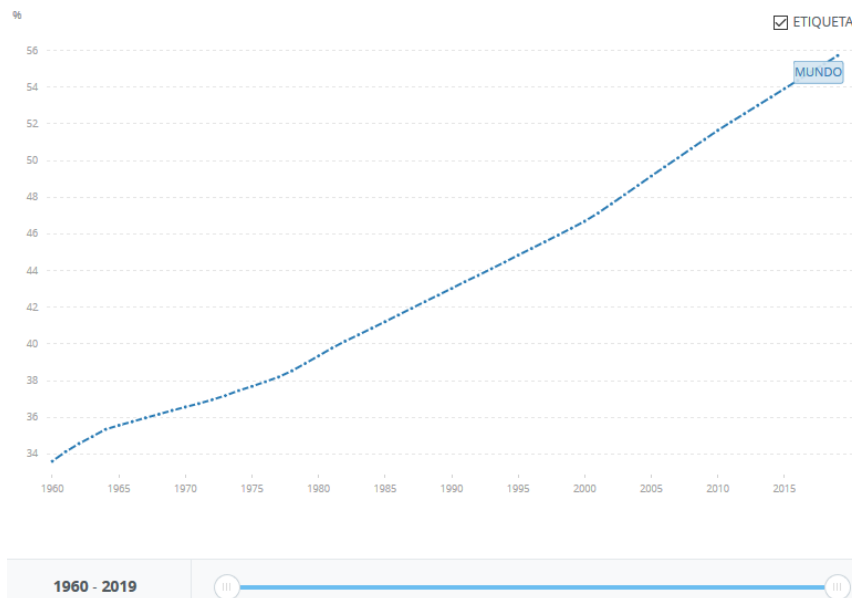


Figura 3. - Perspectivas del crecimiento de las zonas urbanas a nivel mundial (% del total).

FUENTE: Grupo Banco Mundial

Con base en el concepto de Whetten (2003a) y en los argumentos que expone; por considerar que está más cercano a la realidad de nuestro país, ya que la mayoría de las localidades con menos de 10,000 habitantes la actividad predominante es la agrícola, y que además no cuentan con los requisitos mínimos, tales como servicios públicos: de alumbrado, agua potable, drenaje, comunicaciones, y servicios médicos, sanitarios y de higiene suficientes; se considera valido el criterio de clasificar a la población urbana, aquella que cumple únicamente con el dato numérico de 10,000 habitantes, en tanto no se haga un estudio detallado de las características de la población de cada ciudad en México, que nos permita fijar un límite preciso.

## OCURRENCIA DE CATÁSTROFES

Vivimos en un mundo en el que las acciones humanas están elevando de forma constante el impacto de los desastres. Los desastres más importantes al respecto son la falta de voluntad y la ausencia de un compromiso político para lograr avances considerables para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual permite que el cambio climático desempeñe una función más activa en las pérdidas que ocasionarán los desastres en todo el mundo en un futuro cercano.

Cada contexto local y urbano es afectado de distinta manera, dependiendo de las amenazas que prevalecen en cada ubicación, así como de la exposición y las vulnerabilidades.

A nivel mundial el registro del número de catástrofes asociadas a la ocurrencia de eventos de origen natural está aumentando tanto en intensidad como en frecuencia, afectando negativamente a la población humana. (Figura 4 y Figura 5).

La grafica mostrada en la Figura 4, es el resultado que correlaciona al crecimiento de los asentamientos humanos (degradación ambiental) y el impacto de los desastres. El impacto de los desastres seguirá dependiendo en gran medida de la actividad humana en términos de exposición y vulnerabilidad.

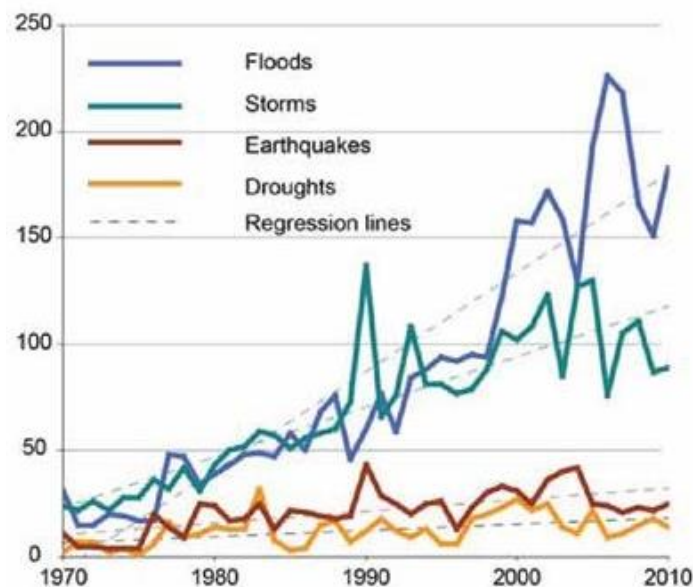


Figura 4.- Número de desastres registrados a nivel mundial.

Fuente: EM-DAT, CRED

De acuerdo con el Informe Especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (por sus siglas en inglés IPCC) sobre la Gestión de Riesgos de Eventos Extremos y Desastres para Avanzar en la Adaptación al

Cambio Climático, estos eventos extremos necesitan ser tomados en cuenta en los futuros planes de desarrollo y ordenamiento territorial idealmente más sustentables, resilientes, justos e incluyentes.

Entre 1998 y 2017 los desastres climáticos y geofísicos cobraron la vida de 1.3 millones de personas y dejaron un saldo de 4.400 millones de personas heridas, desplazadas, sin hogar o que necesitaron asistencia de emergencia (EM-DAT, CRED 2018a). Si bien la mayoría de las víctimas mortales se debió a eventos de origen geofísico, principalmente terremotos y tsunamis, las inundaciones, las tormentas, las sequías, las olas de calor y otros eventos meteorológicos extremos representaron el noventa y uno por ciento de todos los desastres ocurridos.

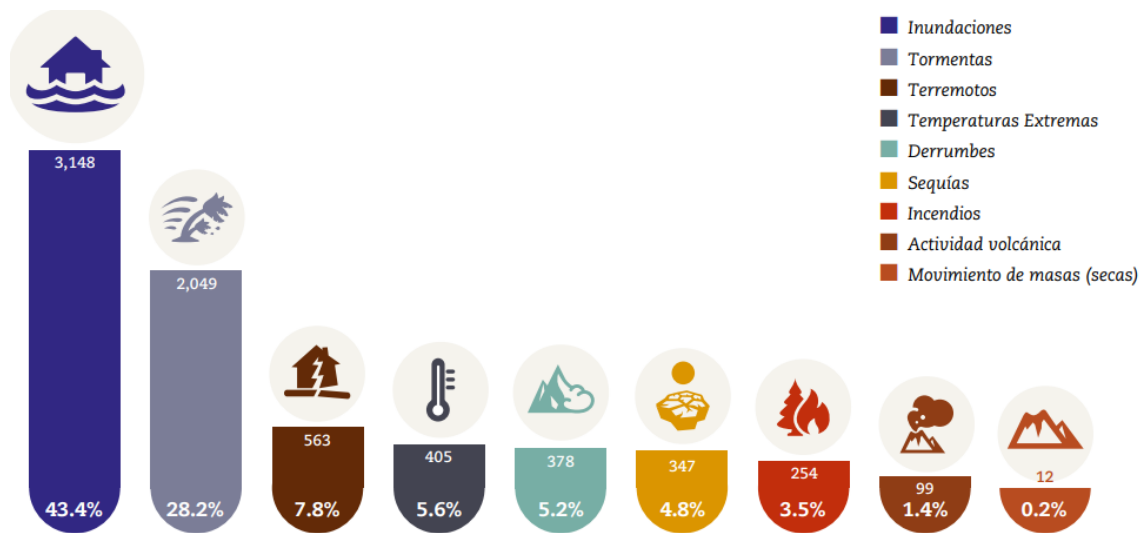


Figura 5.- Cantidad de desastres por cada tipo durante el período 1998-2017

Fuente: EM-DAT, CRED

Para 2030, sin inversiones significativas para hacer que las ciudades sean más resilientes, los desastres naturales podrían costar a las ciudades de todo el mundo \$314 mil millones cada año, y el cambio climático podría llevar a 77 millones más de residentes urbanos hacia la pobreza. (ONU-HABITAT, 2017a).

Estos costos humanos están presentes y son visibles a través de la alarmante cantidad de personas que todos los años deben desplazarse internamente debido a los desastres y que con frecuencia pierden sus hogares y sus medios de vida, tanto en eventos meteorológicos extremos como en terremotos.

Si no se toman en cuenta los riesgos en el desarrollo y el crecimiento económico, estos no serán sostenibles y pueden menoscabar los esfuerzos dirigidos a aumentar la resiliencia.

# **CAPÍTULO 1.- EL RIESGO**

## **FENÓMENOS PERTURBADORES**

Para la OMS, un desastre se define como una situación imprevista que representa serias e inmediatas amenazas para la salud pública o cualquier situación de salud pública que pone en peligro la vida o salud de una cantidad significativa de personas y exige la acción inmediata.

Para la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (por sus siglas en inglés IFRC) un desastre es un evento calamitoso, repentino o previsible, que trastorna seriamente el funcionamiento de una comunidad o sociedad y causa unas pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que desbordan la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación a través de sus propios recursos.

Estos desastres a los cuales nos referiremos como fenómenos perturbadores en lo subsecuente, depende de las condiciones específicas de un sitio en estudio según su ubicación geográfica, de los fenómenos per se que pueden coincidir con ésta y afectar negativamente, y de las condiciones de vulnerabilidad de los sistemas expuestos.

Debido a su ubicación geográfica y sus condiciones de vulnerabilidad física y social, México es un país altamente expuesto a desastres de gran magnitud que, a lo largo de su historia, han generado graves pérdidas humanas y económicas. En México, el Sistema Nacional de Protección Civil (SNPC) reconoce los siguientes agentes perturbadores de acuerdo con su origen:

- Fenómenos geológicos
- Fenómenos hidrometeorológicos
- Fenómenos químicos
- Fenómenos sanitario-ambientales
- Fenómenos socio-organizativos

Para identificar los fenómenos que afectan una zona en estudio, se debe recurrir a diferentes fuentes de información, tales como fuentes bibliográficas, hemerográficas y comunicación verbal.

La información histórica puede ser representada en mapas temáticos que pueden aprovechar las autoridades de Protección Civil para tener conocimiento de los sitios que son susceptibles de ser afectados por un fenómeno determinado; asimismo, es la base para estimar la frecuencia con que un fenómeno afecta una zona (CENAPRED 2001a). A continuación se describen las amenazas por los diferentes fenómenos naturales y antropogénicos, así como las características importantes a tomar en cuenta.



## FACTORES DE RIESGO

Como se estableció anteriormente, para que exista un riesgo debe haber un peligro que esté latente y una persona o grupo de personas que estén expuestas y sin capacidad para enfrentarlo (vulnerables). Sólo así puede conjuntarse la fórmula para formar un probable riesgo y, en su caso, una emergencia.

En ese sentido el riesgo se representa por los fenómenos perturbadores que representan un peligro para una población vulnerable. CENAPRED define como desastre al acontecimiento perturbador que puede impactar a un sistema afectable (población y entorno), así como transformar su estado normal, con daños que pueden llegar al grado de desastre.

De acuerdo con la Ley de Protección Civil, se puede entender como cualquier fenómeno que afecta y cambia a una población o un lugar y se clasifica en dos grupos:

- **Fenómenos de origen natural:** Surgen del cambio violento en la estructura de la corteza terrestre o alteraciones climáticas.
- **Fenómenos de origen antrópicos:** Se deben a la interacción del hombre con el medio y el grado de desarrollo alcanzado en dicha relación.

## FENÓMENOS DE ORIGEN NATURAL

### 1. Fenómenos Geológicos

Son los agentes perturbadores que tiene como causa directa las acciones y movimientos de la corteza terrestre. A esta categoría pertenecen los sismos, las erupciones volcánicas, los tsunamis, la inestabilidad de laderas, los flujos, los caídos o derrumbes, los hundimientos, la subsidencia y los agrietamientos.

### 2. Fenómenos Hidrometeorológicos

Son los agentes perturbadores que se generan por la acción de los agentes atmosféricos, tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías; ondas cálidas y gélidas; y tornados.

### 3. Fenómenos Astronómicos.

Son los eventos, procesos o propiedades a los que están sometidos los objetos del espacio exterior incluidos estrellas, planetas, cometas y meteoros. Algunos de estos fenómenos interactúan con la tierra, ocasionándole situaciones que generan perturbaciones que pueden ser

destructivas tanto en la atmósfera como en la superficie terrestre, entre ellas se cuentan las tormentas magnéticas y el impacto de meteoritos.

## **FENÓMENOS DE ORIGEN ANTRÓPICO**

### **1. Fenómenos Químico-Tecnológicos**

Son los agentes perturbadores que se generan por la acción violenta de diferentes sustancias derivadas de su interacción molecular o nuclear. Comprende fenómenos destructivos tales como: incendios de todo tipo, explosiones, fugas tóxicas, radiaciones y derrames.

### **2. Fenómeno Sanitario-Ecológicos**

Son los agentes perturbadores que se generan por la acción patógena de agentes biológicos que afectan a la población, a los animales y a las cosechas, causando su muerte o la alteración de su salud. Las epidemias o plagas constituyen un desastre sanitario en el sentido estricto del término. En esta clasificación también se ubica la contaminación del aire, agua, suelo y alimentos.

El impacto de la COVID-19 como enfermedad infecciosa causada por el coronavirus, es un ejemplo de fenómeno antrópico de tipo sanitario-ecológico que será más devastador en las zonas urbanas pobres y densamente pobladas, especialmente para el millón de personas que vive en asentamientos informales y en barrios marginales en todo el mundo.

Las catástrofes hacen aflorar las desigualdades. Aunque una catástrofe sanitaria, como el causado por la COVID-19, ataca a todos los estratos sociales por igual, ante una crisis de esta envergadura la desigualdad social se hace aún más evidente. El impacto de la pandemia tiende en la práctica a ser muy asimétrico, pues los medios de los que disponen los distintos países e individuos para afrontarla no son los mismos (UNESCO, 2020a).

### **3. Fenómeno Socio-Organizativos.**

Estos agentes se generan con motivo de errores humanos o por acciones premeditadas, que se dan en el marco de grandes concentraciones o movimientos masivos de población, tales como: demostraciones de inconformidad social, concentración masiva de población, terrorismo, sabotaje, vandalismo, accidentes aéreos, marítimos o terrestres, e interrupción o afectación de los servicios básicos o de infraestructura estratégica.

<b>Tipo</b>	<b>Fenómeno</b>
<b>Geológicos</b>	1. Vulcanismo
	2. Sismos
	3. Tsunamis
	4. Inestabilidad de laderas
	5. Flujos
	6. Caídas o derrumbes
	7. Hundimientos
	8. Subsistencia
<b>Hidro meteorológicos</b>	9. Agrietamientos
	10. Ondas cálidas y gélidas
	11. Sequías
	12. Heladas
	13. Tormentas de granizo
	14. Tormentas de nieve
	15. Ciclones tropicales
	16. Tornados
	17. Tormentas de polvo
	18. Tormentas eléctricas
	19. Lluvias extremas
<b>Químicos-tecnológicos</b>	20. Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres
	21. Incendios
	22. Explosiones
<b>Sanitario-ecológicos</b>	23. Derrames y fugas tóxicas
	24. Radiaciones
	25. Epidemias
	26. Plagas
	27. Contaminación del aire
	28. Contaminación del agua
<b>Socio-organizativos</b>	29. Contaminación del suelo
	30. Movimientos masivos (marchas, peregrinaciones)
	31. Grandes concentraciones (plantones, eventos políticos, sociales, culturales)
	32. Terrorismo
	33. Sabotaje
	34. Vandalismo
	35. Accidentes aéreos
	36. Accidentes marítimos
	37. Accidentes terrestres

Tabla 1.- Clasificación de los fenómenos perturbadores.

Fuente: Ley General de Protección Civil, Art. 2, Fracc. XXII-XXIII / DOF 06-06-2012a.

El World Economic Forum (WEF) publicó a principios del año 2020, el informe The Global Risk Report 2020, rumbo a la 50ª Reunión Anual del Foro Económico Mundial en Davos-Klosters, Suiza, bajo el lema Grupos de Interés Por un Mundo Unido y Sostenible. El encuentro congregó a los principales líderes empresariales, gubernamentales y de la sociedad civil para abordar los retos y oportunidades que supondrá la Cuarta Revolución Industrial, haciendo hincapié en la necesidad de un enfoque de múltiples partes interesadas para abordar los mayores desafíos del mundo.

De acuerdo con el WEF estos son los 5 mayores riesgos mundiales que mayor impacto pueden afectar:

- a) Eventos climáticos extremos con daños importantes a la propiedad, infraestructura y pérdida de vidas humanas.
- b) Daños y desastres ambientales provocados por el hombre, incluidos delitos ambientales, como derrames de petróleo y contaminación radiactiva.
- c) Pérdida importante de biodiversidad y colapso del ecosistema (terrestre o marino) con consecuencias irreversibles para el medio ambiente, lo que resulta en recursos severamente agotados para la humanidad, así como para las industrias.
- d) Fracaso de la mitigación y adaptación al cambio climático por parte de gobiernos y empresas.
- e) Desastres naturales mayores como terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas y tormentas geomagnéticas.

La 15ª edición del Informe de Riesgos Globales del WEF se publica a medida que se manifiestan los riesgos críticos. La economía mundial se enfrenta a un mayor riesgo de estancamiento, el cambio climático es cada vez más fuerte y más rápido de lo esperado, y el ciberespacio fragmentado amenaza todo el potencial de las tecnologías de próxima generación, todo mientras los ciudadanos de todo el mundo protestan por las condiciones políticas y económicas y expresan preocupaciones sobre los sistemas que exacerban la desigualdad.



Figura 6.- Panorama de Riesgos Globales 2020 de acuerdo al informe The Global Risk Report 2020.

Fuente: Foro Económico Mundial (2020).

## COMPONENTES DEL RIESGO

El riesgo se define como la probabilidad de que ocurran pérdidas o algún otro efecto dañino sobre sistemas constituidos por personas, comunidades y sus bienes, tales como edificaciones e infraestructura, en consecuencia de la ocurrencia de fenómenos naturales o antropogénicos.

El riesgo de desastre está en función de tres factores que son el peligro, la exposición y la vulnerabilidad. Estos elementos, en conjunto, conforman el riesgo. El riesgo se expresa en porcentaje de daño o un índice que va de cero a uno, y estos valores a su vez se pueden traducir a cantidad de pesos o dólares.

A continuación se definirá cada uno de estos factores.

**Peligro:** El peligro se define como la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino con determinada intensidad. El peligro se mide por la intensidad y el periodo de retorno o de recurrencia.

La intensidad es la fuerza con la que se presenta el fenómeno y sus efectos; mientras que el periodo de retorno es el lapso de tiempo promedio con que se repite un fenómeno con la misma intensidad.

**Vulnerabilidad:** La vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad de un sistema expuesto a sufrir daños por los efectos de un fenómeno perturbador y se evalúa a partir del número de pérdidas humanas de la población expuesta y del porcentaje de daño en los bienes. La vulnerabilidad puede ser de dos tipos: física y social.

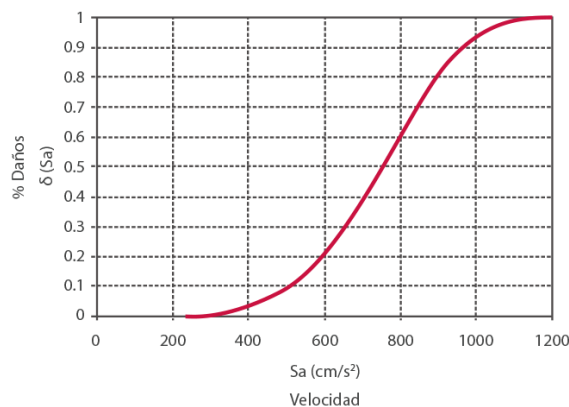


Figura 7.- Ejemplo de una gráfica de vulnerabilidad.

Fuente: Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos (CENAPRED, 2006a).

La *vulnerabilidad física* es fácil de representar y se calcula mediante funciones de vulnerabilidad que representan la resistencia y comportamiento del sistema expuesto.

Por mencionar un ejemplo, la vulnerabilidad de una construcción costera se podrá determinar a partir de su resistencia ante los vientos producidos por un huracán. Dichos valores de vulnerabilidad se dan a conocer en las curvas de vulnerabilidad elaboradas para cada fenómeno perturbador dentro de los *Reglamentos de Construcción*, los cuales proveen de las especificaciones de construcción necesarias para que la infraestructura a construir sea segura ante el impacto de los fenómenos perturbadores, por eso es necesaria su elaboración y aplicación.

En cuanto a la *vulnerabilidad social*, refiere a los aspectos económicos, educativos y culturales con los que cuenta la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad, en conjunto con la capacidad de prevención y respuesta de esta frente a un fenómeno perturbador.

Para este caso podemos mencionar a una comunidad que conoce y está consciente de los riesgos a la que está expuesta ante la inminente erupción de un volcán o la llegada de un huracán y para ello, se organiza elaborando sistemas de alerta y planes operativos de evacuación. Esta comunidad se considera que presenta menor vulnerabilidad con respecto a otra que no está enterada ni preparada de la misma manera.

**Exposición:** La exposición se refiere a la cantidad de personas, bienes y construcciones que se encuentran en el sitio donde impactará el fenómeno perturbador y que pueden ser dañadas.

Por lo general, la exposición se expresa en unidades monetarias, aunque es importante mencionar que no siempre se puede traducir en cuestiones económicas, sino también en kilómetros, número de viviendas y/o número de personas afectadas.

La exposición varía con el tiempo, ya que está estrechamente ligada con el crecimiento de la población y el desarrollo de las comunidades; así como con la infraestructura (edificios, puentes, caminos, etcétera), existe una tendencia de migración de las localidades rurales a las ciudades que siguen creciendo.

En el Artículo 83 de la Ley General de Protección Civil (LGPC) se establece que es responsabilidad de las autoridades federales y estatales promover acciones para la identificación de las zonas de riesgo en el país y establecerlas como zonas de reserva para evitar el desarrollo habitacional.

La exposición varía con el tiempo ya que está estrechamente ligada con el crecimiento y el desarrollo de la población; así como a la infraestructura que se van construyendo en determinados sitios a lo largo del tiempo.

Generalmente, los bienes y las construcciones suelen clasificarse por la función que tienen entre la población, por ejemplo, el sistema de transporte (infraestructura de caminos, puentes, señales), el sistema de salud (hospitales, clínicas), el sistema de educación (escuelas, edificios de oficinas del sector de educación).

En el ámbito de la Gestión del Riesgo cuando se hace referencia a estos sistemas, suelen referirse a ellos como sistema(s) expuesto(s).

Para calcular el riesgo, los expertos utilizan la siguiente función:

$$R = ( P E V )$$

Donde  $P$  es el peligro,  $E$  la exposición y  $V$  la vulnerabilidad, pues como recordaremos, el riesgo está en función de estos tres factores.

En el siguiente esquema se puede resumir los componentes del riesgo.



Figura 8.- Componentes del riesgo.

Fuente: SEDATU, con base en la Ley General de Protección Civil, 2015a.

Podemos entonces decir que, si se modifica cualquiera de las tres variables de la función de riesgo (peligro, exposición o vulnerabilidad), el riesgo cambiará; sin embargo, el peligro por fenómenos naturales no se puede controlar porque no se puede tener control sobre la naturaleza, al menos que sea un fenómeno de origen antropogénico.



La exposición es difícil de controlar, pues es difícil mantener un control ante el crecimiento de la población y la urbanización; lo que significa también el crecimiento de infraestructura y demanda de más servicios. Para controlar el sistema expuesto, se pueden adoptar medidas, como el no permitir los asentamientos humanos en zonas de peligro y la reubicación de las poblaciones que se encuentran en esas zonas; sin embargo, estas soluciones son complejas y costosas, aunque con la generación del Artículo 84 de la LGPC esto debe asumirse (aplicarse) en la planeación urbana.

La vulnerabilidad también se reduce cuando las capacidades de respuesta de una comunidad y el conocimiento de sus riesgos se incrementan, la organización de una comunidad con más equidad y participación social en la toma de decisiones ayudan a que el impacto de un fenómeno sea menor y provoque menos daños y pérdidas.

En conclusión, la vulnerabilidad es el único elemento que se puede manipular por medio de la implementación de diferentes estrategias que disminuyen la susceptibilidad de los fenómenos naturales o antropogénicos en la población y en sus bienes, por medio de reglamentos de construcción y la cultura de la gestión integral del riesgo.

<b>VARIABLE</b>	<b>¿CONTROLABLE?</b>
Peligro	Si / No
Exposición	Difícil y Costoso
Vulnerabilidad	Si

Tabla 2.- Control de variables de los componentes de riesgo

Una vez que se ha identificado y cuantificado el peligro, la vulnerabilidad y la exposición para los diferentes fenómenos perturbadores, es necesario completar el análisis a través de escenarios de riesgo, que se refieren a las representaciones geográficas de las intensidades o efectos causados por fenómenos perturbadores que puedan impactar.

Esto resulta de gran utilidad para el establecimiento y priorización de las acciones de mitigación y prevención de desastres que las autoridades y tomadores de decisiones deberán tomar en cuenta.

Como se identificó anteriormente, el riesgo se compone de tres factores (peligro, exposición y vulnerabilidad). Por ello, cuando se elabora un mapa de riesgo habrá que pensar en un mapa en donde estén representados esos tres factores.

Mapa de riesgo =

Mapa de peligro + Mapa de exposición + Mapa de vulnerabilidad

# CAPÍTULO 2.- RESILIENCIA URBANA

## GENERALIDADES

En la actualidad, la palabra resiliencia ha cambiado gradualmente su contexto de origen, para dar lugar a un concepto, utilizado por varias disciplinas para denotar la capacidad de un ente de resistir, adaptarse, recuperarse y prepararse ante un evento o situación crítica e inusual. De acuerdo a la Real Academia Española, la palabra resiliencia, proviene del inglés resilience, que deriva del latín resiliens,-entis, participio del presente activo de resilire 'saltar hacia atrás', 'rebotar', 'replegarse'.

La palabra resiliencia era utilizada en el área de la ingeniería para denotar la capacidad que tienen algunos materiales de absorber energía elástica y regresar a su estado original después de haber sido expuesto a fuerzas que intentan deformarlo.

Esta propiedad se mide a través del módulo de resiliencia, que es la energía de deformación por unidad de volumen que se requiere para deformar un material hasta el límite elástico. (Gere & Goodno, 1972a)

Fórmula para el cálculo del módulo de resiliencia en materiales se expresa de la siguiente forma:

$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \sigma d\epsilon$$

Para explicar este fenómeno, un ejemplo clásico lo encontramos en una liga que al ser estirada gracias a las fuerzas que actúan para deformarla y que, al interrumpirse su aplicación, la liga recobra su forma original, siempre y cuando no se rebase su límite elástico.

Este concepto puede ser clave para cerrar la brecha entre reducción de riesgo de desastre y la adaptación al cambio climático, considerando que existe un consenso razonable respecto a que el cambio climático ha incrementado en frecuencia e intensidad los fenómenos naturales perturbadores (Advancing Science, Serving Society, 2015a).

Siendo un concepto de origen ingenieril, el concepto de resiliencia se adoptó en otros campos de la ingeniería, como el diseño de pavimentos. En 1955 el ingeniero Francis N. Hveem desarrolló el tema "*Comportamiento Resiliente de los Pavimentos*" (IMT, 2001a); décadas después el concepto se adaptó a otras

disciplinas; En 1973, C.S. Holling incorporó este concepto a estudios sobre ecología como el de “*Resilience and Stability of Ecological Systems*”, en donde identifica la capacidad de sistemas ambientales y de ciertos organismos para resistir, adaptarse y recuperarse a situaciones inusuales.

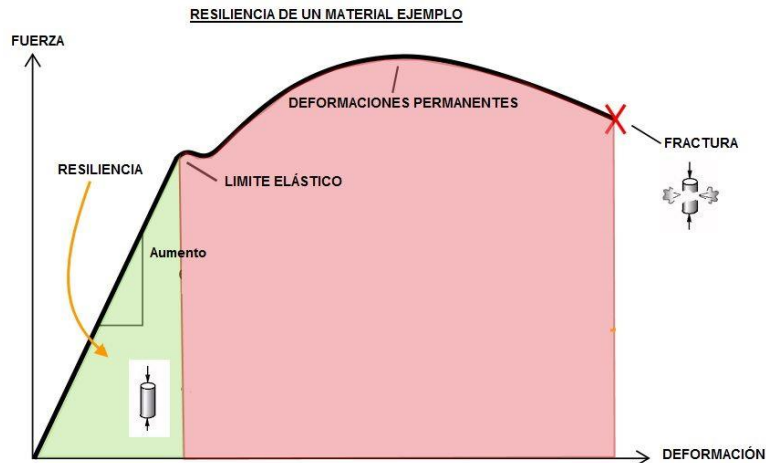


Figura 9. Esquema del módulo de resiliencia representado por el área sombreada

Fuente: Gere & Goodno, 1972.

A partir de su adaptación a los sistemas ecológicos, otras disciplinas han incorporado el concepto de resiliencia a sus campos de estudio, ejemplo de ello son la psicología, la economía, la sociología, la política, entre otros. Y a medida que los riesgos y la población urbana van aumentando a un ritmo muy acelerado, las ciudades enfrentan enormes desafíos ambientales, socioeconómicos y espaciales, el concepto de resiliencia ha ganado más prominencia en las agendas internacionales de desarrollo.

En los últimos años, el concepto de resiliencia se usa cada vez más en los círculos académicos y políticos, para denotar la capacidad que tiene un sistema de mantener continuidad después de un impacto o catástrofe mientras contribuye positivamente a la adaptación y la transformación. Las acciones de resiliencia están en aumento en la comunidad internacional, por lo que actualmente existe una gran cantidad de definiciones y clasificaciones del término.

Para la Ley General de Protección Civil (LGPC) la resiliencia es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesta a un peligro para resistir, asimilar, adaptarse y recuperarse de sus efectos en un corto plazo y de manera eficiente, a través de la preservación y restauración de sus estructuras básicas y funcionales, logrando una mejor protección futura y mejorando las medidas de reducción de riesgos.

La Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres (por sus siglas en inglés UNISDR) describió a la resiliencia (Ginebra, 2004a) como la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.

Por su parte, ONU-HABITAT define la resiliencia como: la capacidad de los sistemas urbanos para recuperarse rápidamente ante cualquier evento ocasionado por fenómenos perturbadores de origen natural o antrópico. Su propósito es evitar que un evento evolucione hasta convertirse en desastre.

Por tanto, promover la resiliencia debe significar reducir riesgos aumentando las capacidades y disminuyendo la fragilidad para implementar soluciones efectivas.

Cabe mencionar que ONU-HABITAT es el programa creado en 1973 que busca incrementar la resiliencia de las ciudades a los impactos naturales y provocados por el hombre, a través del City Resiliencia Profiling Programme (por sus siglas, CRPP), que ayuda a los gobiernos locales a desarrollar competencias para mejorar la resiliencia y desarrollar una planificación urbana más comprensiva e integrada.

Este hecho es extremadamente relevante debido a que, teniendo en cuenta que los grupos más vulnerables y pobres están más expuestos a las conmociones y pueden no tener los recursos necesarios para recuperarse. Las agendas de desarrollo que incorporen la resiliencia como concepto clave van a asegurar que no se deje a nadie atrás.

Derivado de las definiciones dadas, el *Perfil de Resiliencia* de una ciudad será una evaluación de referencia cuyo fin radica, precisamente, en medir su capacidad de recuperación después de un desastre. Por tanto, una ciudad resiliente es aquella que evalúa, planea y actúa para preparar y responder a todo tipo de obstáculos, ya sean repentinos o lentos de origen, esperados o inesperados a través del tiempo.

La apuesta no es menor, no solo debido a la diversidad de especificidades de cada ciudad y la complejidad del proceso mismo de construir estrategias concretas y exitosas, esto significa que tras el golpe de un fenómeno natural, podremos reanudar los servicios públicos y reestablecer las comunicaciones en menor tiempo para que las escuelas, los centros de trabajo y las familias vuelvan a sus actividades cotidianas.

## GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO

A través de los años, México ha ido avanzando en prevenir, atender y superar los impactos de la naturaleza. En ocasiones, lo hemos hecho así a partir del aprendizaje que la tragedia y el dolor de estos fenómenos nos han causado, pero cada vez más las y los mexicanos hemos asumido la responsabilidad de articular capacidades, para anticiparnos y estar preparados frente a ellos.

El ejemplo más claro de este esfuerzo se publicó el 6 de mayo de 1986 mediante Decreto por el cual se creó el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) un año después del sismo del 19 de septiembre de 1985 que afectó gravemente la Ciudad de México. Su propósito es realizar acciones coordinadas para proteger a la población de los peligros que se presenten en nuestro territorio, ya sean de origen natural, como los sismos o huracanes, o aquellos originados por la actividad humana que puedan eventualmente terminar en un desastre.

El funcionamiento del SINAPROC se basa en la capacidad de sus partes para trabajar de manera conjunta y de acuerdo con políticas congruentes, en especial dentro de los tres órdenes de gobierno de México. Por otra parte, permite la organización interinstitucional en la toma de decisiones relacionadas con la atención de los desastres y coordina las dependencias federales para una Gestión Integral de Riesgos.

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2013a), el SINAPROC ha mostrado avances importantes en los procesos de preparación, advertencia y atención a desastres. El análisis y las acciones relacionadas con la prevención y atención de desastres son labores de gran complejidad. Por ello, a nivel nacional se han fortalecido las iniciativas para una Gestión Integral de Riesgos.

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil, (2014a):

*“La Gestión Integral del Riesgo es el conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, considerándolos por su origen multifactorial y en un proceso permanente de construcción que involucra a los tres niveles de gobierno, así como a los sectores de la sociedad, lo que facilita la realización de acciones dirigidas a la creación e implementación de políticas públicas, estrategias y procedimientos integrados al logro de pautas de desarrollo sostenible, que combatan las causas estructurales de los desastres y fortalezcan las capacidades de resiliencia o resistencia de la sociedad. Involucra las etapas de identificación de los riesgos y/o su proceso de formación, previsión, prevención, mitigación, preparación, auxilio, recuperación y reconstrucción” ...*

Un paso fundamental, en ese sentido, era transitar de una visión predominantemente reactiva a una de mayor prevención y planeación. Asimismo era indispensable fortalecer la articulación entre instituciones y órdenes de gobierno, a fin de ser más eficientes en el uso de los recursos y más eficaces en el propósito fundamental de la Protección Civil: salvar vidas.

México, 35 años después, se ha convertido en referente mundial por la coordinación y articulación de los tres órdenes de gobierno en materia de Protección Civil, así como por sus avances en acciones de prevención de desastres, atención de emergencias y promoción de la cultura de la prevención como una práctica ciudadana.



El fomento de la resiliencia ante los desastres también es una dimensión fundamental de los recién aprobados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), marco que será labor importante para poner fin a la pobreza y promover el reparto de la prosperidad en un planeta sano de aquí a 2030.



Por lo anterior, el Gobierno de la República ha fortalecido las políticas públicas encaminadas a la mitigación de riesgos de desastres. A partir de 2016, la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) incluyó en el Programa de Prevención de Riesgos (PPR) un apartado acerca de los recursos financieros requeridos para instrumentar acciones que incrementen la resiliencia en las ciudades, tema que abordaremos en los siguientes capítulos.

## **CAPÍTULO 3.- HERRAMIENTAS DE RESILIENCIA**

### **CIUDADES RESILIENTES**

Al día de hoy, las ciudades y sus habitantes se enfrentan a más desafíos debido a los efectos de la urbanización masiva, el cambio climático y la inestabilidad política.

Por ello, existe la necesidad apremiante de construir nuevas herramientas y planteamientos que den poder a los gobiernos locales y a los ciudadanos, así como que incrementen su capacidad para afrontar nuevos desafíos protegiendo mejor a los humanos, y a los activos económicos y naturales de nuestros pueblos y ciudades. De esta forma, las ciudades están mejor preparadas para proteger y mejorar la vida de sus habitantes, para asegurar avances en el desarrollo, para fomentar un entorno en el cual se pueda invertir, y promover el cambio positivo.

### **INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA**

Como se ha mencionado a lo largo del presente documento, hoy día se cuenta con evidencia científica que respalda el aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos como resultado del cambio climático; además los de tipo antropogénicos, ambos clasificados como eventos que potencialmente pueden afectar el funcionamiento de la infraestructura de manera severa.

Muchos de los sistemas de infraestructura son geográficamente extensos y es prácticamente imposible proteger cada punto del sistema. Ante esta imposibilidad, una alternativa es que el sistema esté preparado para resistir interrupciones y recuperarse rápidamente.

Existe un consenso general de la necesidad de crear ciudades que puedan resistir ante los embates de agentes perturbadores, adaptarse a los cambios constantes y recuperarse ante desastres naturales y antrópicos manteniendo un nivel de funcionamiento aceptable, preparándose cada vez mejor a futuro, aprendiendo de eventos pasados.

Un reto importante en la actualidad es cómo medir la resiliencia de un sistema de infraestructura. Uno de los primeros intentos fue a través de una curva de funcionalidad, mostrada en la Figura 10. Ante esta imposibilidad, una alternativa es que el sistema esté preparado para resistir interrupciones y recuperarse rápidamente.

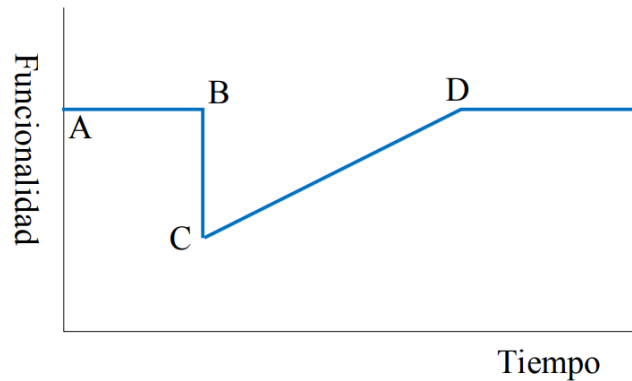


Figura 10. Curva de funcionalidad.

La curva de funcionalidad empieza con el funcionamiento normal de la infraestructura, antes de que ocurra un evento disruptivo, en el punto A. Cuando el evento ocurre (punto B), la funcionalidad cae a un mínimo (punto C), y desde ahí empieza a recuperarse dicha funcionalidad, hasta alcanzar el nivel de servicio anterior, indicado por el punto D. (O'Rourke, 2007a).

La curva de funcionalidad ilustra el concepto de resiliencia, pero omite algunos conceptos importantes. Observando la Figura 10, podemos notar que la resiliencia así medida se basa únicamente en el tiempo de recuperación de la funcionalidad. Cuanto menos caiga la funcionalidad y más rápido se recupere el nivel original, más resiliente es el sistema. Sin embargo, se ignoran otras consideraciones, tales como el costo asociado con la recuperación.

Junto con la curva de funcionalidad, se propusieron cuatro características de los sistemas resilientes, llamadas las cuatro "R" o simplemente 4R: Resistencia, Redundancia, Recursos, y Rapidez (Bruneau et al., 2003).

- **Resistencia** (*Robustness*): La capacidad de un sistema de no colapsarse totalmente ante una falla, sino conservar un mínimo necesario de funcionamiento. En la Figura 10, la resistencia se representa como la ordenada del punto C.
- **Redundancia** (*Redundancy*): Que el sistema tenga suficientes redundancias, para evitar que haya cuellos de botella o elementos que al fallar causen la falla completa del sistema. La redundancia no aparece explícitamente en la Figura 10.
- **Recursos** (*Resourcefulness*): Se refiere no únicamente a tener recursos para atender una emergencia, tales como repuestos y personal, sino también al ingenio para improvisar soluciones temporales que sostengan el funcionamiento del sistema. No se muestra explícitamente en la Figura 10.



- **Rapidez (*Rapidity*):** La tasa a la cual se recupera la funcionalidad del sistema, representada como la pendiente media de la recuperación en la Figura 10, dado por la pendiente del tramo CD.

Puesto que los sistemas de infraestructura no operan aisladamente, estas características de un sistema resiliente son afectadas por las interdependencias con otras infraestructuras. Por ejemplo, para arreglar una estación de bombeo después de un evento de falla, supongamos un sismo, es necesario tener un camino de acceso al lugar. Si la infraestructura vial no está funcionando, tampoco el sistema de distribución de agua podrá repararse.

Después de que se desarrolló la curva de funcionalidad, se integró la variable costo de una falla en la infraestructura. Por ejemplo, de dos sistemas de infraestructura que presentan una falla similar y se recuperan al mismo tiempo, aquel que tiene menor costo de recuperación se considera más resiliente. Esto se ilustra en la Figura 11 (Vugrin et al., 2010a).

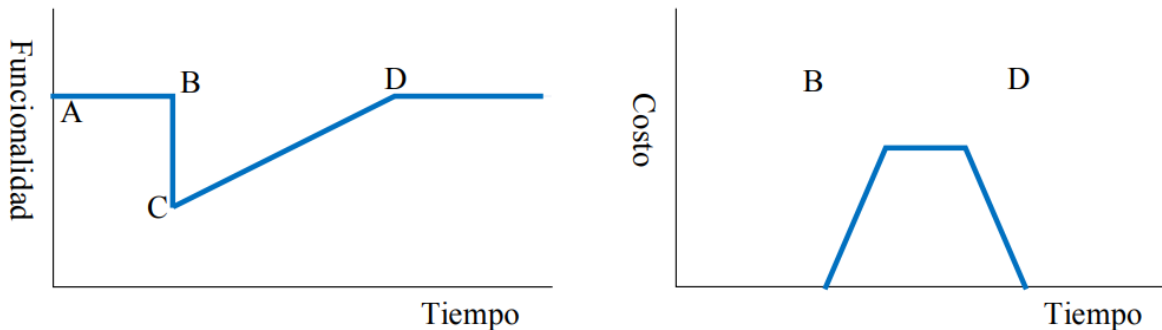


Figura 11. Resiliencia considerando costo de recuperación

En la Figura 11, la curva de la izquierda es la conocida curva de funcionalidad. El diagrama de la derecha representa los costos en los que se ha de incurrir para recuperar la funcionalidad perdida. Se invierte desde que falla la infraestructura (B) hasta que se logra la recuperación (D).

Un sistema más resiliente requiere menor inversión para recuperarse que un sistema menos resiliente.

El que algunas ciudades tengan cierta estabilidad en la actualidad, no garantiza que en el futuro próximo cuenten con las mismas condiciones, considerando los factores del cambio climático y la creciente concentración de población en zonas urbanas con escasa planeación, que demandará mayor cantidad de recursos hídricos y área para asentarse, propiciando la generación de nueva infraestructura que en la mayoría de sus casos lo logran deforestando bosques, deben ser diseñada de tal forma que ayude a incrementar la capacidad de resistencia, adaptación, recuperación y preparación de la ciudad.

En estos casos se debe tener en cuenta que la resiliencia está al centro del nexo entre la acción de desarrollo y la humanitaria ya que, en su esencia, tiene que buscar la mejora de la vida de las personas, a un costo significativo. La reducción del riesgo de desastres es una parte integral del desarrollo social y económico, y es esencial para que el desarrollo sea sostenible en el futuro.

De ahí, la necesidad de diseñar herramientas de evaluación que determinen los aspectos que se deben fortalecer de una ciudad, para que esta pueda ser más segura y dinámica. Estas herramientas de evaluación pueden ser utilizadas como indicadores para conocer si las ciudades están teniendo un desarrollo integral o se están rezagando en determinados aspectos homologados a nivel mundial

Existen varias metodologías y herramientas que han sido desarrolladas alrededor del mundo por las organizaciones internacionales que trabajan para construir la resiliencia urbana. Entre los que podemos mencionar:

A. El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, adoptado en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres (Sendai, 14-18 de marzo de 2015), es un instrumento sucesor del Marco de Acción de Hyogo, es un programa voluntario de 15 años, que contiene siete objetivos y cuatro prioridades de acción, que plantea acciones muy concretas en términos de la gestión del riesgo a través de cuatro prioridades:

1. **Comprender** el riesgo de desastres  
Políticas y prácticas para la RRD deben basarse en una comprensión de los riesgos de desastres en todas las dimensiones de la vulnerabilidad, capacidad, exposición de las personas, los bienes, las características del peligro y el medio ambiente.
2. **Fortalecer** la gobernanza del riesgo  
La gestión del riesgo de desastres en los planos nacionales, regionales y mundiales es de gran importancia para obtener una gestión eficaz y eficiente frente al riesgo de desastres.
3. **Invertir** en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia  
La inversión pública y privada de la RRD son esenciales para mejorar las condiciones económicas, sociales, de salud y las capacidades de recuperación cultural de la población, las comunidades, los países, sus agentes activos y el medio ambiente.
4. **Mejorar** la preparación frente a desastres para una respuesta eficaz, y para “reconstruir mejor” en la recuperación, rehabilitación y reconstrucción.  
Fortalecer la preparación frente a desastres para la recuperación, rehabilitación y reconstrucción efectiva es fundamental para reconstruir mejor.

- B. La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastre (por sus siglas en inglés, UNISDR), en colaboración con una serie de organizaciones, ha desarrollado una serie de “Indicadores Urbanos Locales” para que las ciudades puedan evaluar el nivel de resiliencia.

El sistema de evaluación nombrado: *Disaster Resilience Scorecard for Cities*, (por sus siglas en inglés, DRSC) constituye una lectura parcial de la sustentabilidad (dado que no es su objeto de análisis principal).

Los indicadores se integran por 10 aspectos denominados esenciales, y agrupados en tres conjuntos: gobernanza y capacidad financiera (1-3), planeación y preparación frente a desastres (4-8), y respuesta a desastres y recuperación post desastres (9-10):

1. Organización para la resiliencia frente a desastres;
2. Identificación, entendimiento y uso de escenarios de riesgo actuales y futuros;
3. Fortaleza de la capacidad financiera para la resiliencia;
4. Empuje del desarrollo y diseño urbano resiliente;
5. Resguardo de buffers naturales para incrementar las funciones de protección que ofrece el capital natural;
6. Fortalecimiento de las capacidades institucionales para la resiliencia;
7. Entendimiento y fortaleza de las capacidades sociales para la resiliencia;
8. Incremento de la infraestructura resiliente;
9. Aseguramiento de la efectividad de la respuesta frente a desastres;
10. Recuperación expedita y reconstrucción mejorada.

La propuesta permite dos niveles de valoración. El primero, se considera como un nivel preliminar que atiende las metas e indicadores del Marco de Sendai con 47 indicadores, que se valoran en una escala cualitativa diversa y expresada numéricamente del 0 al 3; el segundo es un nivel más detallado que incluye 117 indicadores con una escala cualitativa que se expresa numéricamente del 0 al 5.

Cabe precisar que algunos elementos en realidad conforman un check list de medidas regulatorias, de planeación o gestión que idealmente deberían ser puestas en marcha (planes, programas, presupuesto adecuado, etcétera), otros son indicadores de avance de acciones puntuales en materia de, por ejemplo, potencial de población desalojada, actividad económica en riesgo, aseguramiento de vivienda, grado de éxito de incentivos implementados, etc.

La elaboración de estos indicadores se ha basado en el marco de los “Diez Aspectos Esenciales para Lograr Ciudades Resilientes”, actualizado con el fin de adaptarlo del Marco de Acción de Hyogo (2005-2015) al Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030), y de los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Este proceso se apoyó en las lecciones extraídas de la herramienta de autoevaluación para gobiernos locales Local Governance Self-Assessment Tool (LG-SAT) y la herramienta (scorecard) para la evaluación de la resiliencia frente a los desastres.

El propósito de esta nueva versión de la herramienta es servir de apoyo al pilotaje de los indicadores urbanos locales en ciudades a nivel mundial como línea de base sobre la cual los gobiernos locales puedan establecer planes de acción para la resiliencia y aportar al cumplimiento de la meta más próxima de Sendai: *“Aumentar sustancialmente el número de países con estrategias nacionales y locales para la reducción del riesgo de desastres”*. (UNDRR, 2015)

- C. La Metodología de Estimación Rápida de Riesgos (QRE por sus siglas en inglés) es una metodología diseñada por la UNISDR en alianza con la Comisión Europea, IBM y la estadounidense AECOM, con el propósito de identificar y comprender los riesgos/estrés/choques actuales y futuros y las amenazas de exposición a los activos humanos y físicos asociada con una “matriz de riesgo”.

Esta metodología QRE no es una metodología de evaluación de riesgos a gran escala, sino un proceso de participación de múltiples partes interesadas para establecer un entendimiento común.

Teniendo en cuenta las acciones o medidas correctivas, esta metodología QRE producirá una evaluación de riesgos que informa acerca de los riesgos y peligros, y de los impactos de los riesgos principales identificados y los peligros asociados en la ubicación especificada.

Esta Metodología QRE, utiliza la clasificación de riesgos descrita por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) cuyo funcionamiento y aplicación es el siguiente:

1. Definiremos las Familias de Peligros.
2. Definimos los eventos de Peligro.
3. Seleccionamos la Clasificación de la Exposición al riesgo.
4. Seleccionamos la Clasificación de la Vulnerabilidad al riesgo,
5. Definimos el Grado de Respuesta al riesgo.
6. Calculamos la Probabilidad.
7. Calculamos la Gravedad.
8. Volcamos los resultados en la “Matriz de Riesgos”.

Escala de Probabilidad		Muy Baja [0-2]	Baja [2-4]	Moderada [4-6]	Alta [6-8]	Muy Alta [8-10]
Gravedad (*)	Insignificante [0-10]	VL1	VL2	L3	L4	M5
	Menor [11-25]	VL2	L3	L4	M5	M6
	Moderado [25-50]	L3	L4	M5	M6	H7
	Mayor [51-75]	L4	M5	M6	H7	H8
	Catastrófico [76-100]	M5	M6	H7	H8	H

Tabla 3. Matriz de Riesgos empleado en la herramienta Quick Risk Estimation Tool. [VL]: Very Low, [L]: Low, [M]: Medium, [H]: High, [VH]: Very High.

(\*) Puntaje de gravedad promedio ponderado (basado en las respuestas proporcionados por las medidas de exposición de vulnerabilidad y respuesta obtenidos conforme se ha descrito anteriormente)

- D. El Programa de Perfiles de Ciudades Resilientes (por sus siglas en inglés, CRPP), lanzado por ONU-HABITAT que ayuda a los gobiernos locales a desarrollar competencias para mejorar la resiliencia y desarrollar una planificación urbana más comprensiva e integrada.

La iniciativa más emblemática de CRPP es la *City Resiliencia Profiling Tool*, un instrumento que sigue un planteamiento cercano a los ciudadanos y que analiza ciudades enteras des de una perspectiva de resiliencia. Además, recientemente, ONU-HABITAT ha lanzado el Urban Resiliencia Hub, un espacio para compartir conocimientos, buenas prácticas e innovación.

A parte de proveer instrumentos y orientación, el Hub está compuesto por tres áreas de actuación.

Primero, proporciona conocimiento ya que recaba buenas prácticas, y desafíos y experiencias de gobiernos locales y de sus colaboradores. Esto se hace especialmente en las secciones de “*Food sor Thought*” y de “*Resiliencia Pills*”, que ofrecen las ideas y los pensamientos sobre desarrollo más recientes y proporcionas testigos reales de ciudades.

Segundo, también tiene iniciativas de promoción, ya que promueve campañas y redes, y se compromete a contar historias reales de ciudades que impulsan medidas para proteger su infraestructura, su funcionalidad y sus habitantes.

Finalmente, también promociona colaboraciones, ya que ONU-Habitat contribuye y lidera algunas redes que promueven el conocimiento, la práctica y la concienciación de la resiliencia.

El CRPP busca la instrumentación que sea soportado por asociaciones con autoridades locales, agencias internacionales, institutos de investigación y académicos, sectores privados, ONGs y representantes de un número de ciudades asociadas alrededor del mundo. En el periodo de instrumentación se buscará cumplir los siguientes cuatro objetivos principales:

- i. Investigar en el marco operacional de trabajo: indagar en los sistemas actuales de pensamiento urbano, mapeo de riesgos existentes, técnicas de mitigación y desarrollo de modelos de sistema urbano que sean adaptables a cualquier asentamiento humano.
- ii. Indexación y perfiles: establecer un grupo de indicadores y estándares para calibrar la habilidad de los sistemas urbanos ante una crisis y un grupo de perfiles de ciudades resilientes para urbes piloto.
- iii. Desarrollar herramientas/software: crear y perfeccionar una interfaz para el manejo urbano, así como prácticas para desarrollar perfiles de la resiliencia de la ciudad.
- iv. Elaborar guías normativas: establecer un grupo de estándares globales para la resiliencia urbana y un nuevo marco de trabajo normativo para el monitoreo de sistemas urbanos globales.

El CRPP desarrolla un enfoque de planificación y gestión urbana amplio e integrado para elaborar perfiles y acompañar la resiliencia de una ciudad frente a los posibles peligros.

El Gobierno de México, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales trabajaron en tres acciones distintas: prevención de riesgos, implicación de los mismos a través de obras de prevención, y creación de un perfil de resiliencia publicados en la Guía de Resiliencia Urbana 2016, (SEDATU-SEGOB-ONU HABITAT, 2016a) dentro de 18 ciudades adaptando la metodología CRPP que se basa en cinco dimensiones: organizacional, espacial, física, funcional y temporal (Tabla 7).

La Red de Ciudades Resiliente (RCR) constituye el primer esfuerzo de la Administración Pública Federal por contar con un marco de referencia común de la resiliencia urbana en México, que permitirá a las diferentes dependencias avanzar en sus programas y proyectos específicos considerando la resiliencia como eje rector de la planeación urbana. La guía es un precedente metodológico de gran valor, que permitirá encarar de mejor manera los retos presentes y futuros del desarrollo urbano.

Estado	Municipio	Ciudad
1. Baja California	Ensenada	Ensenada
2. Baja California Sur	La Paz	La Paz
3. Campeche	Ciudad del Carmen	Carmen
4. Chiapas	Tapachula	Tapachula de Córdova
5. Chihuahua	Ciudad Juárez	Ciudad Juárez
6. Coahuila	Saltillo	Saltillo
7. Colima	Manzanillo	Manzanillo
8. Durango	Durango	Victoria de Durango
9. Estado de México	Aculco	Aculco
10. Guanajuato	León	León de Los Aldama
11. Guerrero	Acapulco de Juárez	Acapulco
12. Jalisco	Puerto Vallarta	Puerto Vallarta
13. Jalisco	Guadalajara	Guadalajara
14. Nayarit	Tepic	Tepic
15. Nuevo León	Monterrey	Monterrey
16. Puebla	Atlixco	Atlixco
17. Quintana Roo	Solidaridad	Playa del Carmen
18. Sinaloa	Mazatlán	Mazatlán
19. Ciudad de México	Ciudad de México	Ciudad de México

Tabla 4.- Red de Ciudades Resilientes en México con la metodología CRPP de la ONU-HABITAT.

La idea es que, como se dijo, las ciudades mexicanas participen, desarrollando una estrategia donde se establece el marco de actuación para que las autoridades municipales principalmente, diseñen e implementen acciones orientadas a prevenir riesgos, que reduzcan los impactos a la población, generen mejores esquemas para la recuperación y monitoreen su avance mediante la implementación del *Disaster Resilience Scorecard*, ya que de los 2 mil 457 municipios que tiene el país de acuerdo con cifras del INEGI, solamente 18 municipios, están dentro de la metodología CRPP de la ONU-HABITAT, lo que representa un 0.80 % de los municipios y un 16.70% de la población mexicana (21,057,135 hab).

De esta manera, México avanza a partir de una visión amplia, que entiende la importancia de la prevención, difusión y educación para evitar desastres; que prioriza la acción coordinada para atenderlos; y que fomenta la resiliencia de las comunidades para garantizar su gobernabilidad aun en los momentos más complejos, con el fin de superarlos rápidamente.

No sobra recalcar que la calidad de la aplicación del modelo recae en el empeño y las capacidades de los gobiernos locales, donde cualquier apoyo que puedan recibir de otros niveles de gobierno puede hacer la diferencia.

El compromiso de ONU-HABITAT con la resiliencia ha incrementado substancialmente en la última década. Como resultado, se han creado comunidades de práctica sobre el tema. ONU-Habitat contribuye, lidera y hospeda varias redes de promoción de la resiliencia como:

- Making Cities Resilient Campaign
- Medellin Collaboration for Urban Resilience
- Global Alliance for Urban Crises
- RESCCUE
- Inter-Agency Standing Committee for Humanitarian Responses

## PERFIL DE RESILIENCIA URBANA

El Perfil de Resiliencia es resultado del diagnóstico y muestra el estado de la ciudad en un momento determinado. La información obtenida es imparcial, objetiva y verificable, y constituye la base de trabajo a partir de la cual la ciudad podrá tomar decisiones adecuadas a su perfil y sus capacidades para lograr la mejora de la resiliencia. Con ese objetivo último se definirán los objetivos estratégicos y las líneas de acción inmediata.

Con base en los resultados del Perfil de Resiliencia contemplará la priorización, vinculación interinstitucional, inclusión en planes de mantenimiento y de inversión, además de adaptaciones con visión de resiliencia. También se establecerán los criterios de seguimiento y evaluación del proceso para verificar avances que quedarán registrados en el Perfil de Resiliencia.

El Perfil de Resiliencia Urbana considera los indicadores antes mencionados para establecer la forma como la ciudad responde y se recupera ante el impacto de los fenómenos naturales. Esta metodología permite verificar cuáles son los factores más alejados del nivel óptimo de resiliencia.

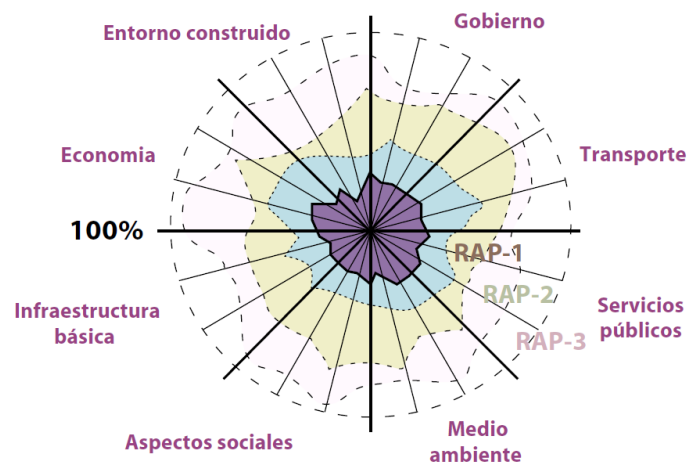


Figura 12. Perfil de Resiliencia Urbana



El proceso de un perfil resiliente:

- **Integrado:** Una ciudad integrada está compuesta e influenciada por sistemas indivisibles, interdependientes e interactivos. Combina y alinea muchas lentes para garantizar que la información sea holística, coherente y se apoye mutuamente hacia una causa común. Permite una colaboración transdisciplinaria que fomenta la comunicación abierta y facilita la coordinación estratégica. Apoya el funcionamiento colectivo de la ciudad y garantiza cambios de gran alcance, positivos y duraderos.
- **Reflexivo:** Una ciudad reflexiva entiende que su sistema y sus alrededores cambian continuamente. Es consciente de que las tendencias pasadas han dado forma a los procesos urbanos actuales, pero aprecia su potencial para transformarse a través de choques y tensiones a lo largo del tiempo. Transmite la capacidad de aprender del conocimiento, las experiencias pasadas y la nueva información. También aprende haciendo, e instala mecanismos para examinar iterativamente el progreso, así como actualizar y mejorar sistemáticamente las estructuras.
- **Transformador:** Una ciudad transformadora adopta un enfoque proactivo para construir resiliencia con el fin de generar un cambio positivo. Fomenta el ingenio y mira hacia el futuro al perseguir soluciones innovadoras que, con el tiempo, crean un sistema que ya no es propenso al riesgo. Una ciudad transformadora está enfocada y orientada hacia objetivos con visión compartida de la ciudad resiliente.

## **METODOLOGÍA PARA REALIZAR PERFIL DE RESILIENCIA**

Para realizar el Perfil de Resiliencia Urbana se plantean cinco dimensiones:

- A. **Organizacional.** Consiste en la interacción de las diferentes escalas de organización administrativa: nacional, estatal, municipal, distrital e individual.
- B. **Espacial.** Se refiere a la dimensión del territorio, que puede ser manzana, colonia, municipio, entidad federativa o nacional.
- C. **Física.** Incluye el análisis de las diferentes redes de infraestructura—entre ellas, hidráulicas, sanitarias, eléctricas, de gas—, equipamientos—salud, educación, cultura, abasto, comercio, transporte— y servicios — comerciales, financieros, del sector habitacional—.
- D. **Funcional.** Considera los diferentes planes y programas urbanos, los programas de respuesta ante emergencias, los planes operativos, así como los programas operativos anuales, entre otros.
- E. **Temporal.** Incluye el análisis en varios periodos de tiempo.

El desarrollo para realizar el Perfil de Resiliencia Urbana se desarrollará en cuatro pasos:

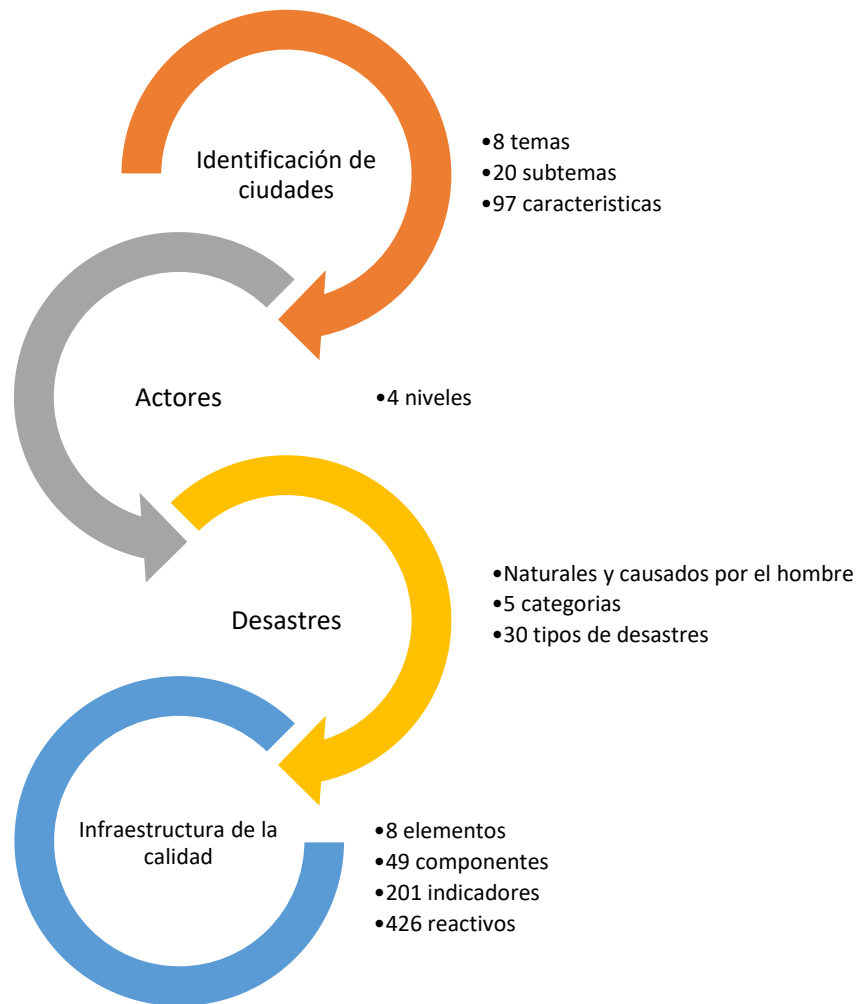


Figura 13. Pasos para el diagnóstico de la resiliencia.

*Paso 1. Identificación de la ciudad.*

Se deberá realizar una descripción sintética de la situación de la ciudad en relación con temas como ubicación, factores físicos del territorio, análisis demográfico y socioeconómico, análisis de factores de gobierno y políticas públicas, economía, situación general de las edificaciones, asociaciones civiles y relaciones públicas.

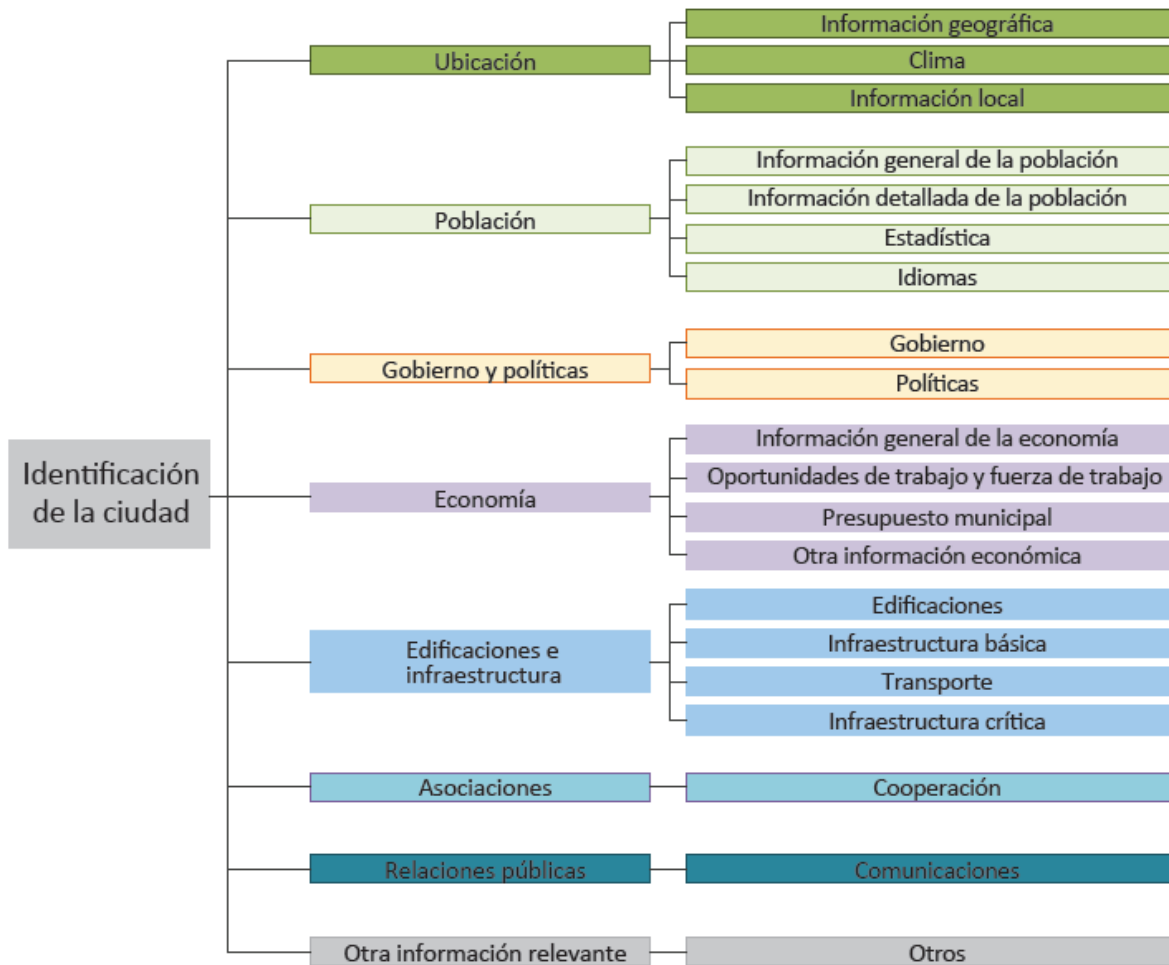


Figura 14. Temas y subtemas para obtener el CRPP. (Paso 1 A).

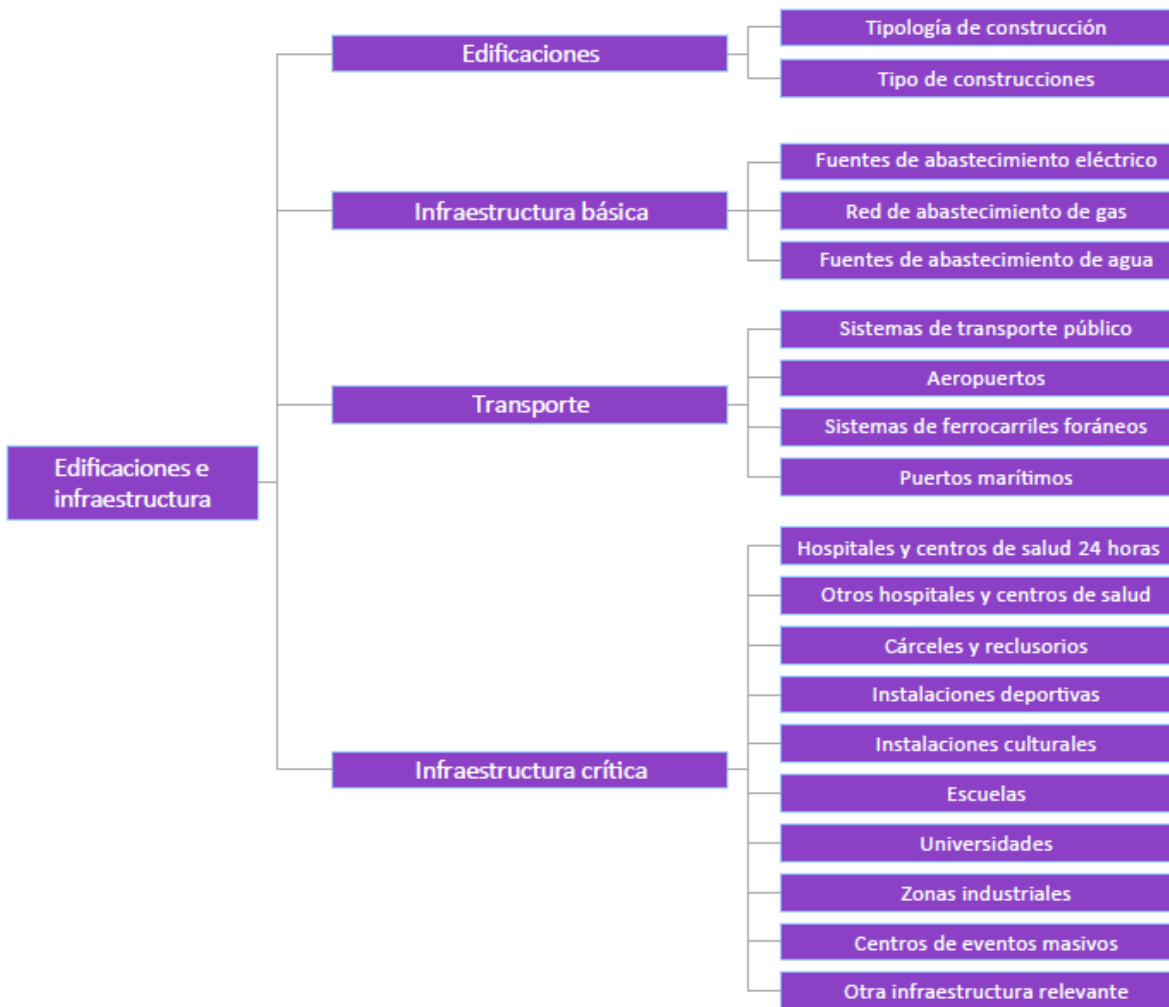


Figura 15. Subtemas e indicadores para obtener el CRPP. (Paso 1 B).

## Paso 2. Actores.

En este paso se estudia la capacidad de respuesta de los diferentes actores involucrados en la recuperación de las zonas afectadas, así como en la prevención y respuesta ante los fenómenos naturales.

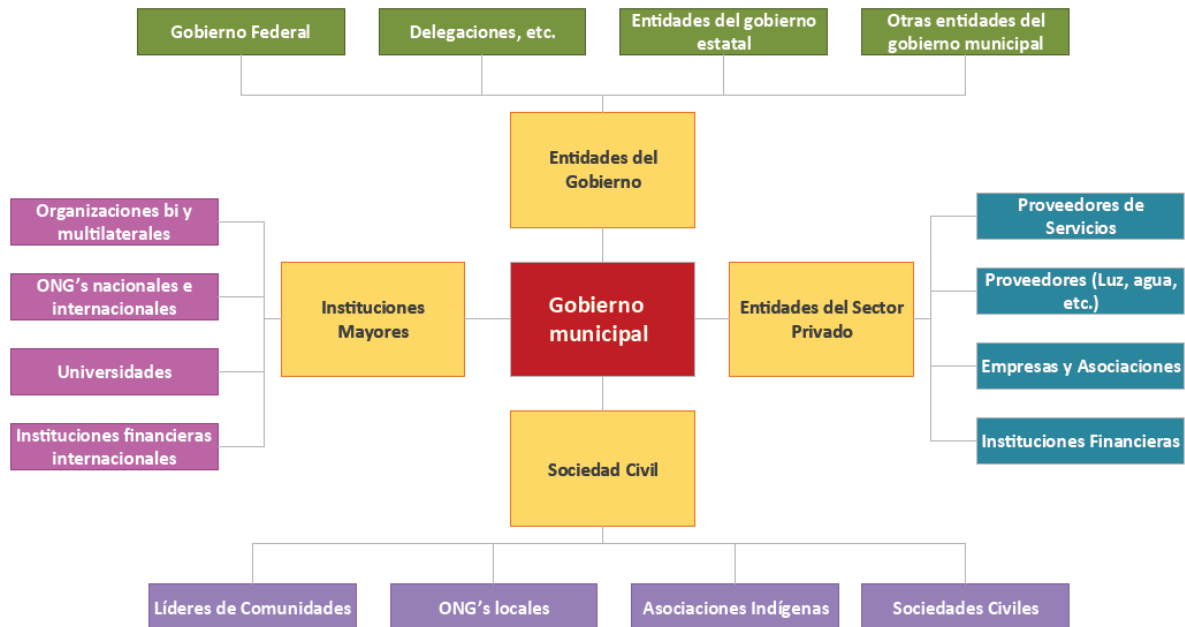


Figura 16. Subtemas e indicadores para obtener el CRPP. (Paso 2).

### Paso 3. Riesgos.

En este apartado se analizarán los diferentes fenómenos que impactan la ciudad, así como la frecuencia, la intensidad, los niveles de afectación y el grado de vulnerabilidad de la misma. Para obtener el CRPP se consideran los fenómenos naturales y antrópicos, tal como se ejemplifica en el siguiente esquema:

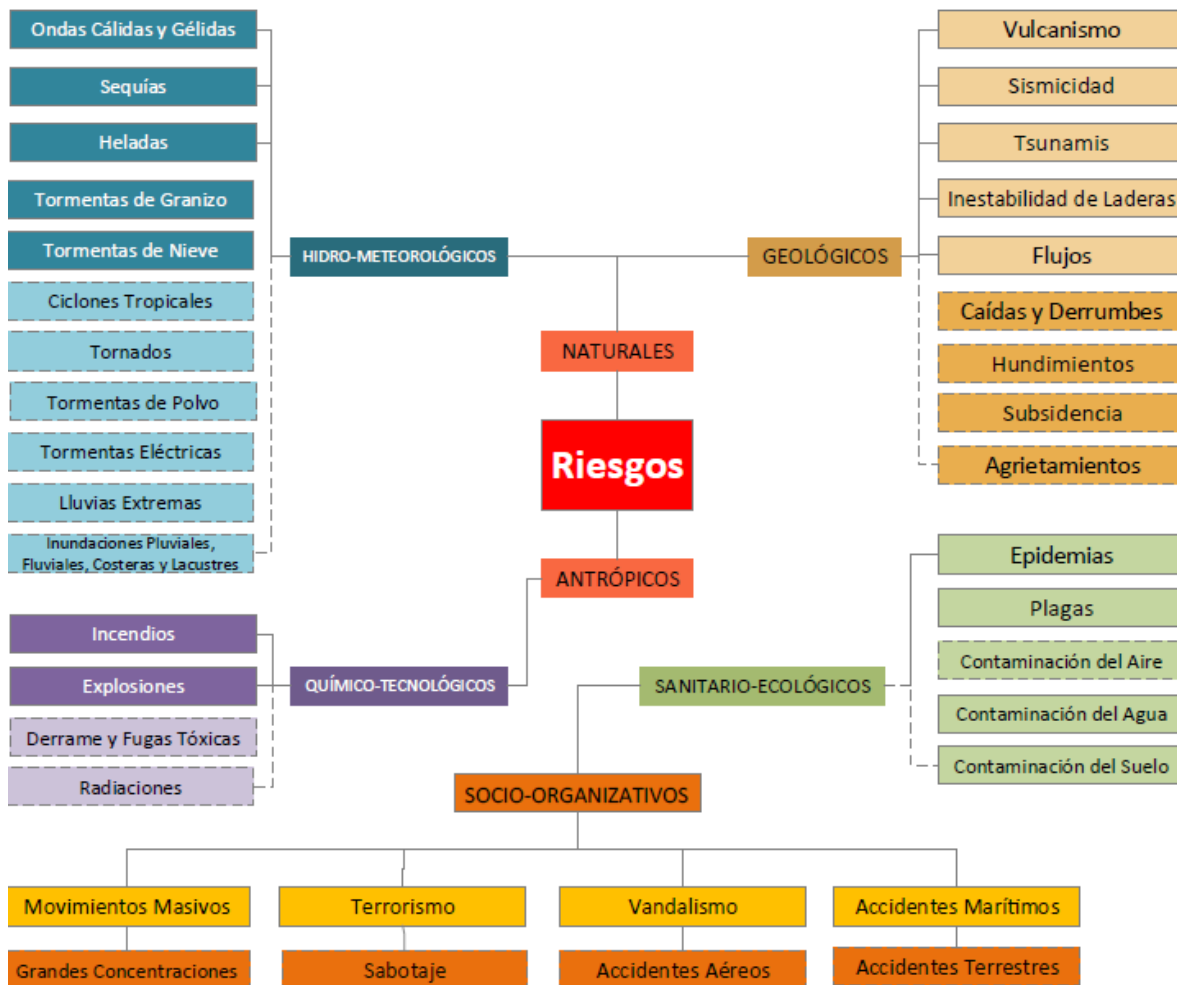


Figura 17. Fenómenos e indicadores para obtener el CRPP. (Paso 3).

#### Paso 4. Elementos.

Consiste en examinar tanto los elementos que componen la ciudad como la capacidad que tienen de recuperarse ante el impacto de un fenómeno natural y restaurar infraestructura, equipamientos, economía y servicios, por mencionar algunos.

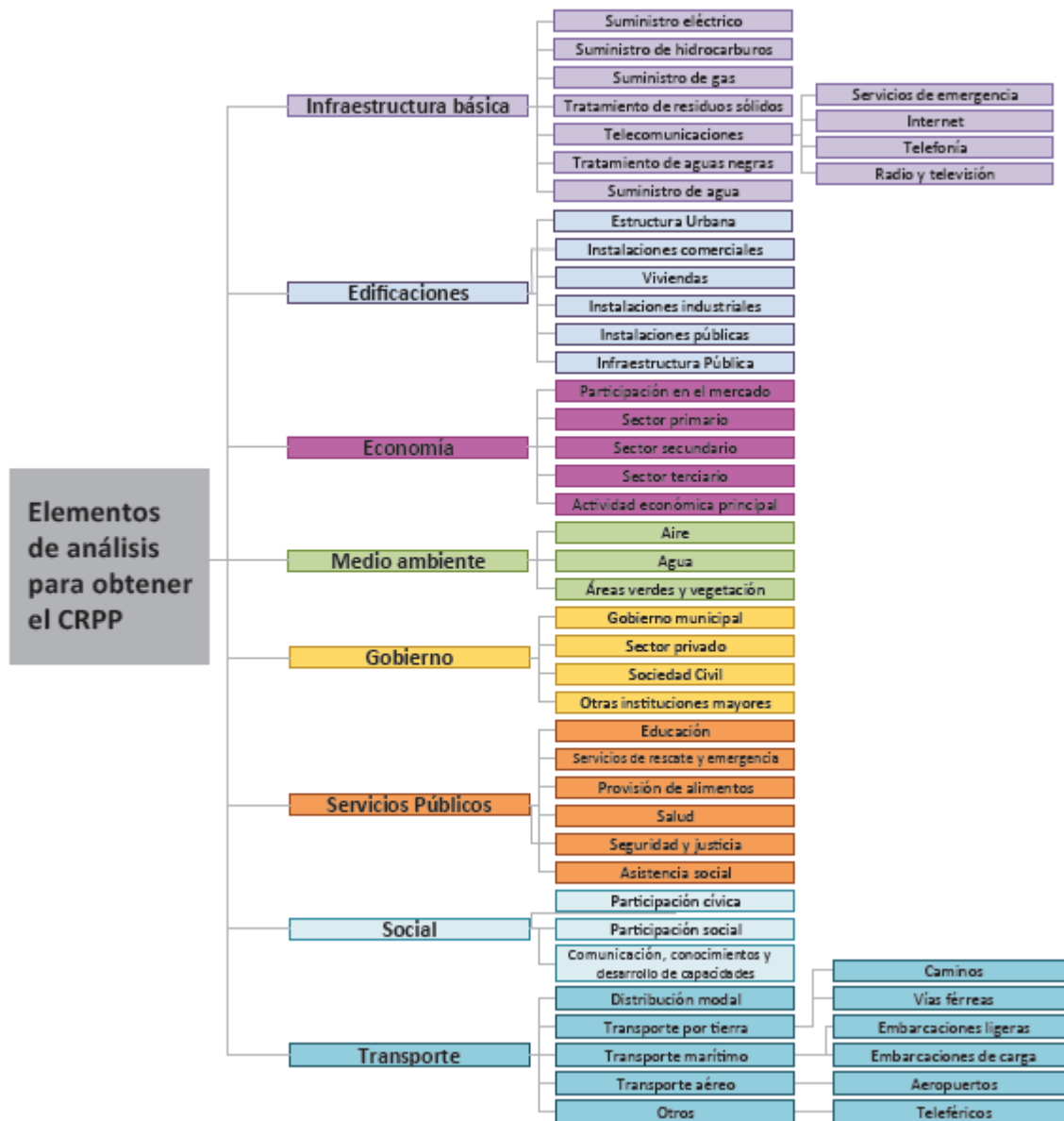


Figura 18. Elementos de análisis para obtener el CRPP. (Paso 4).

## **CAPÍTULO 4.- INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA**

### **IMPORTANCIA DE INVERTIR EN RESILIENCIA**

Durante esta última década, los desastres naturales han afectado a más de 220 millones de personas y han causado un daño económico de 100 millones de dólares cada año. Se calcula que número de personas afectadas por desastres naturales desde 1992 es de unos 4.4 billones de personas (lo que equivale a un 64% de la población mundial) y que el daño económico es de unos 2 trillones de dólares (equivalente a 25 años de Ayuda Oficial de Desarrollo). Solo en 2015, hubo 117 países y territorios - 54% del mundo - donde hubo desastres (ONU-HABITAT, 2017a). Por ello, de manera coordinada se deben realizar acciones para la prevención, preparación y atención a los desastres, tomando como eje rector la resiliencia.

Como ya se mencionó anteriormente, el riesgo por fenómenos perturbadores, principalmente por amenazas naturales es una de las principales causas en las interrupciones de los servicios de infraestructura. Las pérdidas económicas son más evidentes en los países en vías de desarrollo pues forjan altos costos de inversión en la reconstrucción posterior a un desastre y retrasan el desarrollo económico.

Cualitativamente, dichas interrupciones minimizan la capacidad de producción de las empresas, reducen las ventas de las empresas y retrasan el suministro y la distribución de bienes, así como los ingresos y los empleos que ellas proporcionan, e impactan directamente en la calidad de vida de las personas. Estos daños afectan negativamente los presupuestos públicos y reducen el atractivo de los inversionistas privados en estas regiones.

Cuantitativamente se estima que el costo de las interrupciones a los servicios de infraestructura oscila entre los USD 391,000 millones y los USD 647,000 millones en los países de ingreso bajo y medio para los que se dispone de datos y teniendo en cuenta los tipos de efectos que pueden cuantificarse (CEPAL, 2012a).

Mantener una infraestructura resiliente tiene beneficios adicionales, ya que precisa a administrarlo más eficientemente y mantenerlo en mejor estado de conservación.

Desafortunadamente los gobiernos no invierten en el desarrollo de infraestructura resiliente porque los resultados, no son tangibles en el corto plazo. Es decir, la mayoría de los tomadores de decisiones prefieren invertir el dinero en cosas que tienen impacto a corto y mediano plazo, que van desde los dos hasta los cinco años, tiempo que duran los periodos de administración. En contraste, las consecuencias de esta omisión sí son tangibles (UNISDR, 2019).

La inversión en infraestructura es parte fundamental en la economía global. Solamente en América Latina se destinan anualmente \$75 mil millones en infraestructura, según datos de INFRA LATAM. Cuando debería ser más de \$150



mil millones según el Banco Interamericano de Desarrollo, pero aun así, la infraestructura ocupa una importante franja en los presupuestos públicos y privados de la región. (UNDRR, 2020).

Según el Grupo Banco Mundial, en los próximos 20 años se necesitará una inversión de 100 billones de dólares para cumplir la demanda mundial en electricidad, transporte, telecomunicación y servicios de agua.

Sin embargo, si el desarrollo de la infraestructura no considera el riesgo de desastres, las mismas podrían generar pérdidas por un billón de dólares en los próximos 10 años.

México debe invertir cada año 996,451 millones de pesos o el equivalente al 5% del Producto Interno Bruto (PIB) en el sector de infraestructura para brindar certidumbre a los inversionistas, sin embargo está por debajo de la recomendación internacional en la inversión para la construcción de infraestructura, pues apenas invierte el 2.5 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) cuando los estándares internacionales sugieren destinar del 5 al 8 por ciento del PIB a este rubro. sin embargo, durante la última década este porcentaje se ha reducido su valor con respecto al año anterior.

En 2014, la inversión pública en carreteras, sistemas de transporte colectivo, autopistas, aeropuertos, escuelas, hospitales, deportivos, y alcantarillado entre otros, representaba el 4.7% del PIB, y al cierre de 2020 cayó al 2.8% del PIB (SHCP, 2021) (Figura 19).

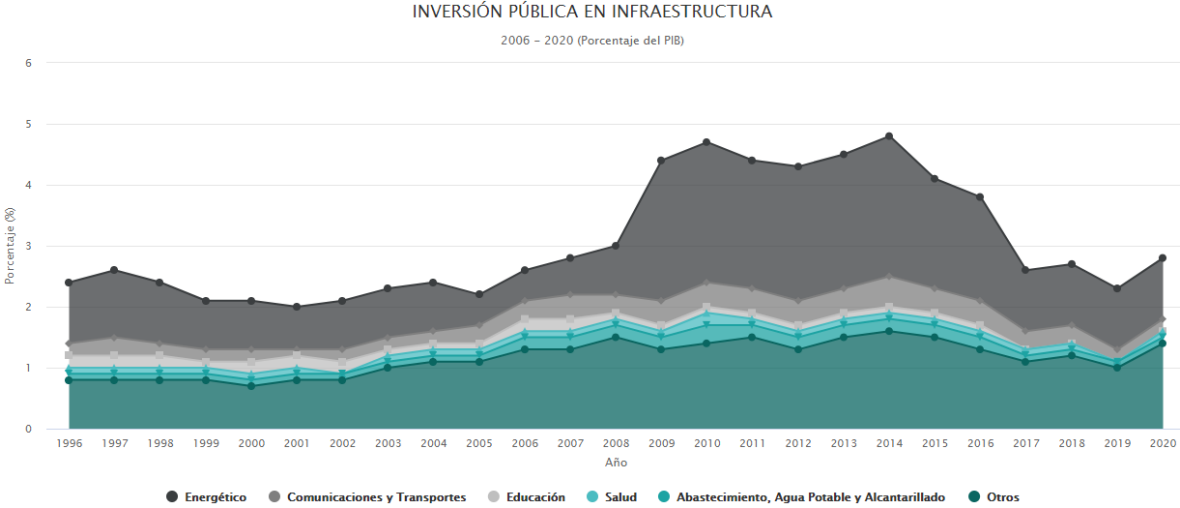


Figura 19: Inversión histórica en infraestructura en % del PIB para el periodo 1996-2020 para México.

Fuente: Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Estadísticas Oportunas de Finanzas Públicas, Gastos Presupuestarios, Inversión Física Presupuestaria

Los desastres, generan un impacto mucho mayor cuando ocurren ante una infraestructura que no está diseñada tomando en cuenta los códigos de construcción y estándares apropiados e informados por el riesgo. Los estudios lo confirman: un informe de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) junto con el Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED) muestra que las pérdidas económicas a causa de desastres han aumentado de \$1.63 billones de dólares entre 1980 y 1999 a \$2.97 billones de dólares en los últimos 20 años, de las cuales cerca de la mitad corresponden a las Américas y el Caribe.

Según el informe *“Hacia una Centroamérica más resiliente”* publicada por el Banco Mundial y el Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de Desastres de las Naciones Unidas (por sus siglas en inglés, GFDRR) por cada dólar que se invierte en una infraestructura más resiliente genera beneficios en el 96 % de los miles de escenarios que analizan posibles futuras tendencias socioeconómicas y climáticas, es decir, hay USD 4 de beneficio por cada USD 1 invertido.

En el informe titulado *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity* se traza un marco que permite comprender la resiliencia de la infraestructura, como la capacidad de los sistemas de infraestructura para funcionar y atender las necesidades de los usuarios durante el transcurso y después de un desastre natural.

Se examinan cuatro sistemas de infraestructura imprescindibles: energía eléctrica, agua y saneamiento, transporte y telecomunicaciones y se llega a la conclusión de que aumentar su resiliencia es crucial, no solo para evitar reparaciones costosas, sino también para minimizar las consecuencias de amplio alcance que los desastres naturales entrañan para los medios de subsistencia y el bienestar de la gente.

En el informe se explica cómo desbloquear esta oportunidad de USD 4 mil 200 millones con una gama de recomendaciones claras y concretas:

- **Comenzar por lo básico.** Es fundamental subsanar la mala administración y la mala gestión general de los sistemas de infraestructura. Por ejemplo, un activo de infraestructura con mantenimiento deficiente no puede ser resiliente.
- **Crear instituciones para la resiliencia.** También es preciso abordar los desafíos de la economía política más generales e identificar los activos y los sistemas de infraestructura críticos, para poder encauzar los recursos hacia ellos.
- **Crear regulaciones e incentivos para la resiliencia.** Los incentivos financieros pueden utilizarse para conseguir que se considere la totalidad del costo social de las interrupciones de los servicios de infraestructura, alentando a los prestadores de servicios a no limitarse a cumplir las normas obligatorias.

- **Mejorar la toma de decisiones.** El acceso a mejores datos, instrumentos y conocimientos prácticos podría ser un punto de inflexión en la creación de resiliencia; por ejemplo, los modelos digitales de elevación para las zonas urbanas no son costosos y suministran información crucial para determinar inversiones por valor de cientos de miles de millones de dólares al año.
- **Proporcionar financiamiento.** Resulta decisivo otorgar el tipo correcto de financiamiento en el momento correcto. Por ejemplo, se pueden suministrar a los entes reguladores y se pueden emplear en las primeras etapas del diseño de la infraestructura montos que resultan pequeños cuando se los compara con los miles de millones necesarios para las reparaciones y la recuperación tras un desastre.

Obstáculo	Recomendación	Acciones
Mala gestión de los sistemas de infraestructura	Recomendación 1: Comenzar por lo básico	Acción 1.1: Instituir y aplicar regulaciones, códigos de construcción y normas de adquisiciones Acción 1.2: Crear sistemas para la operación, mantenimiento y respuesta adecuada de la infraestructura tras producirse incidentes Acción 1.3: Proveer recursos apropiados y financiamiento para la planificación, construcción y mantenimiento de la infraestructura
Desafíos de la economía política y fallas de coordinación	Recomendación 2: Crear instituciones para la resiliencia	Acción 2.1: Aplicar un enfoque orientado al conjunto de la administración pública en materia de resiliencia de la infraestructura, basándose en los sistemas regulatorios existentes Acción 2.2: Identificar las infraestructuras críticas y definir los niveles de riesgo aceptables e intolerables Acción 2.3: Garantizar el acceso equitativo a infraestructura resiliente
Incentivos distorsionados o inexistentes	Recomendación 3: Crear regulaciones e incentivos para la resiliencia	Acción 3.1: Considerar la inclusión de objetivos de resiliencia en los planes maestros, normas y regulaciones, y ajustarlos periódicamente para tener en cuenta el cambio climático Acción 3.2: Crear incentivos económicos para que los prestadores ofrezcan servicios de infraestructura resiliente Acción 3.3: Garantizar que las regulaciones de infraestructura sean coherentes con los planes de uso de la tierra con consideraciones de riesgos, y orientar el desarrollo hacia zonas más seguras
Falta de datos, modelos y capacidad	Recomendación 4: Mejorar la toma de decisiones	Acción 4.1: Invertir en datos de libre acceso sobre las amenazas naturales y el cambio climático Acción 4.2: Tomar decisiones bien fundadas y minimizar el potencial de fallos con resultados catastróficos Acción 4.3: Desarrollar las capacidades necesarias para utilizar datos y modelos, y movilizar los conocimientos técnicos del sector privado
Asequibilidad y limitaciones de financiamiento	Recomendación 5: Proporcionar financiamiento	Acción 5.1: Proporcionar financiamiento adecuado para incluir evaluaciones de riesgos en los planes maestros y en el diseño inicial de los proyectos Acción 5.2: Elaborar una estrategia de protección financiera y planes de contingencia que abarquen la totalidad de la administración pública Acción 5.3: Promover la transparencia para informar mejor a los inversionistas y a los responsables de la toma de decisiones

Tabla 5. Cinco recomendaciones para abordar los cinco obstáculos a la infraestructura resiliente

Fuente: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial, 2019a.

El 12 de enero de 2010, un terremoto de magnitud 7.0 Mw sacudió Haití, con un epicentro a 15 km de Puerto Príncipe. En los edificios derrumbados, se estima que hubo 316,000 muertos, 350,000 heridos, y 1.5 millones de personas perdieron su hogar. Varios sistemas de infraestructura colapsaron: El muelle de Puerto Príncipe sufrió daños severos, el aeropuerto no podía funcionar porque la torre de control se cayó y no había combustible para los aviones, y muchas de las calles de la red vial estaban obstruidas por escombros. Se estimó que la reconstrucción podría llevar una década.

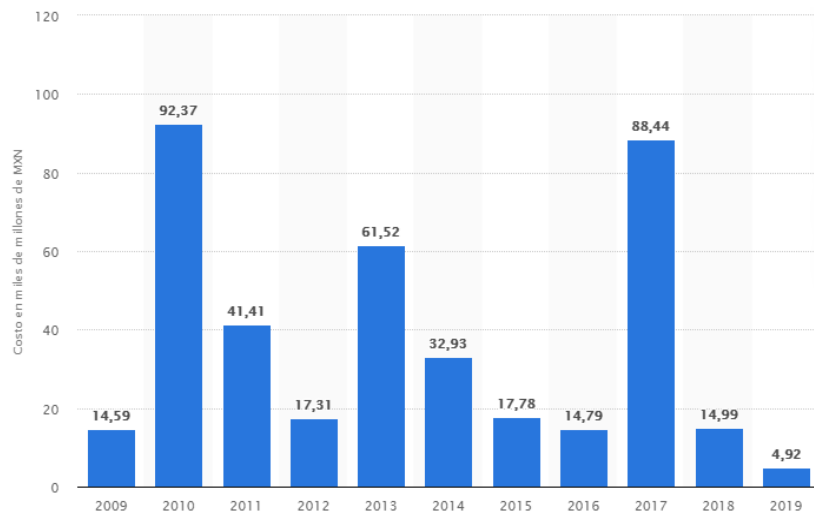


Figura 20. Terremoto de Haití de enero de 2010 magnitud de 7,0 Mw.

Unas semanas después, el 27 de febrero de 2010, un terremoto de magnitud 8.8 Mw afectó a Chile. Este sismo dejó un saldo de 525 muertos, y 500 mil viviendas con daño severo. Este sismo liberó cerca de 178 veces la energía del sismo de semanas antes en Haití.

Es interesante observar cómo un evento sísmico considerablemente más intenso en Chile causó significativamente menos daño que en Haití. Además de sufrir relativamente pocos daños, Chile se ha recuperado más rápidamente que Haití. podemos deducir que la infraestructura chilena muestra un mayor grado de resiliencia. Posiblemente se debe a una combinación de factores como reglamentos de construcción más estrictos, mejor estado de conservación de la infraestructura y mayores recursos para actividades de mantenimiento, reparación, rehabilitación, y reemplazo.

En 2019, el costo de los desastres naturales ocurridos en México fue de más de 4.900 millones de pesos mexicanos, lo que representa una disminución del 67,2% en comparación con lo reportado en 2018. El monto de los daños y pérdidas por desastres naturales en 2019 se consideró como uno de los más bajos en la última década. Sin embargo, los años más costosos para el país en materia de catástrofes naturales fueron 2010, debido al golpe de los huracanes Alex, Karl y Mathew, y 2017, cuando ocurrieron los terremotos del 7 y 19 de septiembre.



Grafica 1.- Costo de los desastres naturales en México de 2009 a 2019 (en miles de millones de pesos mexicanos)

Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2020a).

Año	Evento de desastre	Nombre (para huracanes)	Ciudad
1985	Sismo	-	Ciudad de México
1988	Huracán	Gilberto	Mérida, Cozumel, Cancún, Monterrey y Saltillo
1995	Huracán	Henriette	Cabo San Lucas
1995	Huracán	Stan	Tapachula
1997	Huracán	Paulina	Acapulco y Puerto Escondido
1999	Deslizamiento	-	Teziutlán
2002	Huracán	Isidoro	Mérida
2005	Huracán	Wilma	Cozumel, Playa del Carmen y Cancún
2007	Inundación	-	Villahermosa
2010	Huracán	Alex	Zona Metropolitana de Monterrey y Saltillo
2010	Flujo de Lodo	-	Angangueo
2013	Huracán	Jova	Manzanillo
2013	Huracán	Ingrid y Manuel	Chilpancingo
2014	Huracán	Odile	Cabo San Lucas, San José del Cabo y La Paz
2015	Huracán	Patricia	Manzanillo
2017	Sismo	-	Ciudad de México

Tabla 6. Principales desastres que han afectado las ciudades en México (1985-2017)

Fuente: Elaboración propia con datos hemerográficos y de las publicaciones anuales: Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana. (CENAPRED, 2018a).

En México, el desastre con mayor impacto en el país fue el sismo de 1985, que provocó graves afectaciones en la Ciudad de México. Los recursos invertidos en su reconstrucción llegaron a representar hasta 2.2% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional.

Tras las pérdidas económicas en las últimas décadas, queda en evidencia la importancia de conocer y explotar las herramientas y los mecanismos para garantizar que los procesos de toma de decisiones sean informados sobre los riesgos. (CDRI 2018a).

Cabe mencionar que no se trata solo de invertir más, sino invertir mejor. Invertir en regulaciones y planificación en las primeras etapas del diseño del proyecto y en el mantenimiento puede superar significativamente los costos de reparación o reconstrucción después de un desastre, el camino hacia una infraestructura resiliente comienza con entornos normativos y marcos de políticas constructivos que incorporen la resiliencia en cada etapa del ciclo del proyecto.

Tener en consideración la resiliencia desde el principio, cuando todas las opciones están sobre la mesa, es mucho más eficiente que tratar de abordarla más adelante en el proceso, luego de que factores como la ubicación ya se hayan decidido. Las regulaciones pueden exigir que la resiliencia se incorpore desde el inicio, mediante la realización de un análisis de riesgo exhaustivo en etapas tempranas del diseño y la planificación.

Los gobiernos pueden establecer y hacer cumplir códigos de construcción para garantizar que la infraestructura cumpla con los estándares técnicos mínimos. Estos estándares pueden fortalecerse con el tiempo a medida que avanza la tecnología y cambia el clima.

Otras políticas pueden complementar las regulaciones en el proceso de diseño y planificación de la infraestructura. Estas pueden fomentar la investigación y el desarrollo para impulsar innovaciones que reduzcan el costo de construir infraestructura resiliente.

Los países de América Latina y el Caribe ya están implementando estas estrategias. Chile actualizó sus códigos de construcción a raíz del terremoto de 2010. México cuenta con una estrategia integral para la gestión del riesgo financiero de desastres naturales que incluye el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y los bonos CAT que se emitieron en 2009. Por su parte en Brasil, los incentivos financieros para que los consumidores redujeran el uso de agua le permitieron a una empresa de servicios públicos sortear con éxito una sequía. Estos ejemplos indican que los países están avanzando hacia regulaciones y políticas complementarias para lograr la resiliencia.

## CAPÍTULO 5.- TECNOLOGÍA RESILIENTE

### EL ROL DE LA TECNOLOGÍA EN LA RESILIENCIA

El plan de emergencia, plan del municipio o el manejo del desastre es un aspecto esencial, pero por sí solo no es capaz de reducir los desastres, hay que dotarse de sistemas de alerta temprana de preparación para la rehabilitación y la atención a las personas afectadas y sobre todo formar a la población sobre las medidas de autoprotección y también a los equipos que intervienen mediante formación y servicio de adiestramiento.

En 1904 se reunieron en Francia, dieciocho países, entre ellos México, con el fin de crear la Asociación Sismológica Internacional y mejorar la instrumentación sísmica a nivel mundial. Para cumplir con los compromisos adquiridos en esa reunión, el gobierno mexicano inició la instalación de una red sismológica en el territorio nacional. El 5 de septiembre de 1910 se inauguró la primera estación sismológica de la red, en Tacubaya, Distrito Federal, ahora Ciudad de México. En ese momento, la red sismológica quedó a cargo del Instituto Geológico Nacional que dependía de la Secretaría de Minería y Fomento.

Entre 1910 y 1923 se instalaron en total 9 estaciones sismológicas mecánicas autónomas. Las primeras centrales instaladas fueron en Tacubaya, Ciudad de México y las foráneas en las ciudades de Mazatlán, Oaxaca, Mérida, Chihuahua, Veracruz, Guadalajara, Monterrey y Zacatecas (Figura 21). Se eligieron sismógrafos "Wiechert" de fabricación alemana (Figura 22).



Figura 21. - Primeras estaciones autónomas instaladas en México.

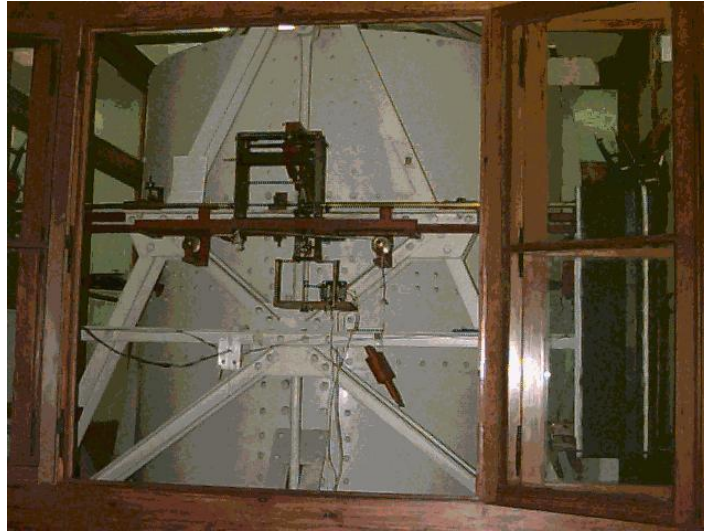


Figura 22. - Sismógrafo Wiechert.

El Servicio Sismológico Nacional (SSN) pasó a ser parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1929 y desde 1948 quedó adscrito al Instituto de Geofísica de la UNAM. En sus inicios, el SSN contó con los instrumentos más modernos de la época, sin embargo, es hasta los años sesenta que se comienza la instalación de sismógrafos electromagnéticos (Figura 23), llegando a tener aproximadamente 20 instrumentos autónomos, con grabación de las señales sísmicas en papel ahumado y fotográfico.

La instalación de la Red Sísmica de Apertura Continental (RESMARC) se inició en la UNAM a mediados de los años setenta, con el fin de contar con estaciones telemétricas digitales en todo el territorio nacional. En esta red, la transmisión de las señales se realizaba por medio de enlaces de microondas proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Las operaciones de detección y captura de eventos sísmicos se utilizaba una computadora PDP11-40.

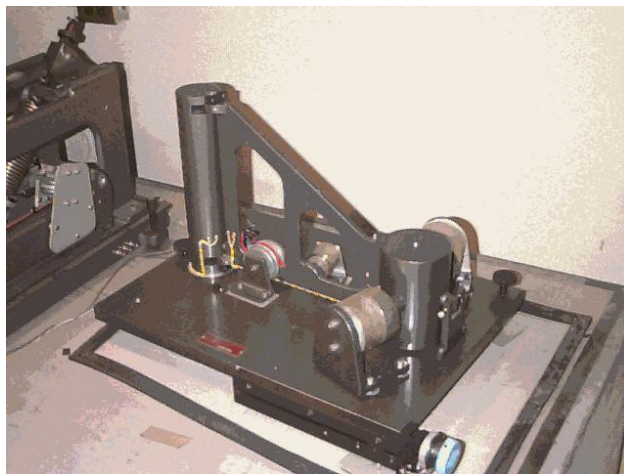


Figura 23. Sismómetro electromagnético horizontal Sprengnether.



En agosto de 1986, RESMARC pasó a formar parte del SSN. Así, se integraron las dos redes de cobertura nacional. Esto mejoró el monitoreo sísmico en el país y, por primera vez, permitió al SSN contar con registros en tiempo real desde diferentes puntos de la República Mexicana. Sin embargo, la cobertura nacional aún era insuficiente.

En 1988 se amplió la Red Telemétrica del SSN, recibiendo apoyo de Petróleos Mexicanos (PEMEX), que facilitó canales de su red de microondas para la transmisión de los datos.

A inicios de los años 90's el Departamento de Instrumentación del Instituto de Geofísica, comenzó a desarrollar un sistema de adquisición y procesamiento automático de datos y a instrumentar estaciones telemétricas digitales (Figura 31).



Figura 24. Instrumentos de estación telemétrica digital.

A partir de 1992, con apoyo presupuestal de la Secretaría de Gobernación y de la UNAM, se inició la modernización de la Red Sismológica Nacional con la instalación de equipos de nueva tecnología. Así, nació la red de Observatorios Sismológicos de Banda Ancha.

Crear resiliencia en las ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos y climáticos implica estructurar estrategias enfocadas a incrementar las características de resistencia, adaptación, recuperación y preparación de los sistemas e infraestructura que componen a la ciudad. De ahí, la necesidad de diseñar herramientas de evaluación que determinen los aspectos que se deben fortalecer de una ciudad, para que esta pueda ser más segura y dinámica. Estas herramientas de evaluación pueden ser utilizadas para conocer si las ciudades están teniendo un desarrollo integral o se están rezagando en determinados aspectos.

Las alianzas entre el sector público y el privado pueden funcionar aquí para crear nuevos enfoques. Por ejemplo, los ayuntamientos están explorando la planificación basada en la naturaleza en forma de azoteas verdes, aceras “esponja” y paisajes preparados para cualquier clima, y los constructores optan cada vez más por estructuras multiuso y materiales adaptables que resistan situaciones climáticas extremas.

Los fabricantes del sector de la construcción presentan innovaciones que priorizan la seguridad de las personas. Un ejemplo interesante: la torre de pruebas de ascensores de Rottweil (Alemania). Usa un amortiguador de masa activa para simular terremotos. La experiencia lograda con esta torre de pruebas se usó en la torre del número 181 de la calle Fremont de San Francisco, el primer edificio en el que se puede usar el ascensor como salida de emergencia para que la evacuación sea más rápida y eficiente.

La red de sismógrafos de la SSN y eventualmente el terremoto de 1985 que afectaron a Ciudad de México, el Gobierno interesó por un sistema que avisara a la ciudad de que estaba próxima a sentir un movimiento. Creando el Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de México (SAS). es un sistema de sensores sísmicos distribuidos en el centro y la costa oeste de México, diseñado para detectar movimientos sísmicos y emitir alertas tempranas a fin de advertir a las autoridades de protección civil y a la sociedad en general cuando ocurra un sismo que pueda afectar a ciudades vulnerables.

La señal de advertencia, de la alerta sísmica, permite iniciar oportunamente los procedimientos y acciones de prevención segundos antes del arribo de las ondas sísmicas que pueden ocasionar daños.



Figura 25. Mapa con los sensores sísmicos, sensores de servicios y nodos de comunicación:

FUENTE: CIRES

Este sistema fue pionero en brindar el servicio de alerta sísmica en el mundo, ya que el SAS hizo el primer alertamiento a una ciudad en el mundo el 14 de septiembre de 1995.

Actualmente el SAS, depende del Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C. (CIRES), detecta los sismos importantes en la Brecha de Guerrero y avisa con al menos 50 segundos de anticipación la llegada de ondas sísmicas importantes y representa una de las más importantes herramientas para salvaguardar a la población ante terremotos.

De igual manera, en México se cuentan con tecnologías que permiten diseñar mejores estructuras ante efectos de un flujo de aire a través de un Túnel de Viento, que es una herramienta de investigación desarrollada para ayudar en el estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de un objeto sólido. Con esta herramienta se simulan las condiciones que experimentará el objeto de la investigación en una situación real para prevenir desastres provocados por fenómenos perturbadores.

Más reciente mente, pudimos vivir una de las crisis mundiales más relevantes en la historia de la humanidad, que gracias al rol de las tecnologías de la información y la comunicación que se emplearon como respuesta a la COVID-19.

Esta crisis provocó que se presentara un paso acelerado hacia la digitalización de muchos negocios y servicios, a través del teletrabajo y los sistemas de videoconferencia tanto dentro como fuera del lugar de trabajo, así como el acceso a la sanidad, la educación y los bienes y servicios esenciales.

A medida que la pandemia remodela la manera en la que trabajamos, estamos en contacto, vamos a la escuela y compramos bienes esenciales, nunca antes había sido más importante reducir la brecha digital para los 3600 millones de personas que aún no tienen conexión a Internet y no pueden acceder a la educación en línea, al empleo o a los consejos de salud y saneamiento claves. El informe titulado *2020 Financing for Sustainable Development* (Financiación para el desarrollo sostenible de 2020) proporciona opciones normativas para aprovechar el potencial de las tecnologías digitales.

Una vez que la fase aguda de la crisis de la COVID-19 se termine, los Gobiernos tendrán que invertir en infraestructura más que nunca con el fin de acelerar la recuperación económica, crear empleo, reducir la pobreza y estimular la inversión productiva.

La pandemia del coronavirus ha puesto de manifiesto la urgente necesidad de una infraestructura resiliente. El Banco Asiático de Desarrollo destaca que la infraestructura crítica de la región continúa estando lejos de ser la adecuada en muchos países, a pesar del rápido crecimiento económico y del desarrollo que ha experimentado la región durante la última década.

## SUMINISTROS INTELIGENTES Y DIGITALIZADOS

Los desastres suelen amenazar al suministro de energía. Las ciudades con una economía baja en carbono que usan métodos de producción energética sostenibles y diversos son más adaptables y, por lo tanto, más resilientes. Las redes de energía inteligente descentralizadas y los medios alternativos de producir energía, como el aprovechamiento de la energía cinética de las aceras, se exploran cada vez más.

Los sistemas de saneamiento de aguas optimizados también pueden aumentar la resiliencia urbana en lo referente a salud pública. Las poblaciones muy densas permiten que prosperen las enfermedades contagiosas. Los Gobiernos pueden utilizar tecnologías digitales para crear un panel de gestión del saneamiento que realice un seguimiento de los indicadores y los factores que suelen estar detrás de las epidemias transmitidas por el agua.

Hoy, existe una gran oportunidad para crear proyectos de ciudades inteligentes que hagan que nuestras ciudades sean más resilientes. Esto significa construir edificios con sistemas de respaldo de agua y energía que aprovechen el poder de las fuentes de energía renovables. Significa invertir en puentes de emergencia estandarizados, como los utilizados en Haití después del huracán de 2016 Matthew, que se puede ensamblar rápidamente con piezas intercambiables confeccionadas. Y, significa desarrollar sistemas de Internet resistentes contruidos en redes descentralizadas y distribuidas que pueden preservar nuestros datos en la estela de emergencias

La tecnología nos hace más eficientes en nuestras respuestas. La clave es descubrir cómo utilizarlo de manera más efectiva. Hay mucha tecnología fuera allí, por lo que es encontrar las piezas que funcionarán en su comunidad que sean asequibles y luego implementar esas piezas.

La tecnología emergente que se está desarrollando para la respuesta a desastres varía según la organización gubernamental y la necesidad. Mencionaremos algunos ejemplos de proyectos actuales impulsados por la creatividad resiliente que proporcionan una mirada fascinante a las posibilidades:

- El Departamento de Energía de EE. UU. Está financiando la investigación y el desarrollo de "herramientas y controles avanzados" para mejorar la resistencia y confiabilidad de la red eléctrica del país. El Programa de confiabilidad de la transmisión busca formas de utilizar big data, inteligencia artificial y tecnología de aprendizaje automático para obtener más valor de los datos de los sensores que ya se recopilan y utilizan para monitorear el estado de la red y las operaciones del sistema de soporte.

- La robótica de desastres ha estado con nosotros por un tiempo, desde robots desactivadores de bombas hasta drones utilizados para inspeccionar daños y mapear la actividad geológica. Pero, el campo avanza rápidamente. El Centro de Texas A&M para búsquedas asistidas por robots y Rescate (CRASAR) ha suministrado robots para desastres que incluyen terremotos, huracanes y accidentes nucleares. En 2018, un equipo CRASAR fue enviado a Hawai para unirse al esfuerzo de respuesta en la erupción del volcán Kilauea. Uso de pequeños sistemas aéreos no tripulados (sUAS) junto con sensores de calidad del aire, herramientas de imagen avanzadas y Datos SIG para análisis espacial y mapeo, el equipo proporcionó vistas aéreas en tiempo real de la erupción.

Ellos pudieron identificar una nueva fisura que no era visible desde el suelo, proyectar el caudal de lava durante la noche cuando no se permitía volar a los helicópteros tripulados y proporcionar una recopilación continua de datos de la nueva tecnología de sensores térmicos.

- La ciudad de Miami utilizó el apoyo a través del Smart Cities Council Readiness Challenge para ayudar con su programa piloto de aumento del nivel del mar para combatir las inundaciones recurrentes. El programa, una colaboración con el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (ESRI), es un enfoque de alta tecnología que integrará sistemas de información geográfica, modelado 3D, sensores frente al mar y LIDAR (detección de luz y datos de alcance) para brindarle a la ciudad información sobre su máximo potencial. áreas vulnerables y proporcionar alertas de inundación oportunas.
- Las ciudades necesitan un sistema de transporte público urbano sostenible. Un sistema resiliente ofrece varias formas de movilidad, y no solo motorizada, sino que también incluye una amplia oferta para el tráfico peatonal y de bicicletas. Por supuesto, un acceso sencillo a los servicios es fundamental.

Un sistema de transporte resiliente garantiza un uso sencillo mediante opciones que van desde los billetes electrónicos y la navegación en línea hasta las innovaciones en movilidad urbana. Ciudades como Medellín (Colombia) y La Paz (Bolivia) han conectado mediante funiculares barrios antes marginados con el centro urbano. Otras ciudades adoptan cada vez más soluciones de movilidad inteligentes no solo para hacer más sencillo el acceso, sino también para evitar cuellos de botella y saturación de tráfico.

Para mostrar cómo las ciudades pueden protegerse mejor contra desastres naturales, Siemens, junto a la Asociación del Plan Regional (RPA) y la consultora ARUP, publicó un estudio sobre las infraestructuras urbanas resilientes, cuyos resultados muestran que la tecnología es un componente clave para la protección de la infraestructura.

Además, revela que las ciudades deben considerar su capacidad de resiliencia en todos los aspectos de la planificación, inversión y ciclos de mantenimiento, lo que reduciría los posibles daños, mejoraría la productividad, crearía un lugar seguro para vivir y podría ayudar a ahorrar miles de millones de dólares.

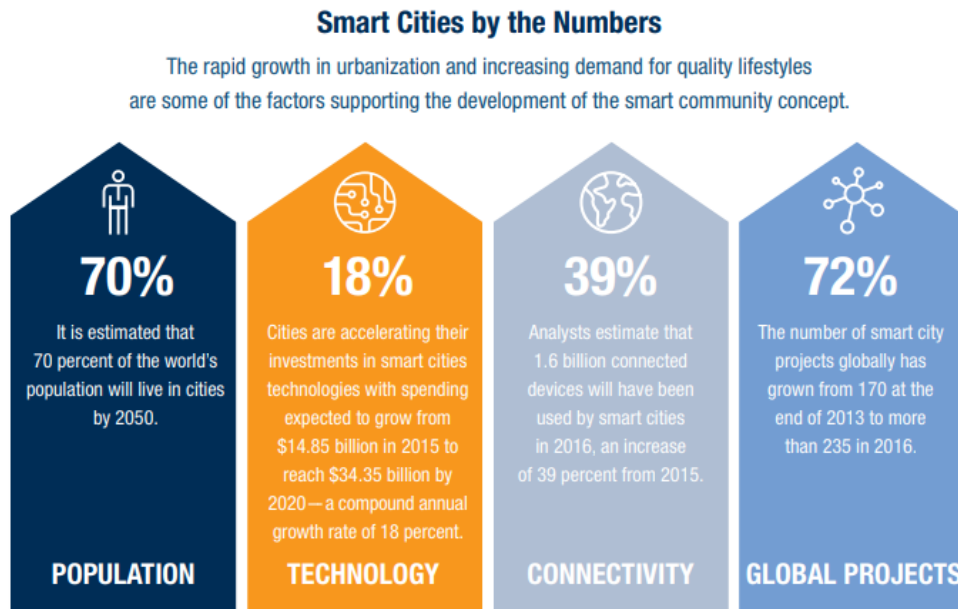


Figura 31. Estadísticas de Smart Cities.

De igual modo, soluciones como redes inteligentes (Smart Grids) y software de automatización para ferrocarriles, gestión del tráfico, gestión de la evacuación y de edificios, contribuyen a minimizar el impacto de los peligros naturales, principalmente porque la automatización inteligente de las infraestructuras es un factor clave de éxito en la realización de sistemas más flexibles y más fáciles de controlar y coordinar.

## COMENTARIOS FINALES

La necesidad de que la infraestructura sea resiliente es el resultado de varios factores: Como ya habíamos mencionado, la sociedad actual es predominantemente urbana (ONU, 2015a), y puesto que los centros urbanos son concentraciones de infraestructura, ésta debe funcionar continuamente para soportar a sus habitantes.

De acuerdo con ONU-HABITAT para 2050, el 70 % de la población mundial vivirá en ciudades. El 60 % de los nuevos asentamientos urbanos aún no se han edificado, lo que representa una gran oportunidad para construir ciudades resilientes.

Crear ciudades resilientes implica estructurar estrategias enfocadas a incrementar las características de resistencia, adaptación, recuperación y preparación de los sistemas e infraestructura que componen a la ciudad.

La historia demuestra como los procesos de inversión son motores de desarrollo e innovación que mantienen sus beneficios y retornos a mediano plazo; estos niveles de inversión tienen décadas de no desarrollarse en Centroamérica según el Banco Mundial. Es el mismo Banco Mundial, quien estima que los países en desarrollo necesitan invertir alrededor del 4,5 % del PIB para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible y, al mismo tiempo, limitar el calentamiento global para que no supere los 2 grados Celsius adicionales.

La resiliencia de la infraestructura es uno de los muchos factores determinantes de una infraestructura de alta calidad. Ya que la proporción de población mundial en centros urbanos está creciendo, la demanda de servicios de infraestructura aumenta. Este concepto describe la habilidad de cualquier sistema urbano de mantener continuidad después de impactos o de catástrofes mientras contribuye positivamente a la adaptación y la transformación.

La resiliencia de un sistema construido, como la infraestructura, depende de una variedad de factores externos y es un fenómeno complejo. El hecho de que un sistema de infraestructura sea o no resiliente depende de factores como su estado de conservación, redundancias, capacidad de respuesta de las autoridades, preparación para emergencias, interdependencias y la magnitud del evento de falla.

La resiliencia de un sistema de infraestructura no se conoce con precisión sino a posteriori. Desarrollar métodos de evaluación de resiliencia ha resultado ser un reto significativo.

Esta realidad pone sobre la mesa el duro hecho de que, por más sofisticada que sea una herramienta de diagnóstico y monitoreo, será relativamente inútil en la ausencia o débil existencia de capacidades locales, incluyendo la conformación de un cuerpo político que empuje las acciones necesarias desde diversos espacios sociales o intereses presentes.

La infraestructura existente puede ser resiliente al clima, con base a: i) asegurar una actualización que responda a nuevas normativas, códigos y reglamentos, que signifique definir medidas de adaptación, y ii) que los regímenes de mantenimiento incorporen la resiliencia a los impactos del cambio climático durante la vida de un activo.

Para lograr esto, las posibles medidas de adaptación incluyen:

- Asegurar que la infraestructura es resiliente a los posibles aumentos de los fenómenos meteorológicos extremos tales como: tormentas, inundaciones y olas de calor, así como un clima extremadamente frío.
- Asegurar que las decisiones de inversión tomen en cuenta los cambios en los patrones de demanda (necesidades) de los consumidores como una consecuencia del cambio climático
- Construcción con flexibilidad, por lo que los activos de infraestructura pueden ser modificados en el futuro sin incurrir en costos excesivos
- Asegurar que las instituciones encargadas de desarrollar infraestructura y los profesionales tengan los conocimientos adecuados y las capacidades para aplicar medidas de adaptación.

El resultado será una red de servicios más resiliente y robusta, capaces de hacer frente a los impactos climáticos proyectados, por ejemplo con mayor flexibilidad para hacer frente a la incertidumbre y sin coste económico.

Dentro del último capítulo del presente documento se han presentado algunas ideas sobre cómo hacer que las ciudades sean aún más inteligentes y resistentes. Los desastres naturales recientes deben enfrentarse con un plan de preparación preciso en cada ciudad para dar a las poblaciones un estilo de vida aún más seguro.

Por último, y con la entrada en escena de las nuevas tecnologías, algunos expertos creen que la Inteligencia Artificial (IA) podría ser una piedra angular para el futuro de las ciudades inteligentes y resistentes.



## CONCLUSIÓN

Necesitamos cambiar nuestra forma de pensar y crear una verdadera cultura de preparación. Invertir en actividades de mitigación antes del próximo desastre es la clave para construir una nación más resistente. Solo en 2016, hubo 108 países y territorios donde hubo desastres, equivalente al 54% del mundo.

No podemos evitar los desastres naturales, pero con nuestros conocimientos y nuestras tecnologías podemos proteger mejor nuestras infraestructuras. Particularmente en tiempos de dificultades económicas, las ciudades deben invertir de manera eficiente, mientras reducen al mínimo los riesgos y los hacen calculables.

La infraestructura resiliente no es una opción, sino una necesidad. Lo que se puede obtener es una ciudad mejor protegida y al mismo tiempo más eficiente y fiable.

En la literatura se encuentran diversas herramientas para evaluar la resiliencia en ciudades mediante un índice; muchas de ellas evalúan de manera conjunta las múltiples componentes presentes en la ciudad, como: salud, bienestar, economía, sociedad, organización, estrategia, infraestructura, ecosistemas, entre otros, y su comportamiento ante las diferentes situaciones críticas o agentes perturbadores a las que se puede enfrentar. Algunas otras evalúan estas componentes en situaciones determinadas como terremotos, epidemias, tsunamis o terrorismo, por mencionar algunos. La componente técnica que involucra a la infraestructura de la ciudad es uno de los aspectos de mayor envergadura e importancia.

Todo lo que podemos evaluar a priori en términos de resiliencia, son probabilidades resultado de un proceso estocástico. Sólo cuando el evento ocurre realmente sabemos si un sistema era efectivamente resiliente (Gay y Sinha, 2013a). A pesar de esto, sí podemos aumentar a priori la probabilidad de que un sistema de infraestructura sea resiliente.

Invertir en infraestructura resiliente esconde una importante oportunidad económica: el beneficio neto general de hacerlo en los países en desarrollo ascendería a USD 4,2 billones durante la vida útil de la nueva infraestructura. Para inversionistas en infraestructura, gobiernos, bancos de desarrollo y el sector privado, el mensaje es claro: en lugar de solo gastar más, es también gastar mejor.

Las ciudades resilientes se conectan a la tecnología para la respuesta y la recuperación. La tecnología puede romper los límites jurisdiccionales y los silos para proporcionar una respuesta rápida, una comunicación coordinada y una recuperación mejorada.

En definitiva, las ciudades y los gobiernos locales deben incrementar su capacidad de reducir los daños y los periodos de recuperación de cualquier desastre potencial. Ahora es el momento de sentar las bases para la construcción inteligente y la infraestructura.

## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Población mundial estimada por ONU.

Figura 2. Mapa urbano del siglo XXI (ONU FPA).

Figura 3. Perspectivas del crecimiento de las zonas urbanas a nivel mundial (% del total).

Figura 4. Número de desastres registrados a nivel mundial.

Figura 5.- Cantidad de desastres por cada tipo durante el período 1998-2017.

Figura 6.- Panorama de Riesgos Globales 2020.

Figura 7. Ejemplo de una gráfica de vulnerabilidad.

Figura 8. Componentes del riesgo.

Figura 9. Esquema del módulo de resiliencia representado por el área sombreada.

Figura 10. Curva de funcionalidad.

Figura 11. Resiliencia considerando costo de recuperación.

Figura 12. Perfil de Resiliencia Urbana.

Figura 13. Pasos para el diagnóstico de la resiliencia.

Figura 14. Temas y subtemas para obtener el CRPP. (Paso 1 A).

Figura 15. Subtemas e indicadores para obtener el CRPP. (Paso 1 B).

Figura 16. Subtemas e indicadores para obtener el CRPP. (Paso 2).

Figura 17. Fenómenos e indicadores para obtener el CRPP. (Paso 3).

Figura 18. Elementos de análisis para obtener el CRPP. (Paso 4).

Figura 19: Inversión histórica en infraestructura en % del PIB para el periodo 1996-2020.

Figura 20. Terremoto de Haití de enero de 2010 magnitud de 7,0 Mw.

Figura 21. Primeras estaciones autónomas instaladas en México.

Figura 22. Sismógrafo Wiechert.

Figura 23. Sismómetro electromagnético horizontal Sprengnether.

Figura 24. Instrumentos de estación telemétrica digital.

Figura 25. Mapa con los sensores sísmicos, sensores de servicios y nodos de comunicación.

Figura 26. Estadísticas de Smart Cities.

## **RELACIÓN DE TABLAS**

Tabla 1.- Clasificación de los fenómenos perturbadores.

Tabla 2.- Control de variables de los componentes de riesgo.

Tabla 3. Matriz de Riesgos empleado en la herramienta Quick Risk Estimation Tool.

Tabla 4.- Red de Ciudades Resilientes en México con la metodología CRPP de la ONU-HABITAT.

Tabla 5. Cinco recomendaciones para abordar los cinco obstáculos a la infraestructura resiliente.

Tabla 6. Principales desastres que han afectado las ciudades en México (1985-2015).

## **RELACIÓN DE GRÁFICAS**

Grafica 1.- Costo de los desastres naturales en México de 2009 a 2019 (en miles de millones de pesos mexicanos).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcántara Ayala, Irasema. 2019. Gestión Integral de Riesgo de Desastres en México: reflexiones, retos y propuestas de transformación de la política pública desde la academia; Invest. Geog No.98 Ciudad de México ene./abr. 2019.

Bitrán Bitrán, Daniel, Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL. 1995. Impacto económico de los desastres naturales en la infraestructura de salud, Rentabilidad de las medidas de mitigación.

Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., and von Winterfeldt, D. (2003). "A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities." Earthquake Spectra, 19.

Burton, I.; Kates, R, & G. White. (1993) "The Environment as Hazard". Guilford Press. New York/London. 290 p.

C. S. Holling. 1973. Annual Review of Ecology and Systematics, Resilience and Stability of Ecological Systems Vol. 4, pp. 1-23.

Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres | CRED; Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres | UNDRR. 2018. Pérdidas económicas, pobreza y desastres 1998-2017.

Centro Nacional de Prevención de Desastres | CENAPRED. 2006. Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros de Riesgos. Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica. 1ª edición, noviembre 2006.

Centro Nacional de Prevención de Desastres | CENAPRED. 2021. Atlas Nacional de Riesgo de la Republica Mexicana. Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México.

Centro Nacional de Prevención de Desastres | CENAPRED. Consultado el 01 de marzo de 2021. URL: [www.ifrc.org](http://www.ifrc.org)

Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL. 200. Equidad, desarrollo y ciudadanía.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL. 2014. Manual para la Evaluación de Desastres. 300 p.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL. 2018. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. ISBN: 978-92-1-058643-6.

Delgado, Gian Carlo; De Luca Zuria, Ana; Vázquez Zentella, Verónica. 2015. Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México; Gobernanza; Asentamientos urbanos; Dinámica de la población; Cambio climático; Perspectiva de género. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades. México D. F.

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas | ONU DAES. 2018. Nueva York.

Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos; Oficina de Asistencia para Desastres en el Extranjero de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional | USAID. 1991. Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para *Reducir los Daños*. Organización de los Estados Americanos, Washington, D.C. 1991.

Díaz Caravantes, Rolando Enrique. 2018. Vulnerabilidad y riesgo como conceptos indisociables para el estudio del impacto del cambio climático en la salud. Región y sociedad vol.30 no.73 Hermosillo sep./dic. 2018.

Estrada Díaz, Gabriela. 2019. Prevenir riesgos o atender desastres en las ciudades. Dos opciones de política con alcances distintos. Open Edition Journals ED.56 p. 41-56 2019.

Foro Económico Mundial | The Global Risk Report 2020.

Foro Económico Mundial | WEF. 2020. The Global Risk Report 2020. 15th Edition.

Gay, L., and Sinha, S. (2013). "Stochastic Simulation Methodology for Resilience Assessment of Water Distribution Networks." *International Journal of Critical Infrastructures*, 10(2), 134–150.

Gere, James; Goodno, Barry. *Mecánica de Materiales*. Séptima Edición. Editorial CENGAGE Learning. 2009. ISBN: 0-534-55397-4.

Grupo Banco Mundial. 2019. Hacia una Centroamérica más resiliente. Ciudad de Panamá. Febrero 6-7, 2019.

Gutiérrez de MacGregor, María de Teresa. 2003. Desarrollo y distribución de la población urbana en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. No. 50, 2003, pp. 77-91.

Hallegatte, Stephane; Rentschler, Jun; Rozenberg, Julie. 2019. Lifelines : Tomando acción hacia una infraestructura más resiliente. Sustainable Infrastructure; Washington, DC: World Bank. © World Bank.

Holling, C. S. (1973). "Resilience and stability of ecological systems." Annual review of ecology and systematics, 4, 1–23.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática | INEGI. 2020. Censo General de Población y Vivienda. México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies | IFRC. 2021. Consultado el 01 de marzo de 2021. URL: [www.gob.mx/cenapred](http://www.gob.mx/cenapred)

Ley General de Protección Civil, Art. 2, Fracc. XXII-XXIII / Diario Oficial de la Federación 06-06-2012.

Martín Murillo, Laura; Rivera Alejo, Julio; Castizo Robles, Rosa. 2018. Cambio climático y desarrollo sostenible en Iberoamérica 2018. Informe La Rábida, Huelva.

Naciones Unidas | ONU. 2015. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

O'Rourke, T. D. (2007). "Critical Infrastructure, Interdependencies, and Resilience." *The Bridge*, 37.

Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas | UNDRR. 2013. Cómo desarrollar ciudades más resilientes, Un Manual para líderes de los gobiernos locales, Una contribución a la Campaña Mundial 2010-2015 Desarrollando ciudades resilientes ¡Mi ciudad se está preparando! Edición adaptada al contexto de las Américas Panamá.

Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas | UNDRR. 2021. Informe de evaluación regional sobre el riesgo de desastres en América Latina y el Caribe. Desafíos para la reducción del riesgo de desastres y avances en el cumplimiento de las metas del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030), Panamá.

Olabegoya, R. (2006). "La protección civil y las catástrofes naturales". *Ingeniería y territorio*, 74, pp. 82-87

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura | UNESCO. Consultado el 01 de marzo de 2021. URL: [www.unesco.org/new](http://www.unesco.org/new)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos | OCDE. 2013. Estudio de la OCDE sobre el Sistema Nacional de Protección Civil en México.

Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos es una agencia de las Naciones Unidas | ONU-HABITAT. 2016. Gobierno Federal México “Guía de Resiliencia Urbana 2016”.

Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos es una agencia de las Naciones Unidas | ONU-HABITAT. 2018. “Ciudades Resilientes” Por un mejor futuro urbano.

Quiroga Martínez, Rayén; Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL. 2007. Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. División de Estadística y Proyecciones Económicas. Santiago de Chile.

Real Academia Española. (2014). Diccionario de la lengua española (23a ed.).

Rinaldi, S. M. (2004). “Modeling and Simulating Critical Infrastructures and Their Interdependencies.” 37th Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE.

Rodríguez Aldabe, Yosú. Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL. 2018. Potenciar la resiliencia de las ciudades y sus territorios de pertenencia en el marco de los acuerdos sobre cambio climático y de la Nueva Agenda Urbana. Estudios del Cambio Climático en América Latina.

Rutter, M. (1993). “Resilience; some conceptual considerations”. *Journal of Adolescent Health*. 14, 8, 626-631.

Twigg, J. (2007). “Características de una comunidad resiliente ante los desastres”.

Uriarte Arciniega, Juan de Dios. 2010. La resiliencia comunitaria en situaciones catastróficas y de emergencia. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, vol. 1, núm. 1, 2010, pp. 687-693 Asociación Nacional de Psicología Evolutiva y Educativa de la Infancia, Adolescencia y Mayores Badajoz, España.

Vugrin, E. D., Warren, D. E., and Ehlen, M. A. (2010). “A resilience assessment framework for infrastructure and economic systems: Quantitative and qualitative resilience analysis of petrochemical supply chains to a hurricane.” 25th International Conference of the Center for Chemical Process Safety 2010 - 2010 AIChE Spring Meeting and 6th Global Conference on Process Safety, March 21, 2010 - March 25, 2010,

Weikert Bicalho, Fabio. 2021. Infraestructura resiliente: Un imperativo para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Comercial Internacional serie Comercio Internacional, N° 160 (LC/TS.2020/177), Santiago. Unidad de Servicios de Infraestructura de la División de Comercio Internacional e Integración de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL.

Whetten, N. L. 1948. Rural Mexico, The University of Chicago Press, Chicago.