



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**RESILIENCIA DE LA INFRAESTRUCTURA
ESTRATÉGICA URBANA ANTE EL IMPACTO
DE HURACANES**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

M.C. ANITA MARTÍNEZ MÉNDEZ

DIRECTOR

DR. OSCAR FRAUSTO MARTÍNEZ

ASESORES

**DRA. LUCINDA ARROYO ARCOS
DRA. HERLINDA DEL SOCORRO SILVA POOT
DRA. MARÍA LUISA HERNÁNDEZ AGUILAR
DR. JOSÉ MANUEL CAMACHO SANABRIA
DRA. ANA CECILIA TRAVIESO BELLO
DR. DAVID VELÁZQUEZ TORRES**





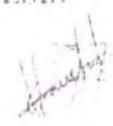
UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ
DEL PROGRAMA DE DOCTORADO Y APROBADA COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

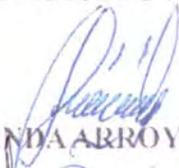
DOCTORA EN GEOGRAFÍA

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:


DR. OSCAR FRAUSTO MARTÍNEZ

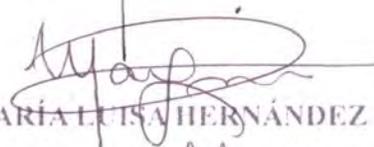
ASESOR:


DRA. LUCINDA ARROYO ARCOS

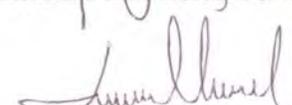
ASESOR:


DRA. HERLINDA DEL SOCORRO SILVA POOT

ASESOR:

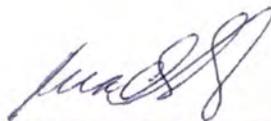

DRA. MARÍA LUISA HERNÁNDEZ AGUILAR

ASESOR:


DR. JOSÉ MANUEL CAMACHO SANABRIA

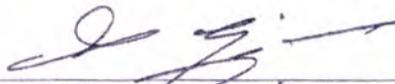


ASESOR:



DRA. ANA CECILIA TRAVIESO BELLO

ASESOR:



DR. DAVID VELÁZQUEZ TORRES

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, FEBRERO DE 2020.



ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I.	
ANTECEDENTES	5
1.1. Planteamiento del problema.....	5
1.2. Justificación.....	8
1.3. Objetivo general y específicos.....	13
1.4. Supuestos.....	13
CAPÍTULO II. GEOGRAFÍA, INFRAESTRUCTURA Y RESILIENCIA	14
2.1. Antecedentes de la teoría de resiliencia.....	14
2.2. Resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana.....	19
2.3 Cuantificación de la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana.....	21
2.3.1. Evaluación cualitativa	22
2.3.1.1. Marcos conceptuales.....	22
2.3.1.2. Índices semi-cuantitativos.....	24
2.3.2. Evaluación cuantitativa	27
2.3.2.1. Modelos estocásticos y deterministas.....	27
2.4. Casos de estudio de resiliencia.....	29
2.5. Retos en la evaluación de los sistemas de infraestructura urbana.....	32
CAPÍTULO III. INFRAESTRUCTURA URBANA RESILIENTE	34
3.1. El estudio de la infraestructura urbana desde la geografía urbana.....	34
3.3. El estudio de la resiliencia desde la geografía.....	48
3.3.1. Resiliencia desde el enfoque positivista.....	49
3.3.2. Resiliencia desde el enfoque constructivista.....	51
3.2. Los sistemas de infraestructura urbana.....	55
3.2.1. El sistema de agua potable.....	57
3.2.2. El sistema de saneamiento.....	58
3.2.3. El sistema de electricidad.....	59
3.4. La resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana.....	60
3.5. Los riesgos en los sistemas de infraestructura.....	71
3.5.1. Elemento perturbador: Los huracanes	76
3.5.1.1. Viento.....	77
3.5.1.2. Marea de tormenta.....	78
3.5.1.3. Oleaje.....	78
3.5.1.4. Precipitaciones.....	79

3.6. Los sistemas de infraestructura urbana en el contexto de desastres.....	79
3.7. Cuantificación de la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana....	82
CAPÍTULO IV. MARCO	
METODOLÓGICO	85
4.1. Antecedentes históricos de Chetumal.....	86
4.2. Área de estudio.....	87
4.3. Caracterización físico-natural del área de estudio.....	89
4.4. Selección del área de estudio... ..	98
4.5. Identificación del evento.....	100
4.2.2.1. El desarrollo urbano y la historia de los huracanes en Chetumal, Quintana Roo.....	101
4.2.2.1.1. El huracán Janet.....	101
4.2.2.1.2. El huracán Carmen.....	104
4.2.2.1.3. El huracán Mitch.....	107
4.2.2.1.4. El huracán Dean.....	108
4.4. Metodología	112
4.4.1. Revisión documental.....	113
4.4.2. Diseño y aplicación de instrumentos	114
4.4.1.1. Desarrollo de la encuesta.....	115
4.4.1.1. Elaboración del cuestionario.....	115
4.4.1.2. Cálculo de la muestra.....	116
4.4.1.2.1. Distribución de la muestra.....	118
4.4.1.2. Desarrollo de la entrevista.....	119
4.2.3.2.1. Elaboración de la guía de entrevista.....	119
4.4.3. Recorridos de campo y entrevistas informales.....	121
4.4.4. Análisis de la información.....	122
4.4.5. Cuantificación del índice de resiliencia.....	123
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	126
5.1. El sistema de agua potable	127
5.1.1. Caracterización del sistema de infraestructura de agua potable.....	127
5.1.2. Percepción de los servidores públicos y usuarios sobre la resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable ante el huracán Dean.....	133
5.1.3. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable ante el huracán Dean.....	149
5.2. El sistema de drenaje pluvial	151
5.2.1. Caracterización del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.....	151
5.2.2. Percepción de los servidores públicos y usuarios sobre la resiliencia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial ante el huracán Dean.....	155

5.2.3. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial ante el huracán Dean.....	172
5.3. El sistema de drenaje sanitario.....	173
5.3.1. Caracterización del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.....	173
5.3.2. Percepción de los servidores públicos y usuarios sobre la resiliencia del sistema de infraestructura de drenaje sanitario ante el huracán Dean.....	174
5.3.3. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura de drenaje sanitario ante el huracán Dean.....	182
5.4. El sistema de electricidad.....	183
5.4.1. Caracterización del sistema de infraestructura de electricidad.....	183
5.4.2. Percepción de los servidores públicos y usuarios sobre la resiliencia del sistema de infraestructura de electricidad ante el huracán Dean.....	
5.4.3. Cuantificación del índice de resiliencia del sistema de infraestructura de electricidad ante el huracán Dean.....	
CAPÍTULO VI.	
CONCLUSIONES.....	185
REFERENCIAS.....	188
ANEXOS.....	

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO III. INFRAESTRUCTURA URBANA RESILIENTE.....	34
Figura 3.1. Años de vida de personas, activos e infraestructura.....	65
Figura 3.2. Propiedades de resiliencia de la infraestructura.....	66
Figura 3.3. Propiedades para evaluar la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera.....	68
CAPÍTULO IV... MARCO METOLÓGICO.....	85
Figura 4.1. Ubicación geográfica de la ciudad de Chetumal, en el contexto nacional, estatal y local.....	89
Figura 4.2. Subprovincias Fisiográficas.....	90
Figura 4.3. Sistema de Topoformas y Curvas de nivel.....	91
Figura 4.4. Rocas y Fracturas.....	92
Figura 4.5. Tipos de suelo.....	94
Figura 4.6. Hidrología.....	95

Figura 4.7. Unidades Climáticas.....	97
Figura 4.8. Tipos de suelo y vegetación.....	98
Figura 4.9. Marco muestral.....	118
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	126
Figura 5.1. Afectaciones en curbatos por el huracán Janet.....	129
Figura 5.2. Sistema de abastecimiento de agua potable, Chetumal Quintana Roo, México.....	132
Figura 5.3. Primer colector de drenaje pluvial a cielo abierto.....	152
Figura 5.4. Sistema de drenaje pluvial.....	155
Figura 5.5. Colector pluvial azolvado.....	157

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II. GEOGRAFÍA, INFRAESTRUCTURA Y RESILIENCIA	14
Tabla 2.1. Marcos conceptuales de evaluación de resiliencia en la década del 2000.....	23
Tabla 2.2. Marcos conceptuales de evaluación de resiliencia en la década de 2010.....	23
Tabla 2.3. Acciones de adaptación a impactos del cambio climático.....	29
CAPÍTULO III. INFRAESTRUCTURA URBANA RESILIENTE	34
Tabla 3.1. Componentes de la estructura urbana interna de las ciudades.....	37
Tabla 3.2. Generaciones de la Escuela Sociológica de Chicago.....	41
Tabla 3.3. Matriz de cualidades de resiliencia.....	63
Tabla 3.4. Infraestructura de larga vida y su vulnerabilidad al cambio climático....	64
Tabla 3.5. Dominios de un sistema de infraestructura resiliente.....	68
Tabla 3.6. Clasificación de riesgo.....	72
Tabla 3.7. Factores de vulnerabilidad en los sistemas de infraestructura.....	74
Tabla 3.8. Clasificación de huracanes.....	77
CAPÍTULO IV. RCO METOLÓGICO	85
Tabla 4.1.- Temperatura media mensual °C.....	96
Tabla 4.2.- Temperatura máxima promedio mensual °C.....	96
Tabla 4.3. Proyecciones de Consejo Nacional de Población para el 2020 y 2030.....	99
Tabla 4.4. Distribución de muestra en estratos.....	118
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	126
Tabla 5.1. Indicadores de robustez del sistema de infraestructura de agua potable.....	133
Tabla 5.2. Indicadores de recursos del sistema de infraestructura de agua potable.....	138

Tabla 5.3. Indicadores de funcionalidad del sistema de infraestructura de agua potable.....	141
Tabla 5.4. Calidad del agua.....	142
Tabla 5.5. Indicadores de redundancia del sistema de infraestructura de agua potable.....	143
Tabla 5.6. Indicadores de rapidez del sistema de infraestructura de agua potable.....	147
Tabla 5.7. Indicadores de capacidad de transformación del sistema de infraestructura de agua potable.....	148
Tabla 5.8. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable.....	149
Tabla 5.9. Indicadores de robustez del sistema de infraestructura pluvial.....	156
Tabla 5.10. Indicadores de recursos del sistema de infraestructura pluvial.....	159
Tabla 5.11. Indicadores de funcionalidad del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.....	161
Tabla 5.12. Indicadores de redundancia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.....	165
Tabla 5.13. Tipo de afectaciones al sistema de drenaje pluvial de Chetumal, México.....	166
Tabla 5.14. Acciones implementadas por la población.....	167
Tabla 5.15. Indicadores de rapidez del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.....	169
Tabla 5.16. Tiempo de recuperación del sistema.....	170
Tabla 5.17. Indicadores de redundancia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.....	171
Tabla 5.18. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.....	172
Tabla 5.19. Indicadores de robustez del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.....	175
Tabla 5.20. Indicadores de recursos del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.....	178
Tabla 5.21. Indicadores de funcionalidad del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.....	179
Tabla 5.22. Indicadores de redundancia del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.....	180
Tabla 5.23. Indicadores de rapidez del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.....	181
Tabla 5.24. Indicadores de transformación del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.....	182
Tabla 5.25. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.....	183

RESUMEN

La construcción de nuevos sistemas de infraestructura urbana en ciudades costeras para la dotación de servicios básicos asociado a las dinámicas de crecimiento poblacional y urbano, ha provocado que sean edificadas en zonas sensibles a los impactos del cambio climático como son los huracanes. En este contexto, se realizó el cálculo y análisis de la resiliencia de la infraestructura urbana ante huracanes en Chetumal, Quintana Roo, México. Para ello, se utilizaron los componentes de: robustez, recursos, redundancia, rapidez y transformación. Como instrumentos se usó un cuestionario y cuatro guías de entrevista semi-estructuradas. El primero mediante un muestreo probabilístico (292 hogares) y la segunda con un muestreo no probabilístico.

Se encontró que el sistema de infraestructura de saneamiento (drenaje pluvial: 0.50 y sanitario: 0.53) cuenta con un índice de baja resiliencia, mientras que el de agua potable (0.65) y electricidad (0.69) presentaron alta resiliencia. La baja resiliencia estuvo asociada a la falta de planificación de los sistemas de infraestructura acorde al crecimiento poblacional y urbano, bajo nivel de aprendizaje de los eventos pasados, escasa gobernabilidad y sinergia entre los organismos que la construyen y operan, lo cual evidenció que los retos para fortalecer la resiliencia están claramente definidos: planificación, experiencia, gobernabilidad, sinergia y flujos de información.

SUMMARY

The construction of new urban infrastructure systems in coastal cities for the provision of basic services associated with the dynamics of population and urban growth, has caused them to be built in areas sensitive to the impacts of climate change such as hurricanes. In this context, the calculation and analysis of the resilience of urban infrastructure to hurricanes in Chetumal, Quintana Roo, Mexico was performed. For this, the components of: robustness, resources, redundancy, speed and transformation were used. As instruments, a questionnaire and four semi-structured interview guides were used. The first through a probabilistic sampling (292 households) and the second with a non-probabilistic sampling.

It was found that the sanitation infrastructure system (storm drain: 0.50 and sanitary: 0.53) has a low resilience index, while that of drinking water (0.65) and electricity (0.69) showed high resilience. The low resilience was associated with the lack of planning of infrastructure systems according to population and urban growth, low level of learning of past events, poor governance and synergy among the organizations that build and operate it, which showed that the challenges To strengthen resilience are clearly defined: planning, experience, governance, synergy and information flows.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo formó parte del proyecto de investigación No. 248375 denominado “Resiliencia en ciudades costeras del Caribe Mexicano ante desastres por huracanes: Chetumal, Tulum y Playa del Carmen” financiado por el CONACYT.

El objetivo fue evaluar la resiliencia de los sistemas de infraestructura ante el impacto de huracanes. Para ello, se utilizó como estudio de caso la localidad urbana costera de Chetumal, y como evento cohorte el huracán Dean que afectó la capital en agosto del año 2007.

Para poder cumplir con los objetivos del trabajo, se realizó una revisión documental que permitió definir componentes y posteriormente indicadores de resiliencia, mismos que sirvieron para evaluarla en la infraestructura estratégica urbana.

El presente trabajo se estructuró en seis capítulos: el primero corresponde a los antecedentes donde se presenta la problemática, las preguntas de investigación y los objetivos del estudio.

En el segundo capítulo se expone el estado del arte, donde se da a conocer la evolución del constructo que guio esta investigación, así como los diferentes métodos de cuantificación de resiliencia para sistemas de infraestructura urbana.

El tercer capítulo se compone por los fundamentos teóricos que permitieron definir los componentes y el marco metodológico.

El cuarto capítulo contiene el proceso metodológico que se llevó a cabo para alcanzar los objetivos planteados. Se inicia exponiendo la zona de estudio y el evento cohorte que sirvió para evaluar la resiliencia. Posteriormente, se presenta el proceso realizado para la revisión documental, diseño y aplicación de instrumentos, análisis de la información y cuantificación de la resiliencia.

En el quinto capítulo se presenta los resultados y discusiones para cada uno de los sistemas de infraestructura urbana; los cuales se estructuran en tres apartados: 1) Caracterización del sistema de infraestructura; 2) Percepción de los servidores

públicos y usuarios sobre la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana y
3) Cuantificación de índice de resiliencia.

Finalmente, el capítulo seis corresponde a las conclusiones, así como a los vacíos que existen en la línea de investigación y aquellos temas que faltaron abordar.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

En el presente apartado se describe la problemática que se abordó, la cual dio pauta a las preguntas de investigación. Asimismo, a través de la justificación se da a conocer la relevancia del estudio y las aportaciones del mismo. Por último, se presenta los objetivos y la hipótesis que guiaron la investigación.

1.1. Planteamiento del problema

La dinámica de crecimiento demográfico y el aumento de la densidad han tenido un acelerado desarrollo en las últimas dos décadas, y son considerados uno de los mayores desafíos del siglo XXI (ONU-HABITAT, 2014). A nivel mundial del año 2005 al 2015, la población aumentó un 6% y llegó a 7 383 009 millones de habitantes mientras que la densidad poblacional pasó de 50.3 a 56.8 hab/km². En Latinoamérica y el Caribe, se tuvo el mismo porcentaje de crecimiento demográfico con 632 381 habitantes y una densidad poblacional que pasó de 27.8 hab/km² a 31.4 hab/km² en el 2015 (ONU, 2017).

El territorio mexicano no fue ajeno a esa dinámica de crecimiento. En el mismo periodo, tuvo un incremento poblacional de 16%, pasó de 103 263 388 a 119 938 473 habitantes y se espera que para el 2050 alcance un total de 150.84 millones (CONAPO, 2013); mientras que su densidad poblacional aumentó de 55.8 a 64.8 hab/km². Además, se encuentra en el undécimo lugar de los países con mayor población en el mundo y el tercero de América después de Estados Unidos y Brasil (CEPAL, 2017).

Los procesos de desarrollo en los territorios, muestran que el crecimiento demográfico y el aumento de la densidad son factores clave del acelerado desarrollo urbano a nivel mundial, regional y nacional. Diversos autores como Cavazos et al. (2015), Castillo y Velázquez (2015), Baker (2012), Yañez et al. (2010), Azuz y Rivera (2009: 2007) y Adger et al. (2005); manifestaron que dicho desarrollo se ha focalizado en zonas costeras, que por sus características geográficas son vulnerables a los impactos del cambio climático, tales como son: huracanes, tsunamis, tormentas tropicales, lluvias atípicas, marea de tormenta, transmisión de enfermedades infecciosas relacionadas con el mar, erosión costera, entre otras.

En ese sentido, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (2014) y ONU-HABITAT (2011) plantearon que los impactos relacionados con el cambio climático serán especialmente duros en las zonas costeras bajas, donde se encuentran diversas ciudades más grandes del mundo; que aunque representan solo el 2% del área terrestre total, aproximadamente el 13% de la población urbana mundial habita en ellas. Mientras que a nivel nacional de 32 entidades federativas que conforman la República Mexicana, 17 tienen apertura al mar y ocupan una superficie continental total de 1.095.084 km², lo que representa aproximadamente el 56 % del territorio nacional (PECC, 2014; CENAPRED, 2001).

Por otra parte, la dinámica de urbanización está ejerciendo presión sobre los ecosistemas costeros y marinos, y ha llegado a ocasionar graves deterioros en ellos, convirtiéndolos en significativos problemas ambientales y sociales (Barragán, 2014) como son: la pérdida de tierras útiles para actividades agropecuarias y reservas naturales que sustentan la vida de las ciudades (Toro, 2005; De Andrés y Barragán, 2014).

De acuerdo con lo anterior, en opinión de Baker (2012) y ONU-HABITAT (2011) gran parte de la urbanización se ha presentado en los países en desarrollo, concentrado en asentamientos informales y barrios precarios; que cuentan con escasos recursos para enfrentar los impactos asociados al cambio climático, dado el déficit de gobernabilidad, infraestructura, igualdad social y económica.

Situación, que autores como: López (2009), Bazant (2010), Toro (2005) y Arriagada (2003) la relacionan con los costos accesibles que se otorgan los terrenos, lo que a su vez, ha permitido que las ciudades crezcan de manera rápida y den cabida a la demanda demográfica, dado la flexibilidad o condiciones bajo las cuales se da el desarrollo de los asentamientos humanos de bajos ingresos, conjuntos de vivienda de ingresos medios o los fraccionamientos residenciales de altos ingresos, que se han ubicado en las periferias, bordes o interfaces urbano rurales de la ciudad en cada década; en terrenos de procedencia ejidal o en algunos casos comunal, los cuales carecen de una adecuada planificación urbana y no cuentan con infraestructura para la dotación de servicios básicos.

Ese contexto, ha evidenciado una enmarcada segregación en los espacios urbanos, que está relacionada con la falta de proyección en los sistemas de infraestructura, equipamientos y servicios, por mencionar algunos; creando con ello, espacios vulnerables que no cuentan con elementos que favorezcan su capacidad de respuesta en lo espacial, ambiental, físico y social ante diversos fenómenos, como son los asociados al cambio climático. Dicho escenario, a su vez contribuye a la creación de ciudades con altos índices de pobreza, falta de equipamiento, carencia de servicios públicos y con infraestructura de baja calidad y capacidad, o en su caso la ausencia de la misma (Bazant, 2010; Toro, 2005).

La calidad y capacidad son indicadores clave en los sistemas de infraestructura urbana pues de ellos depende la sinergia con la que trabajan para realizar una función útil en conjunto, así como con la falta de servicios básicos en las ciudades. En ese sentido, a nivel mundial, para el año 2015 se tuvo un rezago de agua potable de 15.5% (Boullosa, 2012), en saneamiento de 49.5% y en electricidad 25% (ONU, 2018). Mientras que en América Latina y el Caribe, la situación fue similar, el rezago de agua potable fue de 13.13%, en saneamiento un 37.6% y en electricidad 5.2% (ONU, 2018; CEPAL, 2017). Finalmente, en el contexto nacional se estimó un rezago en agua potable de 8.3 %, mientras que en saneamiento 9% y en electricidad 0.9 % (CONEVAL, 2017; INEGI, 2015).

El rezago en los servicios básicos, es una muestra que se ha rebasado la capacidad de abastecimiento de los sistemas de infraestructura urbana y al mismo tiempo, se está demandado su construcción para poder dotar de servicios esenciales a los habitantes de las nuevas áreas urbanizadas. Al respecto, para Baker (2012) este panorama se relaciona con la postura que toma el gobierno, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado; para invertir en los sistemas de infraestructura cuando los habitantes carecen de una tenencia segura, percibiendo sus inversiones como riesgosas.

Por otro lado, dadas las condiciones de ubicación en áreas de riesgo; sin duda, la construcción, ampliación y funcionamiento de nuevos sistemas de infraestructura urbana pueden verse condicionados debido al modelo de desarrollo de las ciudades.

En opinión de Martín y Justo (2015) ese escenario puede relacionarse a diversas causas, como: la débil gobernabilidad, ineficacia de los marcos normativos, falta de capacidades institucionales, de medios materiales y humanos adecuados y la falta de participación ciudadana.

Lo expuesto en los párrafos anteriores muestra la necesidad de construir sistemas de infraestructura resilientes en ciudades costeras, los cuales sean capaces de hacer frente a los impactos asociados al cambio climático como son los huracanes.

En tal sentido, se plantean las siguientes interrogantes:

1. ¿Qué factores de los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera están incidiendo en su resiliencia ante el impacto de huracanes?
2. ¿Cuál es la percepción de los usuarios y servidores públicos sobre la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera?
3. ¿Cuál es el nivel de resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera ante el impacto de huracanes?

1.2. Justificación

Los sistemas y redes de infraestructura urbana son considerados el eje central de las sociedades y un componente clave de la vida económica, social, y cultural de las comunidades y países; por ser un mecanismo de generación, almacenamiento y distribución de materia y energía. Su objetivo es satisfacer las necesidades básicas y complementarias del ser humano, haciendo posible las transacciones dentro de un espacio geográfico y económico determinado (Steele y Legacy, 2017; Gallego y Essex, 2016; UNOPS y ONU-Hábitat, 2015; UNISDR, 2014; USAID, 2013; Gay, 2016; Tamvakis y Xenidis, 2013; Stephen y Moench, 2012; Giordano, 2012; Lomelí y Ríos, 2008).

En el contexto de desastres asociados a huracanes, los sistemas de infraestructura urbana son un elemento fundamental en los espacios urbanos, dada su interdependencia entre ellos y con otros componentes de la estructura urbana. Además, se han convertido en esenciales en los momentos de crisis (Steele y

Legacy, 2017; Peña et al., 2015; ProDus-UCR, 2014; Stephen y Moench, 2012; Giordano, 2012).

De acuerdo a Adger et al. (2005) dos tercios de los desastres costeros registrados cada año se asocian a fenómenos hidrometeorológicos como tormentas tropicales, huracanes e inundaciones, los cuales han puesto a prueba la resiliencia de los sistemas que conforman las ciudades y por ende los de infraestructura urbana, incluso en algunos casos se ha evidenciado la falta de capacidad de respuesta ante los desastres que han sucedido a lo largo de la historia.

Como muestra, se encuentra el año 2005 que fue considerado un parteaguas en la historia de los desastres tanto en México como para el mundo, por ser la temporada más activa de huracanes y en la que hubo un alto registro de daños. En ese año, el territorio mexicano tuvo una afectación provocada por ocho huracanes: Bret, Cindy, Dora, Emily, Gert, José, Stan, y Wilma; de los cuales Stan causó una mayor pérdida de vidas y efectos sociales negativos en los estados de: Puebla, Hidalgo, Oaxaca, Chiapas, y Veracruz (Bitrán et al., 2012).

El impacto económico de daños causados por el huracán Stan fue de 21,053.7 millones de pesos. El sector de comunicaciones absorbió la mayor parte de la inversión con un 34%, seguido del sector infraestructura hidráulica con un 21%, el sector agropecuario el 18%, vivienda un 10%, infraestructura urbana y medio ambiente el 5%, atención a emergencias 3%, el sector eléctrico y educación, ambos con un 2%, y por último el sector salud y comercio con el 1% (Bitrán et al., 2012).

Mientras que el huracán Wilma afectó el estado de Quintana Roo, específicamente la zona norte (Cozumel, Playa del Carmen y Cancún). Las pérdidas económicas superaron a las registradas por el huracán Gilberto que se presentó en 1988. Los daños fueron por 18,772.9 millones de pesos. El sector de turismo absorbió un 92% y los sectores de infraestructura urbana, medio ambiente, comunicaciones y transportes, eléctrico, salud, educación, infraestructura hidráulica, vivienda, atención a emergencia y el sector agropecuario absorbieron del .06% al 3% del total de daños (Bitrán et al., 2006).

De igual forma, el huracán Emily afectó a los estados de Quintana Roo, Yucatán, Tamaulipas y Nuevo León; ocasionó un impacto económico por 4,388.8 millones de dólares; de lo cual se destinó al sector turismo y agropecuario un 22% para cada uno, 18% al sector vivienda, 9% al eléctrico, 8% en infraestructura hidráulica, 6% a la infraestructura portuaria, 4% en obras públicas y los sectores de infraestructura, medio ambiente, salud, educación, atención a emergencia se destinó 1% para cada uno, del total de la inversión de daños.

De modo que las afectaciones en los diversos sistemas de infraestructura asociadas a huracanes, ha despertado la preocupación de diversas instituciones y gobiernos a nivel: internacional, nacional y estatal; lo que ha llevado a la creación de políticas públicas con estrategias y metas que tienen dentro de sus prioridades fortalecer la resiliencia en los sistemas de infraestructura ante eventos asociados al cambio climático.

Posicionándose, a nivel internacional en el Marco de Acción de Sendai, que tiene como objetivo “prevenir la aparición de nuevos riesgos de desastres y reducir los existentes implementando medidas integradas e inclusivas de índole económica, estructural, jurídica, social, sanitaria, cultural, educativa, ambiental, tecnológica, política e institucional que prevengan y reduzcan el grado de exposición a las amenazas y la vulnerabilidad a los desastres, aumenten la preparación para la respuesta y la recuperación y refuercen de ese modo la resiliencia” (ONU, 2015. p. 12).

Y en una de sus siete metas para el logro del mismo, establece “Reducir considerablemente los daños causados por los desastres en las infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos, como las instalaciones de salud y educativas, incluso desarrollando su resiliencia para 2030” (ONU, 2015, p.12.). De la misma forma, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en el nueve se plantea “desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos” (ONU, 2016, p. 25) y en el 11 se manifiesta “lograr que las

ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” (ONU, 2016, p. 29).

También, en el acuerdo de París se señala que se debe promover “el aumento de la resiliencia de los sistemas socioeconómicos y ecológicos, en particular mediante la diversificación económica y la gestión sostenible de los recursos naturales” (Unión Europea, 2016, p.30).

Asimismo, en la Agenda de Acción de Addis Abeba, en el acuerdo dos se aborda el tema de infraestructura y se señaló:

“establecer un foro mundial sobre infraestructura para detectar y abordar los déficits de infraestructuras, poner de relieve las oportunidades de inversión y cooperación y garantizar que los proyectos sean respetuosos con el medio ambiente y sostenibles desde el punto de vista social y económico” (ONU, 2015, p.7).

En este mismo sentido, la Cumbre Humanitaria Mundial (2016) en el compromiso dos estableció iniciar acciones y compromisos que permitan a los países y comunidades prepararse para las crisis, responder a ellas y ser más resilientes a las perturbaciones que se enfrentan.

Por su parte, la Estrategia Nacional del Cambio Climático plantea “reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica y sistemas productivos ante los efectos del cambio climático” (ENCC, 2013, p. 39). También, en el Plan Nacional de Infraestructura 2014–2018 se considera como objetivo principal que “la inversión en infraestructura es un tema estratégico y prioritario para México, porque representa el medio para generar desarrollo y crecimiento económico y es la pieza clave para incrementar la competitividad” (PNI, 2013, p. 13).

Por otro lado, el Plan Sectorial de Gobernación establece que uno de los factores primordiales afectados es la “infraestructura pública”, dado que no cuenta con análisis de riesgos que permitan reducir su vulnerabilidad física, lo que provoca que las carreteras, puentes, obras hidráulicas, servicios de salud o suministros de

energía eléctrica no estén preparadas para resistir ante los embates provocados por eventos catastróficos.

La situación expuesta, también ha llamado la atención del campo científico, lo que ha conllevado a que diversos autores como: Baena (2017); Labaka et al. (2016); Butler et al. (2014;2016); Hosseini, Barker y Ramirez (2015); Schoen et al. (2015); Moor et al. (2015); Cutter et al. (2014); Francis y Bekera (2014); Ainuddin y Routary (2012); Resilient Organizations, Resilience Indicators, (2012); Vugrin et al. (2011); Kahan et al. (2009); Resilience Alliance (2007); Cumming et al. (2005) y Brenau et al., (2003), por mencionar algunos, desarrollen propuestas que permitan la integración del paradigma “resiliencia” en los sistemas de infraestructura, así como cuantificarla y evaluarla.

Sin embargo, dada las características particulares de los sistemas de infraestructura y la naturaleza sistémica del paradigma, se han encontrado limitantes, al tratar de integrarla en las diferentes etapas del desarrollo de los sistemas. Situación, que también se hace presente en las propuestas de métodos de cuantificación, dado que el diseño y construcción de los mismos ha estado a cargo del campo ingenieril, entonces, su enfoque ha sido más estructural y no se han considerado factores externos que pueden tener incidencia en la capacidad de respuesta ante desastres.

En ese contexto, el presente trabajo permitirá:

- El estudio de una problemática actual de las ciudades que compete a la disciplina de geografía urbana con base en el paradigma de resiliencia.
- El análisis de una problemática prioritaria en las políticas públicas internacionales y nacionales.
- La selección de un método que permita la cuantificación de resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana desde un enfoque socio-técnico.
- La cuantificación de la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana, que permitirá dar un panorama de acuerdo al contexto sobre las acciones de adaptación o fortalecimiento que se deben implementar en los sistemas de infraestructura urbana para contribuir en su resiliencia.

1.3. Objetivo general

Evaluar la resiliencia de los sistemas de infraestructura estratégica urbana de una ciudad costera ante el impacto de huracanes.

1.3.1. Objetivos particulares

- 1) Identificar los factores que están incidiendo en la resiliencia de los sistemas de infraestructura estratégica urbana de una ciudad costera ante el impacto de huracanes.
- 2) Analizar la percepción de los usuarios y servidores públicos sobre resiliencia de los sistemas de infraestructura estratégica urbana de una ciudad costera ante el impacto de huracanes.
- 3) Cuantificar la resiliencia de los sistemas de infraestructura estratégica urbana de una ciudad costera ante el impacto de huracanes.

1.4. Supuestos

- 1) Los sistemas de infraestructura urbana tienen una mayor capacidad de respuesta ante huracanes cuando se considera en las etapas de diseño, desarrollo, operación y mantenimiento, los factores de: buena gobernanza, diseño con falla segura, planificación de emergencias, liderazgo, recursos, flujos de información, experiencia, flexibilidad, ingenio, capacidad de aprender, robustez, redundancia y rapidez.
- 2) Los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera son resilientes cuando son capaces de mantener un nivel aceptable de operación y se recuperan con rapidez ante el impacto de huracanes.
- 3) La metodología de índice semi-cuantitativo es la más apta para cuantificar la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera, toda vez que permite la integración de variables sociales, ambientales y físicas.

CAPÍTULO II. GEOGRAFÍA, INFRAESTRUCTURA Y RESILIENCIA

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica sobre las categorías de investigación que respaldan el desarrollo del tema de estudio, así como aquellos trabajos recientes que permiten evaluar la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana.

Se inicia con los antecedentes del paradigma de resiliencia para contextualizar la temática de estudio, dando a conocer las disciplinas que lo han abordado y el desarrollo que ha tenido en las mismas. De igual manera, se presentan los estudios que dieron puerta a las investigaciones en el contexto urbano, y por lo tanto en los sistemas de infraestructura urbana.

Posteriormente, se continúa con el paradigma de resiliencia de manera específica con enfoque en los sistemas de infraestructura urbana. Por último, se muestra las investigaciones recientes sobre los métodos de cuantificación o medición de la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana que han permitido su evaluación.

2.1. Antecedentes de la teoría de resiliencia

El estudio de la resiliencia ha ganado un impulso sustancial en los últimos 20 años y en la actualidad se ha convertido en un campo de investigación multidisciplinar que abarca una variedad de posiciones teóricas y conceptuales (Wilson, 2017; Méndez, 2012). Ha sido abordado por las ciencias físicas, naturales y sociales; las cuales han utilizado diferentes enfoques, énfasis, interpretaciones y metodologías para medir y evaluar la resiliencia (Wilson, 2017; Méndez, 2011; Leichenko, 2011).

En la disciplina científica, el concepto fue utilizado por primera vez en el año de 1858 por el ingeniero escocés William J. M. Rankine en la rama de mecánica de materiales, para mostrar la capacidad de elasticidad en un material al resistir la aplicación de una fuerza y absorberla con deformación; es decir, la resistencia que posee para no llegar a romperse y recuperar su estructura y forma original (Sánchez, Gallardo y Ceña, 2016; Metzger y Robert, 2013; Méndez, 2011).

De acuerdo a Alexander (2012) el concepto se usó en un contexto aplicado en 1867 como descriptor de la robustez del revestimiento de prototipos de barcos de hierro; donde se desprende el origen del uso moderno del término en protección civil; describió que por analogía, la fuerza de una sociedad humana bajo estrés es su capacidad para idear medios para resistir el desastre y mantener su integridad, mientras que la ductilidad radica en su capacidad de adaptarse a las circunstancias producidas por la falta de capacidad para disminuir el impacto.

Más tarde, en la década de 1950 el concepto fue adquirido por el campo de las ciencias sociales, donde se utilizó en psicología (Sánchez, Gallardo y Ceña, 2016), para describir e interpretar las posibles razones por las que los individuos enfrentados a situaciones traumáticas muestran comportamientos dispares que afectan de modo directo su desarrollo personal posterior (Méndez, 2011).

En esa disciplina destaca el trabajo del psiquiatra estadounidense Norman Garnezy sobre el desarrollo de los niños, quien en la década de 1940 inicio estudios sobre la esquizofrenia, pero la mayor parte de sus hallazgos sobre la resiliencia se publicaron en la década de 1980, cuando el término toma relevancia en la psicología (Sánchez, 2012).

Posteriormente, en la década de 1960 y 1970 toma relevancia en el ámbito de las ciencias naturales donde sobresalen los estudios realizados por el biólogo Holling quien introduce el concepto de resiliencia en la disciplina, y la definió desde la perspectiva ecológica como “una medida de la persistencia de los sistemas y su capacidad para absorber los cambios y las perturbaciones y mantener las mismas relaciones entre poblaciones o estados variables” (Holling, 1971, p. 19).

Conjuntamente, el mismo Holling en colaboración con Goldberg y Orians, en ese mismo año dieron a conocer diversos estudios (por ejemplo: *Ecology and Planning*” y “*Toward an urban ecology*”) que han servido como puente para la introducción del paradigma de resiliencia en los estudios urbanos. Además, fueron de las primeras investigaciones en las que se expuso las similitudes entre los sistemas ecológicos y los sistemas urbanos complejos.

Después, en la década de 1980 Timmerman (1984; citado por Alexander, 2012) realizó un estudio en el cual percibió la resiliencia como la construcción de la “capacidad de amortiguación” en la sociedad para hacerla resiliente a los desastres.

Por último, a finales de la década de 1990 y a inicios del 2000, la resiliencia es adaptada nuevamente por el campo de las ciencias sociales, de manera particular por las disciplinas de sociología y geografía. En la primera rama con la intervención del sociólogo Tobin (1999) sobre la resiliencia como un principio rector detrás de la planificación, para lograr que las comunidades sean resilientes. Para ello, describió tres modelos teóricos: 1) modelo de mitigación, 2) modelo de recuperación y 3) modelo estructural-cognitivo.

En relación al campo de la geografía, si bien, ya se contaba con trabajos en los cuales se relacionó el espacio urbano con la resiliencia. No existían definiciones particulares en ese ámbito, fue hasta que Agder (2000) definió por primera vez el término de “resiliencia social” como la capacidad de los grupos sociales o comunidades para hacer frente a tensiones externas y perturbaciones como resultado del cambio social, político y ambiental.

Así, a partir de la década del 2000, los estudios de resiliencia han tenido una alta atención en el ámbito científico, muestra de ello son las aportaciones realizadas por autores como: Campos y Sierra (2019), Canchola y Velázquez (2019), Velázquez et al. (2018), Camacho y Álvarez (2019), Frausto et al. (2019), Campos y Gonzáles (2019), Castillo y Méndez (2019), Hernández et al. (2019), Martínez et al. (2019), Orozco et al. (2019), Chávez (2019), Bitrán (2018), Cámara y Murias (2018), Ballesteros y Cortés (2018), Alexander (2012), Godschalk, (2003), Adger et al. (2005); Cumming, (2005), Folke et al. (2006), Walker et al. (2006), Pascal y Metzger (2013); Castillo y Velázquez (2015), Weichselgartner (2015) Frausto et al. (2016; 2018), Calderón et al. (2017), entre otros; quienes presentaron investigaciones relacionadas con la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos y en algunos trabajos de manera particular en los sistemas socio-ecológicos costeros, o en su caso, desde diferentes enfoques en algún subsistema. De esta manera los estudios

de resiliencia en las disciplinas científicas se están abordando desde el ámbito de las ciencias sociales y de manera específica en los espacios urbanos.

Por otro lado, a partir de la misma década, el término tuvo una alta presencia en las políticas públicas de corte internacional, nacional y estatal; de tal manera que fue incorporado en sus instrumentos y planes de acción, como factor clave para fortalecer la resiliencia en las urbes ante los eventos asociados al cambio climático.

En ese sentido, en opinión de autores como Vázquez et al. (2016), Leichenko (2011) y Zhou et al. (2010) afirman que los estudios de resiliencia en el contexto urbano, están enfocados a los problemas asociados al cambio climático como son: huracanes, lluvias atípicas, inundaciones, heladas, entre otros.

Para Barranco (2009) la investigación de resiliencia está presente en los cinco continentes. En África, los estudios han sido abordados desde el enfoque de las ciencias sociales. Mientras que en Europa por las ciencias físicas, naturales y sociales. En Asia los avances en la investigación de resiliencia están enfocados en las ciencias físicas y sociales. En Oceanía en las ciencias naturales y sociales, específicamente a las sociedades que se dedican a la agricultura. Finalmente, en América Latina los estudios de resiliencia han tomado relevancia en las políticas públicas con relación a los efectos del cambio climático (Metzger y Roberti, 2013; Méndez, 2012).

Si bien, en América Latina el concepto de resiliencia ha tomado relevancia en las políticas públicas, con el objetivo de crear instrumentos que permitan fortalecer las capacidades de respuesta de las ciudades ante los efectos del cambio climático. Al respecto, Metzger y Roberti (2013) señalan que a pesar de que el término ha tenido una alta presencia en los discursos y acciones de las organizaciones internacionales y de las ONG, su difusión es reciente en el campo de la reducción de los riesgos. En ese mismo sentido, Sánchez (2013) argumenta que en el territorio mexicano no se han realizado numerosas gestiones con respecto a la reducción de riesgo; dado que, únicamente ciudades como: Río de Janeiro, Sao Paulo, Belo Horizonte, Curitiba y México DF; tienen un marco regulatorio propio para el cambio climático. Igualmente, otras como: Buenos Aires, Rosario, Río de Janeiro, Sao Paulo, Bogotá,

Santiago de Chile, México DF y Campeche; cuentan con planes de adaptación y mitigación.

Por otra parte, se encuentra Nueva York que destaca por tener planes específicos enfocados a la resiliencia, que ha consecuencia del huracán Sandy se realizó las gestiones para contar con un estudio amplio enfocado a la sustentabilidad del desarrollo urbano, y posteriormente paso a convertirse en un instrumento que permite entender y fortalecer la resiliencia de la ciudad.

Otros países como España, Estados Unidos, Argentina, Australia, Brasil, Canadá, China, Colombia, Francia, Alemania, Corea del Sur y Reino Unido; a través de agencias han tenido la iniciativa de crear sus denominados “planes de protección para las infraestructuras”, que tienen como objetivo preservar los sistemas que han evidenciado su vulnerabilidad ante los diversos fenómenos por los que se han visto afectados. Sus instrumentos están enfocados en su mayor parte a la ciberprotección y seguridad; a excepción de los Países Bajos y Reino Unido que están orientados al soporte para evaluación de riesgos y seguridad, mejores prácticas, contactos internacionales y a los sectores críticos de infraestructura como: comunicaciones, servicios de emergencia, energía, finanzas, alimentos, gobierno, atención médica, transporte y agua (Labaka et al., 2016; Yusta et al., 2011).

Conjuntamente, Canadá cuenta con un programa de seguridad cuyo propósito es responder a diversas amenazas, a la seguridad incluido el terrorismo, las enfermedades infecciosas, los desastres de origen natural y los cibernéticos (Yusta et al., 2011).

La evolución e implementación del término “resiliencia” en las disciplinas científicas ha sido significativa. Sin embargo, a pesar de su incorporación en los instrumentos y programas en los diferentes niveles de gobierno y organismos; aún hay mucho que aportar para su desarrollo. Puesto que una adecuada implementación promete resultados benéficos para los espacios urbanos y habitantes.

2.2. Resiliencia en los sistemas de infraestructura

Las primeras intervenciones sobre estudios de “resiliencia” relacionados con los sistemas de infraestructura urbana, se tuvo en 1858 por parte de la mecánica de materiales (Sánchez, Gallardo y Ceña, 2016; Metzger y Robert, 2013; Méndez, 2011). No obstante, a pesar de ser la primera disciplina científica en considerar el término de resiliencia en el ámbito de la ingeniería (materiales de los sistemas de infraestructura), la noción en su campo de aplicación fue muy limitada y no presentó evolución en un largo tiempo. En tal sentido, Berkes y Ross (2013) mencionan que “resiliencia” es un concepto de sistemas; por lo tanto, su aplicación tiene mayor coherencia cuando se emplea con enfoque sistémico, que en elementos individuales.

Los estudios de resiliencia en la infraestructura con enfoque de “sistemas” empezaron a ganar relevancia en la década de 1980. Las primeras investigaciones fueron realizadas en los sistemas de agua potable por Hashimoto, Loucks y Stendinger (1982) denominadas “Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System” y “Robustness of Water Resources Systems”. Sin embargo, dado que los fundamentos teóricos en su área, estaban limitados de manera específica a la resistencia de materiales, en dichos trabajos se utilizó como marco de referencia lo planteado por el biólogo Holling en 1973.

Tiempo después, se tuvo un avance por parte de O’Neill y colaboradores, Pimm, Tilman y Downing (1993), quienes plantearon la definición de “resiliencia en ingeniería” describiéndola como la estabilidad cerca de un estado estable de equilibrio, donde la resistencia a la perturbación y la velocidad de retorno al equilibrio se utilizan para medir la propiedad. Para Folke (2010) este tipo de resiliencia se centra en el comportamiento de un equilibrio estable y la velocidad en la que un sistema se aproxima a su estado estacionario, después de una perturbación, es decir, la velocidad de retorno al equilibrio.

Posteriormente, Holling (1996) retoma la definición planeada por O’Neill y colaboradores, Pimm, Tilman y Downin; para realizar su trabajo denominado “Engineering resilience versus ecological resilience” donde efectuó un contraste y

análisis de ambos enfoques, y reveló sus ventajas y desventajas de los dos tipos de resiliencia. Cabe señalar que para diversos investigadores los fundamentos de ese trabajo, ha sido la base para abordar el estudio de resiliencia con enfoque en los sistemas de infraestructura urbana.

Como se ha mencionado a lo largo del trabajo, cuando el término de resiliencia fue retomado por la disciplina de las ciencias naturales, tuvo una alta presencia en el ámbito científico; dado sus planteamientos, fundamentos y análisis; lo cual dio pauta para que diversas ciencias retomen el enfoque y fundamentos teóricos planteados por los investigadores de esa disciplina. Muestra de ello, es el sector de la ingeniería; el cual lo está modificando, adaptando e incorporando en la planificación y diseño de los sistemas de infraestructura.

Las primeras intervenciones teóricas de resiliencia con enfoque en “sistemas de infraestructura” las efectuó el ingeniero Bruneau y colaboradores; quienes definieron la resiliencia de sistemas físicos ante sismos, como la capacidad que tienen los sistemas de infraestructura para reducir las posibilidades de una descarga, absorber si se produce (reducción brusca del rendimiento de un sistema) y recuperarse rápidamente después de la misma (restablecer el rendimiento normal). En otras palabras, señalaron que los sistemas resilientes son aquellos que muestran tres características: 1) Probabilidades de falla reducidas, 2) Reducción de las consecuencias de las fallas, en términos de vidas perdidas, daños y consecuencias económicas y sociales negativas y 3) Reducción del tiempo de recuperación (Bruneau et al., 2003).

Por su parte, O' Rourke (2007) retomó las bases teóricas planteadas por Bruneau y colaboradores, con las cuales realizó un análisis de los criterios establecidos, actualizo algunas variables y adecuo el marco para peligro ante huracanes.

Más tarde, a mediados de la década del 2000 y 2010, se tuvo la intervención de autores como Gay (2016), Tamvakis y Xenidis (2013), Wreathall (2006) quienes coincidieron en su propuesta acerca de la definición de “sistema de infraestructura resiliente” describiéndolo como aquel que mantiene su funcionalidad con un nivel

mínimo ante una situación adversa, se recupere en un tiempo corto y con un costo razonable.

Actualmente, el concepto de resiliencia con enfoque en la infraestructura continúa en evolución en sus diferentes fases: definición, cuantificación e implementación. Por tanto, además de conocer los diversos enfoques por los cuales se está abordando, es necesario saber cómo operacionalizar sus componentes y cuantificarla.

2.3. Cuantificación de la resiliencia en los sistemas de infraestructura

En las últimas dos décadas, la evolución que han tenido los estudios de resiliencia relacionados con los sistemas de infraestructura urbana, ha sido significativa. No obstante, dado que el concepto está en evolución por ende sus métodos de cuantificación.

En ese sentido, uno de los retos en los sistemas de infraestructura es incorporar la teoría de resiliencia en sus diferentes fases, con la finalidad de contar con un marco para cuantificarla, y a su vez, permita hacer comparaciones entre casos de estudio (Harrison y Williams, 2016). En relación a ello, García et al. (2017) señalan que contar con un marco o definición común que puntualice las propiedades de un sistema resiliente, limitaría su evaluación, ya que cada caso tiene necesidades específicas y, por lo tanto, diferentes propiedades para ser evaluadas. Tomando en consideración que si cada sistema es diferente, los diversos casos y escenarios, demandarían distintas soluciones; entonces, una metodología única limitaría la efectividad de las soluciones.

Sin embargo, a pesar de que la teoría está en evolución en sus diferentes fases (definición, cuantificación e implementación) y aun no existe un consenso único de definición, así como tampoco un método de cuantificación para sistemas de infraestructura; si existen propuestas de dimensiones generales mediante las cuales se han realizado avances en los métodos de cuantificación.

Los métodos de cuantificación de resiliencia en sistemas de infraestructura, han sido abordados desde dos categorías principales: cualitativa y cuantitativa. La

primera incluye métodos que tienden a evaluar la resiliencia de los sistemas sin descriptores numéricos, mientras que la segunda se rige por descriptores numéricos (Gallego y Essex ,2016; Hosseini, Barker y Ramírez, 2015; Butler at al., 2014; Scott et al., 2012).

2.3.1. Evaluación cualitativa

La evaluación cualitativa de los sistemas de infraestructura se ha realizado a través de dos enfoques: marcos conceptuales e índices semi-cuantitativos.

2.3.1.1. Marco conceptual

Los marcos conceptuales son constituidos en su mayoría desde el enfoque cualitativo. De acuerdo a García et al. (2017) y Amarasinghe et al. (2016) un marco debe actuar como una guía que: a) contenga estudios de posibles factores estresantes, b) resuma diferentes metodologías, conjuntos de propiedades, herramientas, medidas y estudios de caso, y por ultimo c) que incluya intervenciones para fortalecer la resiliencia para ser evaluadas.

Los instrumentos y técnicas utilizadas en este enfoque, varían dependiendo del estudio y el objetivo del mismo. Sin embargo, el que más predomina como instrumento es el cuestionario y como técnica la encuesta.

Los marcos conceptuales tienen como objetivo evaluar las características que afectan la capacidad de recuperación de cada uno de los sistemas; para con ello, poder proporcionar información que sirva de guía para plantear estrategias que contribuyan a fortalecer la resiliencia. Su desarrollo se llevó a cabo a partir de la década del 2000 (tabla 1).

Tabla 2.1. *Marcos conceptuales de evaluación de resiliencia en la década del 2000*

Autor	Elementos del marco	Enfoque
Brenau et al. (2003)	Se conforma Robustez, Rapidez, Recursos, Redundancia. Integradas en cuatro dimensiones: técnica, organizativa, social y económica.	Sistemas físicos y sociales ante sismos.
Cumming et al. (2005)	El marco es exploratorio. Considera cinco elementos: definición del sistema, medición de los impulsores del cambio, condiciones bajo las cuales se evaluará la resiliencia del sistema, y el reconocimiento explícito de la subjetividad de nuestros propios objetivos al realizar el estudio	Sistemas socio-ecológicos.
Resilience Alliance (2007)	(1) definir y comprender el sistema en estudio, (2) identificar la escala apropiada para evaluar la resiliencia, (3) identificar la impulsores del sistema y perturbaciones externas e internas, (4) identificación de los actores clave del sistema, incluidas las personas y la gobernanza, (5) desarrollo de modelos conceptuales para identificar las actividades de recuperación necesarias, (6) implementación de los resultados del paso v para informar al creador de políticas y (7) incorporando los hallazgos del paso anterior	Sistemas socio-ecológicos.
Kahan et al. (2009)	El marco consta de ocho principios: 1) evaluación de peligros y amenazas, (2) robustez (3) mitigación de consecuencias, (4) adaptabilidad, (5) planificación informada por el riesgo, (6) riesgo inversión informada, (7) armonización de propósitos, y (8) alcance integral.	Ingeniería de sistemas

Fuente: elaborado con base en autores.

Si bien, en la década del 2000 se presentó un avance en las propuestas de marcos conceptuales para evaluar la resiliencia (sistemas socio-ecológicos y de infraestructura), estos tendían a ser muy generales. Para la década del 2010, fue cuando las propuestas por parte de instituciones, organizaciones e investigadores, empezaron a realizarse de manera más específica (tabla 2).

Tabla 2.2. Marcos conceptuales de evaluación de resiliencia en la década de 2010

Autor	Elementos del marco	Enfoque
Vugrin et al. (2011)	El marco se conformó por las dimensiones de capacidad de absorción, capacidad de adaptación y capacidad de restauración.	Sistemas de infraestructura y económicos
Ainuddin y Routary (2012)	El marco se integró por cuatro factores: (1) identificación de las características de peligro/desastre (2) determinación de la vulnerabilidad individual/comunitaria, (3) preparación para la recepción y sensibilización de riesgos, y (4) mejora finalmente social (educación, cobertura de salud), económica (capital de la vivienda, empleo), y recursos físicos (vivienda, vivienda, edad).	Sistema social (resiliencia comunitaria)
Resilient Organizations, Resilience Indicators, 2012	El marco se compone de trece indicadores enmarcados entres atributos: liderazgo y cultura, redes y cambio preparados	Organizaciones
Francis y Bekera (2014)	El marco consta de cinco componentes: identificación del sistema, análisis de vulnerabilidad, establecer objetivos de resiliencia, compromisos de los interesados y capacidades de resiliencia. La implementación de este marco se centra en el logro de tres capacidades de resiliencia: capacidad de adaptación, capacidad de absorción y capacidad de recuperación.	Sistemas de ingeniería e infraestructura.
Butler et al. (2014;2016)	Para describir el marco utilizan la palabra “seguro” como sinónimo de confiables. El marco lo denominan “Safe & Sure”; se conforma por las propiedades: escala de tiempo, objetivo de rendimiento, nivel de servicio y atributos; enmarcados en la dimensiones de fiable, resiliente y sostenible. Con cuatro tipos diferentes de análisis: 1) de arriba abajo, 2) de abajo arriba, 3) basado en el medio y 4) circular.	Gestión de aguas urbanas
Moor et al. (2015)	El marco se conforma por cinco dominios: 1) políticas, instituciones y procesos (PIPs), 2) Experiencias, 3) Financiero (arreglos e incentivos), 4) operaciones y mantenimiento y 5) planificación y diseño.	Infraestructura de transporte.
Schoen et al. (2015)	Considera cuatro características de los sistemas: la solidez, la capacidad de adaptación, la rapidez y el ingenio. Cada sistema fue evaluado para un evento de clima frío, tormenta, corte de energía, sequía a corto plazo, incendios forestales y cambios climáticos previstos.	Tecnología de los sistemas de agua y aguas residuales.
Zhong et al., (2016)	Se considera los criterios o propiedades de Robustez, Redundancia, Ingenio, Rapidez enmarcadas en las dimensiones de: a) Vulnerabilidad y seguridad, b) recursos y planes de desastres, c) continuidad de los servicios esenciales y d) recuperación y adaptación.	Sistemas hospitalarios ante desastres.
Sweetapple et al. (2016)	Elementos del marco: confiabilidad, solides y resiliencia, evaluadas por el análisis multicriterio.	Plantas de tratamiento de aguas residuales.
Labaka et al. (2016)	El marco se conformó por tres elementos: políticas de resiliencia (Método Delphi); tabla de influencia que evalúa las políticas en las etapas de prevención, absorción y recuperación (Método Delphi); y una metodología de implementación (cuestionario-encuesta).	Sistemas de infraestructura críticos.

Fuente: Elaborado con base en autores.

Los marcos conceptuales de esta década correspondieron a sistemas particulares, que permitieron la descripción y análisis a una escala más específica.

2.3.1.2. Índices semi-cuantitativos

El enfoque de cuantificación por medio de “índices cuantitativos” consiste en representar una serie de variables cuantitativas y cualitativas en un valor único; de tal manera que permite la cuantificación, interpretación y evaluación de la resiliencia.

Una de las ventajas de este enfoque, es que permite la operacionalización e integración de variables cualitativas. En ese sentido, de acuerdo a Hernández et al. (2018), Hosseini, Barker y Ramírez (2015) y Cutter et al. (2014) el enfoque de índice semi-cuantitativo generalmente se construye por medio de un cuestionario diseñado para evaluar diferentes características de los sistemas basadas en la resiliencia (por ejemplo, ingenio y redundancia, para el caso particular de sistemas de infraestructura).

Como herramienta de medición predomina el uso de la escala de Likert, que consiste en asignar valores (de 0 a 10) o porcentual (0–100) por especialistas a las variables o dimensiones que se necesiten medir. Las evaluaciones de las características de la opinión de los expertos se agregan de alguna manera para producir el índice de resiliencia.

Los primeros estudios realizados sobre construcción de índices de resiliencia, en los cuales se consideró el componente de infraestructura, se tiene la investigación de Cutter et al. (2008); donde identifico 32 variables para medir la resiliencia de las comunidades ante los desastres y las agrupo en seis dimensiones: ecológica, social, económica, institucional, infraestructura y competencia comunitaria. Por otro lado, Shirali et al. (2013) con base en el mismo enfoque, realizó una propuesta para evaluar la ingeniería de resiliencia en una industria de procesos. Para ello, utilizó seis indicadores críticos: (1) alta gerencia, (2) compromiso (3) cultura de aprendizaje, (4) conciencia, (5) preparación y (6) flexibilidad.

Tiempo después, Cutter y colaboradores retomaron las bases establecidas en la investigación realizada por la misma Cutter en el 2008, y propusieron la construcción de un índice compuesto de resiliencia de una comunidad ante desastres y su variabilidad geográfica cuando se aplica a lugares específicos. En el estudio se

utilizó 49 variables, agrupadas en seis componentes: social, infraestructura, capital de la comunidad, economía, institucional y medio ambiente. El proceso metodológico se realizó a través de tres etapas: 1) fuente de datos, 2) procesamiento de datos y 3) construcción de indicadores de resiliencia de referencia para las comunidades (Cutter et al., 2014).

La primera fase consistió en la recopilación de datos en diferentes fuentes (datos en línea, sitios web, copias en papel e institutos con injerencia en el estudio) en las que se identificó las 49 variables. En la segunda, se llevó a cabo la transformación de las variables sin procesar a porcentajes, tasas, diferencias o promedios. Posteriormente se efectuó la normalización de las variables, es decir, establecer valores a cada variable de tal forma que estos puedan ser comparables. Para ello, se implementó la técnica estadística de Min-Max. Por último, se implementó el coeficiente alfa de Cronbach para diagnosticar la construcción de indicadores compuestos para consistencia interna.

Posteriormente, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en el año 2015, propuso el diseño de un índice de resiliencia a nivel municipal para México con enfoque social-económico. Para ello, se usó la metodología propuesta por Twigg (2007), y se consideró cinco dimensiones (gobernabilidad, evaluación del riesgo, conocimiento y educación, gestión de riesgos y reducción de vulnerabilidad y preparación y respuestas para desastres); en las que se estableció un total de 25 variables distribuidas de manera uniforme en cada componente, es decir, cada uno de ellos consto de cinco variables. Para el cálculo del índice, se aplicó la técnica estadística de Análisis de Componentes Principales.

Por su parte, la Fundación Rockefeller en ese mismo año (2015), planteó la construcción de un índice de resiliencia que se conformó por 12 metas y 52 indicadores, integrados en cuatro categorías: economía y sociedad, infraestructura y ecosistemas, liderazgo y estrategia, y salud y bienestar.

Para el año 2016, se llevó a cabo un estudio de índice de resiliencia urbana en el abastecimiento del agua potable. Para ello, se utilizó 24 variables estructuradas en dos dimensiones: transformación y adaptación. En relación a la normalización de

variables se implementó la técnica min-max. Finalmente, el índice fue construido por medio de la técnica estadística “análisis factorial” (Vázquez, Méndez y Mastachi, 2016).

Por su parte, Baena (2017) realizó la construcción de un índice de resiliencia en ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos; como caso de estudio propuso la ciudad de Cuernavaca. El índice tuvo el propósito de medir y monitorear través de indicadores, las características: capacidad de resistencia, adaptación, recuperación y preparación que de acuerdo a su criterio hacen que el componente técnico se considere resiliente.

2.3.2. Evaluación cuantitativa

La evaluación cuantitativa de resiliencia, se caracterizan como deterministas y estocásticas (probabilístico). La cuantificación determinista se asocia a modelos matemáticos donde las mismas entradas producen las mismas salidas. Se relaciona con la creación de entornos simulados a través de simuladores para el estudio de situaciones hipotéticas, o para crear sistemas de gestión que permitan disminuir la incertidumbre. Mientras que los probabilísticos tienen como característica principal, que incluyen la incertidumbre; y el estado de los sistemas está determinado por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios.

2.3.2.1. Modelos estocásticos y deterministas

Las primeras aportaciones para cuantificar desde un enfoque determinista, se tiene las de Bruneau et al. (2003) con la propuesta del modelo triángulo de resiliencia, en el cual definió cuatro dimensiones: técnicas, organizativas, sociales y económicas; las cuales para fortalecer su modelo de cuantificación las relaciono con los principios de: robustez, rapidez, ingenio y redundancia. Este modelo se basó en tres objetivos de resiliencia de un sistema: reducción de las probabilidades de fallo, la reducción de las consecuencias de los fallos y la reducción del tiempo hasta la recuperación. Posteriormente, los mismos autores proponen una ecuación estática determinista que incluyo medir la pérdida de resiliencia de una comunidad ante un terremoto, y tomaron en cuenta dos variables: 1) el momento en el que se produce la interrupción

y 2) el momento en que la comunidad vuelve a su estado normal previo a la interrupción (Bruneau et al., 2005).

Asimismo, diversos investigadores como Zobel (2008), Rose (2007), Zobel y Khansa (2014), Gay (2015), por mencionar algunos, han retomado los principios definidos en el modelo del “triángulo de resiliencia”, para aplicarlo en diferentes contextos (por ejemplo: sistemas de información de empresas, redes de infraestructura, redes de transporte, aeropuertos, hospitales, etc.) y realizaron modificaciones acorde a las características particulares de sus objetos de estudio, además, agregaron nuevas variables como: medición de múltiples eventos, perturbación secuencial, recuperación parcial de múltiples eventos, estado original estable del sistema, interrumpido y recuperado, por mencionar algunos.

Con respecto al enfoque estocástico o probabilístico Chang y Shinozuka (2004) retomaron las propiedades de robustez y rapidez planteadas por Bruneau et al. (2003), y propusieron una ecuación que evalúa la resiliencia de un sistema de infraestructura ante la afectación de un sismo. En su ecuación consideraron dos factores: la pérdida de desempeño (robustez) y la duración de la recuperación (rapidez). Conjuntamente, se definió el termino de resiliencia como la probabilidad de que la pérdida de rendimiento inicial de un sistema sea superior a la pérdida de rendimiento máxima aceptable y que su tiempo total de recuperación sea menor que el de interrupción aceptable. Como estudio de caso, se comparó la resistencia sísmica del sistema de suministro de agua de Memphis sin modificación y con dos estrategias de adaptación.

Para el año 2009, se realizó la propuesta de una metodología donde se combinó las variables planteadas por Bruneau et al. (2003), los modelos de entrada-salida y fragilidades estructurales, en la evaluación de resiliencia de subsistemas de una infraestructura de red multisistema ante eventos de peligro natural extremo. Para ilustrar la aplicación del método, se utilizó los datos disponibles para el daño de la línea de vida del huracán Katrina (Reed et al., 2009).

Posteriormente, Cimellaro et al. (2010) integraron nuevas variables al marco propuesto por Bruneau et al. (2003) y definieron la resiliencia cuantitativamente

como el área normalizada bajo una función $Q(t)$ que rige la funcionalidad de un sistema. En ese mismo año, a través de la teoría de grafos y el análisis multicapas Leu et al. (2010) propusieron cuantificar la resiliencia de redes de transporte. El estudio tuvo como objetivo representar la red en múltiples capas basadas en datos GPS; las variables consideradas fueron: deficiencias estructurales en la infraestructura, deficiencias de conectividad de la red y la distribución espacial de los riesgos. Además, se basó en el uso de un conjunto de medidas como el grado, el coeficiente de interconexión y agrupación, la integridad topológica y la brecha de distancia.

Poco tiempo después, Miller-Hooks et al. (2012) realizaron la propuesta de cuantificación por medio de un programa estocástico no lineal dirigido a un método entero en L asociado con la simulación de Monte Carlo. El método cuantificó la resiliencia como el rendimiento máximo esperado del sistema, con el fin de proponer una asignación óptima de fondos a las actividades de preparación y recuperación contra posibles perturbaciones del sistema.

Por su parte, Ouyang y Dueñas (2014) plantearon un marco de evaluación de resiliencia tanto para peligros únicos como múltiples, y computaron la resiliencia anual esperada de la red de transmisión de energía en el Condado de Harris, Texas, bajo peligros aleatorios y huracanes.

Y dentro de los últimos avances en la evaluación cuantitativa de resiliencia en los sistemas de infraestructura, se tienen los estudios sobre los sistemas de energía eléctrica, los cuales se han realizado con base en modelos determinísticos que cuantifican la resiliencia.

2.4. Casos de estudio de resiliencia

En diversos países como Australia, Canadá, Dinamarca, Japón, Nueva Zelanda, Estados Unidos y California, por mencionar algunos; han implementado acciones para adaptarse al cambio climático y construir sistemas resilientes (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Acciones de adaptación a impactos del cambio climático

País	Acción para adaptar la infraestructura a los impactos del cambio climático
Australia	<p>1.- Se identificó los suministros de agua adaptables y seguros para hacer frente al cambio climático como uno sus objetivos clave.</p> <p>2.- Se estableció un Proyecto de Infraestructura de Adaptación al Cambio Climático, que incluye el desarrollo de un "sistema estándar de adaptación al cambio climático para las organizaciones".</p>
Canadá	<p>1.- Diseño planes de protección para infraestructuras críticas ante los impactos del cambio climático.</p> <p>2. El gobierno considera en sus programas de financiación para la infraestructura, el factor adaptación al cambio climático.</p> <p>3. Se estableció como requisito, que los solicitantes del Fondo de Infraestructura Estratégica de Canadá, demuestren cómo su proyecto aborda los impactos y la adaptación al cambio climático, y en caso de no ser así, se les puede exigir que tomen ciertas medidas para abordar dichas problemáticas.</p>
Denmark (Dinamarca)	<p>1.- Planteo la revisión de las regulaciones viales y las normas ferroviarias, con el objetivo de conocer si se está tomando en cuenta los cambios climáticos esperados.</p> <p>2.- La Agencia Danesa de Protección del Medio Ambiente publicó directrices en 2007 para que los municipios tengan en cuenta el cambio climático en relación con la construcción y operación de sistemas de alcantarillado y la renovación de alcantarillas.</p>
Japan	<p>1.- Propuso emitir diversos documentos sobre orientación práctica de planificación estratégica asociada a la adaptación del cambio climático.</p>
New Zealand	<p>1.- Planteo en su Plan Nacional de Infraestructura (2010) a los impactos del cambio climático como una de las tendencias clave a largo plazo que deben abordarse.</p> <p>2.- Ha desarrollado planes para mejorar la capacidad de recuperación de su infraestructura y servicios públicos.</p>
USA	<p>1.- Por parte del Consejo de Calidad Ambiental se emitió instrucciones de implementación para ser utilizadas por el gobierno federal en la planificación de la adaptación al cambio climático. Donde se incluye la planificación de adaptación federal para abordar los efectos del cambio climático en los activos de infraestructura federales.</p> <p>2.- Se realizó un estudio de las vulnerabilidades del sector energético ante el cambio climático y el clima extremo.</p> <p>3.- Se realizó un mapa interactivo que ilustra las vulnerabilidades climáticas clave por regiones.</p> <p>4.- Se llevó a cabo "La Evaluación Nacional Climática" por más de 300 expertos, que resume los impactos del cambio climático en los Estados Unidos, ahora y en el futuro.</p>
USA, California	<p>1.- Se estableció un grupo de trabajo de infraestructura para analizar los impactos del cambio climático en su infraestructura y estrategias para adaptarlo.</p>
Nueva York	<p>1.- Se elaboró un plan enfocado a fortalecer su resiliencia ente eventos asociados al cambio climático.</p>
Filipinas	<p>1.- Se realizó un foro sobre infraestructura segura y resiliente en 2013 (GFDRR et al, 2014b), con el objetivo de realizar una revisión nacional de las normas en relación con la resiliencia.</p>
Mawlamyine	<p>1.- Se construyó un estanque de agua a prueba de inundaciones mejorado, el cual permite acceder al agua potable incluso durante inundaciones severas.</p>

Etiopía

1.- La oficina de Meteorología del Reino Unido actualizó los datos relacionados con las variaciones climáticas y modeló el clima de Etiopía para entender la posible variación de las precipitaciones con el cambio climático.

Fuente: Actualizado con base en Gallego y Essex (2016); O'Rourke (2007) y Gobierno del Reino Unido (2016):

En América Latina también se tienen avances en propuestas de mejora en los sistemas de infraestructura, como muestra de ello se puede mencionar El Salvador, Argentina, Chile y México, por ejemplificar algunos. El Salvador es un país donde casi el 90% del territorio se encuentra en áreas de alto riesgo; por ello, el gobierno promovió la asistencia técnica mediante un marco estratégico para orientar la toma de decisiones con la finalidad de aumentar la resiliencia climática de la infraestructura pública y privada. El marco tuvo como objetivo integrar los procesos de emergencia, rehabilitación y reconstrucción que actualmente son excluidos de los planes de desarrollo para permitir un cambio hacia un enfoque preventivo y anticipatorio que tenga en cuenta la adaptación al clima y los recursos naturales y la recuperación de la biodiversidad (PNUN, 2011).

También, se puede mencionar a Santa Fe, Argentina; que posterior a las inundaciones del año 2003 y 2007, implementó medidas de resiliencia estructurales y no estructurales para la mejora en los sistemas de infraestructura. En las primeras se planteó la reconstrucción de defensas y nuevos terraplenes, así como la ampliación del sistema de drenaje (construcción de desagües, estaciones de bombeo y reservorios de agua) y construcción de retardadores pluviales, cestos de residuos en altura, cintas en vereda y arbolado nuevo. Mientras que en las medidas no estructurales se llevaron a cabo cuatro: 1) Se formalizó la organización de un sistema del municipio, integrado con las dependencias y articulada con los actores públicos y privados. 2) Se desarrolló un Sistema de Alerta Temprana red pluviómetros, estaciones meteorológicas, protocolo de respuesta). 3) Se elaboró un plan de contingencia conjuntamente con la comunidad (organización barrial, rutas de evacuación, puntos de encuentro, refugios, reclamos vecinales, transporte). Se realizó talleres de capacitación a diferentes actores, libro "Aprender de los desastres", instructivos barriales, folletos explicativos, manuales escolares, proyecto "aula ciudad", recorrida "La Ruta del Agua", comunicación periodística,

actividades culturales y comunicación orientada a residuos domiciliarios (CIPPEC, 016)

Entre otros de los países, se encuentra Chile que ha apostado e invertido para mejorar los códigos de construcción existentes, y su aplicación apropiada ha permitido que los edificios sufran daños moderados durante diversos fenómenos a los que se ha enfrentado, dentro de los que se puede mencionar como ejemplo el terremoto de 8.8 en 2010 (Arup, 2014).

A nivel nacional, si bien, no se han realizado de manera específica y formal avances en los sistemas de infraestructura; si existen avances que benefician el enfoque hacia la resiliencia, como muestra se tiene que México cuenta con un marco regulatorio para el cambio climático. Además, cabe destacar que el Estado de México y Campeche cuentan con planes de adaptación y mitigación (Sánchez, 2013).

2.5. Retos de la evaluación de la infraestructura resiliente

En las dos últimas décadas, se han desarrollado diversas herramientas cualitativas y cuantitativas que permiten evaluar la resiliencia de los sistemas de infraestructura, como son: marcos e índices generales y específicos, así como técnicas de modelado determinístico o probabilístico, técnicas de planificación adaptativa, análisis de Monte Carlo, análisis de sensibilidad, teoría de grafos, optimización de objetivos múltiples y conjuntos, por mencionar algunos (Hosseini, Barker y Ramírez, 2015). Sin embargo, como ya se mencionó en párrafos anteriores, dado que el término “resiliencia” ha sido adaptado a diversas disciplinas, por ende, también los métodos que permiten su cuantificación, análisis y monitoreo de la resiliencia.

En ese sentido, García et al. (2017) planteo que el estado de evolución en que se encuentra la teoría, ha traído consigo diversas limitantes al integrarla en los sistemas de infraestructura; pues la naturaleza de estos, es totalmente probabilística, por tanto, es difícil de ser reemplazada o integrada con otros enfoques. En esa misma línea, en opinión de Tamvakis y Xenidis (2013) las propuestas de cuantificación de la resiliencia, se han enfocado a las propiedades y

elementos específicos de los sistemas físicos. Añaden, que a pesar de que se ha realizado avances para la integración de las variables físicas y sociales que tienen impacto directo con la resiliencia, aún no se consigue tener un consenso de las dimensiones y variables, que permitan su cuantificación.

Desde ese panorama, los retos o desafíos en la cuantificación de resiliencia de los sistemas de infraestructura, están claramente definidos. Primero, es necesario reorientar o en su caso seleccionar el método que sea más acorde para su cuantificación; y que al mismo tiempo permita la integración de variables físicas y sociales que inciden en la resiliencia de los sistemas de infraestructura.

El segundo reto es la identificación y delimitación de las variables que sean representativas para los sistemas de infraestructura que permitan evaluar y monitorear su estado de resiliencia.

Por último, es primordial que para la construcción de marcos, índices o ecuaciones; se consideren los factores que intervienen en las etapas de planificación y diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de infraestructura; esto, al considerar que la resiliencia no es una propiedad que se construye en un solo paso, sino que, se va edificando a través del tiempo.

CAPÍTULO III. INFRAESTRUCTURA URBANA RESILIENTE

En el presente capítulo se exponen las bases teóricas que fundamentan el caso de estudio sobre resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana en ciudades costeras. Se inicia con una descripción sobre las investigaciones de las ciudades, sus elementos, las problemáticas y las teorías que han sido la base para las intervenciones de las diversas escuelas del pensamiento.

Seguidamente, se presenta como se ha abordado la teoría y estudios de “resiliencia” desde la ciencia geográfica. Se continúa con la presentación del subtema referente a los sistemas de infraestructura urbana como elemento articulador del espacio intraurbano.

Además, se expone como ha sido introducido el concepto de resiliencia en el ámbito de los sistemas de infraestructura o sistemas de ingeniería. Así como la relevancia que tienen en el contexto de los desastres y los riesgos a los cuales están expuestos.

De igual manera se dan a conocer los principios base utilizados para la evaluación de la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana.

Finalmente, se muestra el método de cuantificación de resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana, que se consideró acorde para la presente investigación.

2.1. El estudio de los sistemas de infraestructura desde la geografía urbana

La geografía urbana es una rama especializada de la geografía humana; su objeto de estudio es: la ciudad y las regiones urbanas. Sus investigaciones alcanzan un gran desarrollo después de la segunda Guerra Mundial (Carreras y García, 2006; Delgado, s/f). Ésta disciplina aborda el estudio de la ciudad como un espacio integrado por diversos fenómenos terrestres, que forman parte de un subsistema espacial abierto y finito de la geosfera (Bielza, 2011).

Las ciencias afines a la Geografía urbana son: el Urbanismo y Sociología Urbana (Sánchez, 1992; Santos, 1992). Los estudios de esta disciplina buscan explicar: la forma, funciones y relaciones al interior urbano y con el sistema de ciudades del mundo en diferentes escalas y enfoques. En otras palabras, Preciado (1992) señaló

que en la geografía urbana destaca una dimensión doble del estudio espacial de la ciudad. En la primera se abordan como temas principales de investigación el emplazamiento, situación, tamaño, plano, morfología y edificación, estructura espacial y social, funciones, población, mercado del suelo, transportes y problemas medioambientales. En el segundo nivel, la ciudad se percibe como elemento integrante de una red urbana superior; lo que diversos autores plantean como las dos categorías de análisis de un sistema urbano, refiriéndose al espacio intraurbano e interurbano.

De acuerdo al diccionario de Geografía Urbana (2000) un sistema interurbano se refiere al conjunto de ciudades en un determinado territorio, donde cada una de ellas realiza determinadas funciones urbanas (industria, servicios, etc.) y se relaciona con las demás por medio de una serie de flujos (de personas, bienes y capitales). Entonces, el espacio interurbano hace referencia a la escala de análisis de las ciudades en el territorio, dadas sus diversas particularidades; así como su interdependencia entre ellas. En tal sentido, para Del Pinto (2001) las ciudades no pueden estudiarse aisladamente, porque son elementos espaciales en la organización regional o nacional de la economía, la sociedad y la política.

Por su parte, Borja (2003) define la ciudad como el conjunto de puntos de encuentro o un sistema de lugares significativos, tanto por el todo urbano como por sus partes, y debe ser entendida como un espacio público, es decir, como el lugar de cohesión y de los intercambios. Mientras que Cortes (2003) la describe como un conjunto de cosas: memorias, deseos, signos de un lenguaje y lugares de trueque.

En opinión de Lebevre (1976) la ciudad es una manifestación clara y formal de espacio, por ser producido socialmente donde existen un "N" cantidad de procesos detonados por la práctica social cotidiana, asimismo, señala que la ciudad concentra la creatividad y da lugar a los más altos productos de la acción humana. En ella se expresa la sociedad en su conjunto, tanto las relaciones de producción que constituyen la base económica, como la superestructura; la ciudad proyecta sobre el terreno a la totalidad social; es económica pero también es cultural, institucional, ética y valorativa.

Por otro lado, con respecto al espacio intraurbano, se refiere a la organización interna de las ciudades y es considerado como aquel que se constituye de manera desigual, a consecuencia de la forma que adopta la distribución de las actividades y grupos sociales, en el marco de una configuración diferenciada de los elementos del medio construido, que componen la base material para su localización en la urbe (Rubalcava y Schteingart, 1985).

De la misma manera, un espacio intraurbano, se conoce como el conjunto delimitado de los usos de suelo de una ciudad, relativos a las funciones urbanas y a las relaciones que se establecen entre los mismos; lo que da como resultado la forma urbana de las ciudades, es decir, la expresión física del espacio construido de las urbes, cuyo perfil puede ser representado en planta, horizontal, vertical o en contorno; y al mismo tiempo, es el resultado de factores complejos y únicos que las integran (Álvarez de la Torre, 2017; Zoido et al., 2011).

Al respecto, Zárate y Rubio (2005) manifiestan que las relaciones espaciales que existen al interior de las urbes entre los usos de suelo, las actividades económicas, las necesidades y características de la población, contribuyen a configurar el paisaje de las ciudades y determinan lo que se denomina estructura urbana. Y a su vez refleja un impacto en el modo de producción, que tiene como principal objetivo asegurar la circulación y acumulación de capitales en un marco de estabilidad política y social construido sobre relaciones de clase (Zárate, 1999).

La estructura urbana interna de una ciudad, se encuentra definida por su dimensión o extensión física, por sus límites que constituyen el perfil de la ciudad en planta y por su perfil vertical o contorno. Está constituida por elementos físicos destinados a la realización de diversas actividades; su distribución en el espacio determina la existencia de diferentes zonas en la ciudad, como son: el centro, áreas residenciales, zonas de equipamiento, áreas recreativas, mixtas, zonas industriales y franjas periurbanas; que corresponde a diferentes usos de suelo (Ducci, 2003).

En ese sentido, de acuerdo a Ducci (2003); Schjetnan, Cavillo, Peniche (1997) y Jurisdam et al. (2011); los elementos físicos que integran las diversas zonas y que

a su vez conforman la estructura urbana interna de una ciudad, se pueden organizar en los componentes descritos a continuación (Tabla 3):

Tabla 3.1. Componentes de la estructura urbana interna de las ciudades

Conjuntos urbanos	Equipamiento urbano	Infraestructura urbana	Mobiliario urbano
<ul style="list-style-type: none"> • Conjuntos habitacionales • Conjuntos comerciales • De servicios • Parques industriales • Conjuntos mixtos 	<ul style="list-style-type: none"> • De salud • Educación • Abasto • Recreación y cultura • Deportes • Recreación y la convivencia urbana • Asistencia social • Seguridad pública y la procuración de justicia • Defensa • Funerario • Transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Captación y distribución de agua • Sistemas de drenaje • Tratamiento de residuos sólidos • Distribución de energía eléctrica • Sistema de telecomunicaciones • Distribución de gas y gasolina • Alumbrado público • Infraestructura vial • Transporte público 	<ul style="list-style-type: none"> • Bancas telefónicas • Carteles publicitarios • Postes con nomenclatura y placas • Depósitos de residuos y contenedores • postes de alumbrado • Soportes para bicicleta • Jardineras • Protectores de árbol

Fuente: Jurisdam et. al., 2011; Sánchez y Wilmsmeier 2005; Ducci, 2003; Sistema Normativo de Equipamiento Urbano)

Desde esa perspectiva, la organización del espacio intraurbano es un reflejo del sistema de producción del medio construido, donde la renta del suelo tiene un papel primordial como elemento regulador y reproductor de la apropiación y división social del espacio. Además, de las diversas condiciones sociales y políticas particulares que caracterizan a cada uno de ellos y a la sociedad.

En ambas categorías de análisis de la geografía urbana (interurbano e intraurbano), los avances en el estudio de las ciudades se ha realizado por diferentes escuelas de pensamiento. En ese sentido, de acuerdo a Preciado (1992) las investigaciones en las ciudades se han llevado a cabo por escuelas de pensamiento en exceso dogmáticas y excluyentes como la determinista, la posibilista, la cuantitativa o la radical.

No obstante, en la presente investigación se contextualiza como ha sido abordado el estudio del componente “infraestructura urbana” en el espacio intraurbano de las ciudades. Ante ello, se puede mencionar que las intervenciones asociadas a la

infraestructura desde la subdisciplina de geografía urbana; en sus inicios, eran parte del sistema ciudad; es decir, se estudiaba de manera conjunta con los análisis de forma, funcionamiento y problemáticas que se atendían en las investigaciones de las urbes.

Esta forma de abordar el estudio del componente de la ciudad, pudo estar relacionado con la fuerte asociación que existe entre la forma que toma la estructura urbana de una ciudad con la existencia y desarrollo de los sistemas de infraestructura. Al respecto, Abramo, Rodríguez y Erazo (2016) señalan que las infraestructuras urbanas son la base material de la ciudad y son un elemento determinante en las políticas urbanas; por tanto, se considera que la relación entre ciudad, gobierno local e infraestructuras urbanas es indisoluble.

Por su parte, los geógrafos mostraron un alto interés por explicar el espacio intraurbano y clasificar la estructura interna de las ciudades de acuerdo con la especialización de sus servicios. Sus primeras intervenciones se limitaron a descripciones de la conformación interna de las urbes; sin embargo, posteriormente, externaron su preocupación por establecer la relación exacta que existe entre el tamaño de un núcleo urbano, medido por su número de habitantes, y la gama de servicios que ofrece (Jhohnson, 1987).

Entonces, se puede decir que las intervenciones sobre infraestructura urbana desde un enfoque geográfico, ha estado a cargo de la subdisciplina de Geografía Urbana, que centra sus estudios en la estructura y funciones de la ciudad, percibiéndola como un paisaje urbano (Hiernaux y Lindón, 2006).

Los primeros trabajos relacionados con ese enfoque geográfico se centraron en describir y analizar como el clima y las condiciones geográficas locales le daban forma al desarrollo de centros urbanos individuales. Más tarde, Brunhes (1920; citado en Latham, 2009), con sus trabajos realizados en Canadá buscó explicar cómo la arquitectura y la forma de los asentamientos particulares podrían relacionarse con la topografía, el clima y la geología de su región. Sin embargo, aún quedaban campos por abordar; dentro de ellos, las cuestiones morfológicas internas de las urbes.

En opinión de Zárate y Rubio (2005) para poder leer e interpretar la estructura urbana de las diversas ciudades, se requiere del apoyo de teorías que permitan describirla a través de supuestos científicos e ideologías diferentes. La finalidad de las teorías es proponer un modelo que permita explicar la distribución espacial de las actividades, usos del suelo y grupos sociales que conforman la estructura urbana.

Como muestra se tienen las propuestas de “**La Escuela Sociológica de Chicago**”, la cual dio origen a la Sociología y fue la primera en ejercer influencia en los estudios urbanos y antropología urbana. Para Zárate y Rubio (2005) y Johnson (1987) esta escuela de pensamiento tuvo una alta influencia por el Darwinismo social; dado que en sus intervenciones se consideró, que la diferencia interna de las ciudades se daba por el libre juego de las fuerzas económicas y sociales que se desarrollaban al interior de las urbes. Además, de la influencia sobre el comportamiento de los principios que rigen las relaciones entre los seres vivos en el mundo de la naturaleza, como son: competencia impersonal, dominación, invasión-sucesión, asimilación-segregación y áreas naturales.

Lo que da como resultado la creación de espacios con diferentes características particulares, que identifican a cada uno de ellos. La organización interna de dichos espacios, fue explicada con base en teorías ecológicas; dentro de las que se puede mencionar la de zonas concéntricas, sectores y la de núcleos múltiples.

El modelo de anillos concéntricos, fue propuesto por Ernest Burgess (1920) con base en los estudios de Von Thünen (1826) y por la aplicación de planteamientos ecológicos al análisis de la ciudad de Chicago. El modelo consistió en explicar la distribución de los usos de suelo y áreas residenciales de diferentes categorías a través de anillos concéntricos con base en cinco zonas: Distrito Central de Negocios (CBD), zona de transición, zona residencial de rentas medias, zonas residencial de rentas altas y zona suburbana (Zárate, 1999).

También, el modelo de zonas concéntricas describía en cada anillo el uso de suelo que dominaba en el área. Se caracterizó por destacar una zona transición donde

se registró una mezcla de actividades residenciales e industriales que se hicieron presentes en las ciudades de países industrializados (Guilbe, 2012; Johnson, 1987)

Por su parte, Guilbe (2012) señala que el modelo de anillos concéntricos fue un intento de estudiar geografía urbana en los países industrializados; en contraste Linares (2012) lo describió como un patrón ideal de crecimiento urbano. Sin embargo, más tarde fue criticado por autores como Schore (1965) y Castells (1976); por su falta de universalidad y anacronismo. Además, de no tomar en cuenta factores como las redes de transporte, la particularidades geográficas, la histórica y por reducir el principio de competencia que tuvo una alta importancia en la distribución de usos del suelo (Zárate, 1999).

Más adelante, Hoyt (1939) propuso el denominado “modelo sectorial” que tuvo el objetivo de explicar la organización espacial de las actividades urbanas, que era generada por la expansión horizontal y las vías de transporte producto del crecimiento industrial, así como por los efectos de las variaciones topográficas y los usos del suelo adyacente (Johnson, 1987).

El modelo sectorial también se basó en principios ecológicos de competencia impersonal y dominio. Sus antecedentes, de acuerdo a Zárate (1999) se encuentran en Von Thünen y Hurd. El primero fue quien defendió por primera vez la idea de que los usos de suelo se disponían en bandas longitudinales a lo largo de los ríos; mientras que Hurd, justificó tempranamente el crecimiento axial de la ciudad y el aumento de los valores del suelo junto a las líneas de transporte.

De acuerdo Guilbe (2012) los principios del modelo son un escenario evolutivo de nociones concéntricas, dado que se presentó un aumento de población, mejoras en la infraestructura y el dominio del automóvil.

Posteriormente, los geógrafos Harris y Ullman en 1945, propusieron el modelo plurinuclear, que describió la estructura esencialmente celular, en la cual los diferentes tipos de uso del suelo se desarrollaron alrededor de ciertos puntos de crecimiento, o núcleos, situados al interior del área urbana (Johnson, 1987).

La teoría de núcleos múltiples tuvo en cuenta el hecho de que la geografía interna de las ciudades se debe tanto a las peculiaridades de sus respectivos

emplazamientos como a la acción de sus fuerzas económicas y sociales de carácter más general (Johnson, 1987). Este modelo resalta la expansión dispersa horizontalmente alrededor de las ciudades, el afloramiento de los suburbios y el impacto de las redes viales (Guilbe, 2012).

Según los autores del modelo, los diversos usos de suelo que se disponían alrededor de los núcleos de crecimiento separados entre sí, se debió a cuatro principios: 1) cada actividad tiene exigencias concretas de localización; 2) las actividades semejantes se agrupan en unas mismas zonas para favorecer relaciones de complementariedad entre ellas; 3) las actividades que se perjudican entre sí, buscan localizaciones separadas y 4) muchas actividades no tienen capacidad económica para ocupar los lugares más accesibles y deseables de la ciudad.

Por su parte, Mendoza (2005) manifiesta que “**La Escuela Sociológica de Chicago**” se conformó por cuatro generaciones:

Tabla 3.2. Generaciones de la Escuela Sociológica de Chicago

Generación y Representantes (investigadores)	Corriente Teórica y técnicas de investigación	Aportaciones
<p>Primera generación: Albion Small (1854-1926), William I. Thomas (1863-1947), George E. Vincent (1864-1941), Charles Henderson (1848-1915), Georg Herbert Mead (1863-1931).</p> <p>La segunda y tercera generación (1915-1935): Robert Park (1864-1944), Ellsworth Faris (1874-1953), Ernest Burgess (1886-1966), Roderick McKenzie (1887-1940), William Ogburn (1886-1959) y en la tercera (1886-1959) y en la tercera generación, (formada de alumnos y discípulos) estaban, Herbert Blumer, Everett Hughes (1897-1981), Louis Wirth (1897-1952), Robert Redfield, Nels Anderson, Clifford Shaw, Robert E. L. Faris, Frederick Thrasher, Harvey Zourbaugh, Ruth Cavan, Franklin Frazier, Paul G. Cressey, Donald Cressey, Paul F. Cressey, Frances Donovan, Helen MacGill Hughes, Edwin Sutherland, Samuel Stouffer, Phillip Hauser, Earl Johnson, Ernest Mowrer, E.T. Hiller, Harold Gosnell, Albert Lepawsky, Walter Reckless y William Foote Whyte.</p> <p>Cuarta generación: Howard S. Becker, Erving Goffman y Morris Janowitz,</p>	<p>Positivismo de Augusto Comte. El llamado Darwinismo Técnicas: observación participante, métodos de historia de vida, documentos personales, surveys, mapas y estadísticas.</p>	<p>Nace la ecología humana, se aplica a los estudios de la ciudad y se convierte en ecología urbana.</p> <p>Desarrollo de la investigación sistémica con la línea teórica de investigación ecología humana, que consideró en los estudios urbanos trabajar con la ciudad y sus problemas sociales.</p> <p>Análisis y discusión de las teorías y métodos que se han desarrollado.</p>

Fuente: elaborado con base en Mendoza, 2005.

Los estudios realizados por esta escuela de pensamiento se basaron en analogías de estudios ecológicos, donde resalto la competencia impersonal entre individuos por la localización más favorable en la ciudad. Esta lucha se desarrolló primordialmente por medio de los mecanismos de mercado; lo que dio como resultado un patrón característico de precios del suelo y una segregación de personas de acuerdo con sus posibilidades para el pago de la renta (Mendoza, 2005).

Además, de tratar de explicar la distribución interna de las urbes, también se llevó a cabo estudios sobre las problemáticas que se daban en ellas, como son: el crecimiento espacial desordenado, apropiación del espacio, aculturación, relaciones étnicas, marginalidad, inmigración, altos índices de crecimiento, delincuencia, la falta de sistemas de infraestructuras para atender la déficit de servicios, entre otros.

Por otro lado, se encuentra la “**Escuela Antropológica de Manchester**” que tuvo influencia en los años 50 y 60 con el proyecto de investigaciones urbanas y rurales en África Central. La escuela de pensamiento fue liderada por Max Gluckman, su consolidación se realizó en dos instituciones: la Universidad de Manchester y el Rhodes-Livingstone Institute en Zambia creado en 1937. Sus estudios se enfocaron en dramas sociales, redes sociales, casi-grupos y análisis situacional, así como en la influencia de los autores clásicos principalmente Durkheim y Weber. Entre sus líneas temáticas se encontró: organización de villas, burocracia, papeles interjerárquicos, religión e historia (Mendoza, 2005; Johnson, 1987).

Otra de las escuelas que tuvo influencia en los estudios de las ciudades fue la llamada “**Escuela Marxista Francesa de Sociología Urbana**” liderada por Manuel Castells y Lefebvre como precursor mediato (Mendoza, 2013: 2005; Preciado, 1992;CEO, s/f), quienes orientaron las investigaciones e hicieron una crítica desde una perspectiva marxista a los estudios urbanos anteriores a 1972.

La Escuela Marxista Francesa de Sociología Urbana tuvo auge entre 1968-1977. Sus investigaciones se enfocaron al Estado, a la política de planificación urbana y a sus impactos en los movimientos sociales de base, que se convertían para ese entonces en actores sociales en un espacio de consumo colectivo: la ciudad.

Desde una crítica marxista Harvey (1973; citado por Zárata, 1999) señaló que la diferenciación interna de la ciudad es una consecuencia inevitable de la estructura social y del modo de producción capitalista. Por lo tanto, hace alusión que la distribución espacial de los usos de suelo y la formación de áreas residenciales de distintas características son el resultado de los valores del suelo, de uso y de cambio, y de su apropiación por la clase económica y socialmente dominante.

En ese sentido, Borja, Carrión y Corti (2017) manifiestan que las ciudades se caracterizan por cuatro factores: 1) la desigualdad social; 2) exclusión social y territorial; 3) insostenibilidad ambiental asociada a los costes energéticos, despilfarro de agua, calentamiento de planeta, contaminación del aire destrucción de los paisajes y mal uso del suelo y 4) el déficit de ciudadanía.

Bajo ese panorama, se deduce que el análisis de los componentes del espacio intraurbano de las ciudades ha estado a cargo de geógrafos, sociólogos y urbanistas, quienes han abordado las problemáticas de las ciudades y sus elementos que las conforman desde un enfoque ecológico-organicista, económico, político, social y espacial; con intervenciones de diversas escuelas de pensamiento (Chicago, Mangester, Alemana, Marxista, entre otras). Sus temas de análisis general, se ha enfocado al acelerado crecimiento demográfico y urbano y a la economía.

Más tarde, con las intervenciones del pensamiento marxista los estudios se enfocaron en explicar cómo se da la construcción del espacio urbano, que denominaron diversos geógrafos (Lefebvre, Harvey, Santos, Borja, entre otros) “espacio social construido”, donde se encontró integrado el componente de infraestructura urbana.

En opinión particular de Lefebvre (1998), el espacio social se conceptualiza como una compleja red de relaciones sociales, la cual se sustenta por una jerarquía de clases sociales y un modo de producción dominante. Mientras que para Haggett (1994), es el producto de las relaciones de la sociedad con la naturaleza. A su vez, Santos (1996) lo describe como una estructura, una totalidad cuyos componentes son los hombres, las firmas, las instituciones, el medio ecológico y las infraestructuras.

Para Lefebvre, Santos y Borja; la construcción social del espacio está compuesta por la sociedad, gobierno, infraestructuras y ambiente; los cuales son estructurados y poseen una jerarquía de acuerdo a su importancia, desempeño y función (Lefebvre, 1998, Santos, 1997; Borja, 2003).

Por otro lado, a finales de la década de los 60 y 70 en la Universidad de Columbia Británica investigadores de la escuela de pensamiento de ciencias naturales, realizaron estudios basados también en principios ecológicos; pero, asociados a problemáticas de ecosistemas naturales que posteriormente con base en sus fundamentos teóricos y analogías, fueron la base para estudios en el ámbito urbano.

Dentro de las investigaciones que destacaron se tuvo: la relación con el gusano de la picea y su papel en la dinámica del bosque boreal de América del Norte, la de los Grandes Lagos, la gestión de pastizales, la de las poblaciones interactuantes como depredadores y presas, y las asociadas con la teoría de estabilidad ecológica, por mencionar algunas. Las problemáticas que se atendió, estuvieron asociadas a la invasión de plagas en los ecosistemas y a la estabilidad que estos mantenían ante la presencia de las mismas (Holling, 1971).

Las aportaciones relevantes de ese periodo fue la introducción del concepto de “resiliencia” para caracterizar el equilibrio dinámico de los ecosistemas, la cual fue definida desde la perspectiva ecológica como: “una medida de la persistencia de los sistemas y de su capacidad para absorber los cambios y las perturbaciones y mantener las mismas relaciones entre poblaciones o estados variables” (Holling, 1973, p. 17). En esa misma línea, Walker et al. (2004), plantean un enfoque similar y la describen como la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones y

reorganizarse mientras experimenta cambios a fin de conservar esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentación.

Los estudios relacionados con la teoría de “resiliencia” en esas décadas (60 y 70), sin duda, fueron de enfoque ecológico. En ese sentido, Alexander (2012) hace alusión que la ecología es una ciencia que se presta a ser conceptualizada en términos de sistema. De hecho, menciona que sería difícil practicarla sin hacerlo, característica que contribuyó para la integración del concepto de resiliencia en esa disciplina. Lo cual se afirma con la intervención de Berkes y Ross (2013) quienes hacen alusión que la “resiliencia” es un concepto de sistemas. Situación que se ratifica con los trabajos realizados por los investigadores de ese periodo, quienes fundamentaron sus explicaciones del concepto de resiliencia con base en la Teoría General de Sistemas y el paradigma de la complejidad.

Para Castillo y Velázquez (2015) y Farhad (2012) las bases teóricas que permitieron la integración y el desarrollo de la teoría de “resiliencia” en las investigaciones de esas décadas; están asociadas de manera directa a teorías provenientes de un enfoque sistémico, como son: la teoría General de Sistemas (TGS), la cual dio pauta a la evolución de la teoría de la jerarquía, la teoría de los sistemas adaptativos complejos y la teoría de la complejidad.

La teoría general de sistemas, pertenece a las aportaciones del biólogo Ludwig Von Bertalanffy en la década de 1925. Se ha caracterizado por un pensamiento de sistemas, de corte horizontal que pasa a través de todos los diferentes campos del saber humano, para explicar y predecir la conducta de la realidad y es considerada de enfoque interdisciplinario (Johansen, 2004)). Por su parte, Arrascaeta (2007) plantea que se fundamenta en tres premisas: 1) Los sistemas existen dentro de sistemas; cada uno está dentro de otro más grande. Cada sistema que se examine, excepto el menor o mayor, recibe y descarga algo en los demás; 2) Los sistemas abiertos se caracterizan por un proceso de cambio infinito con su entorno, que son otros sistemas. Cuando el intercambio cesa, el sistema se desintegra, pierde sus fuentes de energía y muere; y 3) Las propiedades de los sistemas no pueden ser

descritas en términos de sus elementos separados; su comprensión aparece cuando se estudian como un todo.

Las particularidades del enfoque de sistemas, ha permitido que se adapte a las diversas disciplinas de la ciencia y el avance en el planteamiento de diversos modelos para dar soluciones a las problemáticas a nivel mundial, regional, nacional y local desde una perspectiva sistémica

En cuanto al paradigma de la complejidad, se puede decir que constituye una perspectiva novedosa y marginal en la ciencia contemporánea (González, 2009). Las ciencias de la complejidad se erigen en ese periodo, como una mirada estrictamente científica sobre un nuevo tipo de problemas y objetos de estudio: los sistemas complejos. No obstante, este modo de entender la complejidad parece seguir con los problemas epistemológicos heredados de concepciones científicas, como puede ser el positivismo lógico en el siglo XX (Rodríguez y Leónidas, 2011).

Desde un enfoque complejo, se percibe que los sistemas son abiertos y se caracterizan por estructuras con capacidad de auto-perpetuarse. Así, un sistema abierto, puede definirse como aquel que:

“tiene intercambio con el ambiente, a través de entradas y salidas. Intercambian energía y materia con aquel. Para poder sobrevivir a su interacción con el medio exterior, son adaptativos, tal cualidad suele ser una medida de su éxito: La adaptabilidad de un continuo proceso de aprendizaje y de autoorganización” (Reyes, s/f, p.40).

Bajo esos fundamentos, se introduce el término “resiliencia” en las investigaciones asociadas a los sistemas naturales que presentaron una crisis. Dichos trabajos, han servido para que el concepto pueda ser adoptado por el ámbito urbano. A criterio de Balanzó (2017) la resiliencia señala que las dinámicas de los ecosistemas naturales, aportan procesos de formulación, aplicación, implementación y contribuciones a las políticas urbanas.

En tal sentido, cabe señalar que las indagaciones de resiliencia en el ámbito urbano, se desprenden de las aportaciones del mismo biólogo Holling en los años 70. Dentro

de sus trabajos que han sido el puente para la incorporación en lo urbano, destaca el denominado “Ecology and Planning”, donde propuso un marco para describir los sistemas urbanos complejos y los sistemas ecológicos, el cual se conformó por cuatro propiedades (Holling y Goldberg, 1971, p.221):

“1) Su funcionamiento como sistemas interdependientes, es decir, tanto los sistemas urbanos como los ecológicos son verdaderos sistemas que funcionan como resultado de la interacción entre las partes. 2) Su dependencia de una sucesión de eventos históricos; la región de la ciudad, como un sistema ecológico, tiene una historia; es decir, los espacios urbanos con sus regiones son el producto de su historia. 3) Sus vínculos espaciales: un sistema urbano tiene características e interacciones espaciales significativas. Así, como la ciudad ha sido formada por eventos a lo largo del tiempo, también se ve afectada por los eventos en el espacio; es decir, la ciudad no es una estructura homogénea sino un mosaico espacial de variables sociales, económicas y ecológicas que están conectadas por una variedad de procesos de dispersión física y social. 4) su estructura no lineal. Se refiere a que las propiedades estructurales discontinuas no lineales observadas en los sistemas ecológicos se aplican a los sistemas urbanos; ejemplo de ello son: los umbrales y límites que existen con respecto al tamaño de una ciudad”.

Por otra parte, se tienen las intervenciones realizadas por el mismo Holling (1996), Olsson et al. (2015) y Walker et al. (2006), en las que hacen alusión que ofrecer una visión ecológica de los sistemas urbanos a los planificadores es arriesgado; pero, las posibilidades de colaboración pueden superar los riesgos, toda vez que tanto los ecologistas como los planificadores tienen mucho que aprender el uno del otro.

Muestra de ello, es que los avances en la investigación de resiliencia en el contexto urbano está tomando un enfoque multidisciplinario. Y a partir de la década del 2000 y 2010, diversos científicos (Holling, Walker, Folke, Adger, Alexander, Goldbask, Castillo y Velázquez, Frausto, por mencionar algunos) se dieron a la tarea de realizar trabajos para atender las problemáticas relacionadas con el cambio

climático en ciudades costeras, donde intervienen profesionales de diferentes disciplinas (geógrafos, antropólogos, biólogos, ingenieros, matemáticos, entre otros); con los que se ha logrado concretar trabajos como son: artículos teóricos y estudios de caso, que sin duda, son aportaciones significativas a la ciencia y en el futuro servirán como fundamentos teóricos o en su caso modelos para futuras investigaciones de resiliencia, en el contexto urbano.

3.3. El estudio de la resiliencia desde la geografía

Los estudios de resiliencia en la ciencia geográfica han sido abordados desde dos enfoques: el positivista y constructivista. El primero se asocia a las investigaciones de tipo cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático y científico, que tiene que ver con las ciencias exactas. No obstante, a través del tiempo ha sido adaptado a las ciencias sociales (Ramos, 2015).

El segundo enfoque, de acuerdo a Gergen (2007; citado por Ramos, 2015) permite contrastar las disciplinas naturales o exactas con las de tipo social; por ser ciencias cuestionadas, adecuadas para almacenar el conocimiento y aplicar métodos de investigación experimentales; en contraste, con el emergente constructivismo que maneja la propuesta de abordar acontecimientos históricos de alta complejidad, en donde el saber no es considerado como absoluto y acumulado, tomando en cuenta que en lo social, los fenómenos se encuentran en constante evolución.

3.3.1. Resiliencia desde el enfoque positivista

Los estudios de resiliencia con enfoque positivista desde la perspectiva geográfica, se asocian a las investigaciones de los sistemas socio-ecológicos; en otras palabras, a las interpretaciones de las ciencias naturales sobre los procesos ecológico-biofísicos de los sistemas y están vinculados al concepto de Panarquía, establecido por Gurderson y Holling (2002), así como al enfoque de sistemas complejos (Wilson, 2017; Walker y Cooper, 2011; Castillo y Velázquez, 2015; Farhad, 2012).

En las contribuciones de la ciencia geográfica se encuentran los estudios sobre análisis teóricos asociados a sistemas socio-ecológicos, que tienen como objetivo explicar las bases que sustentan los estudios de resiliencia. Una de las primeras aportaciones fue la realizada por Zimmerer en 1994, denominada "Human

Geography and the “New Ecology”: The Prospect and Promise of Integration” en su trabajo describió las semejanzas entre el análisis de la geografía humana sobre las relaciones con el entorno, que denominó como “nueva ecología”. Para Zimmerer (1994) la geografía humana ecológica y la “nueva ecología” comparten tres orientaciones ambientales: 1) la importancia del tiempo (es decir, su historia, factor, que hoy en día está asociado a los estudios de resiliencia); 2) la escala espacial (se especifica las escalas espaciales de estudio de la geografía hasta el nivel de comunidades); y 3) la subjetividad (heterogeneidad ambiental en los organismos - conciencia autoconsciente de los humanos en geografía). Dentro de las aportaciones relevantes de su trabajo, se tuvo la aclaración que los estudios en la ciencia geografía se realizan en una mezcla de escalas espaciales y no únicamente a micro-escala.

Por otra parte, se encuentran los análisis sobre el uso de la teoría de resiliencia, en la aplicación desde diferentes enfoques. En ese sentido, en opinión de Alexander (2012) la teoría de “resiliencia” tiene un futuro por delante como un concepto explicativo en varios campos aliados que se ocupan de los extremos ambientales; siempre y cuando siempre y cuando le permitan evolucionar, para que este pueda proporcionar elementos suficientes para una implementación adecuada en las diversas disciplinas.

En ese mismo orden de ideas, Grove (2013) con su estudio de análisis crítico de políticas de resiliencia, concuerda con lo planteado por el geógrafo Alexander, al mencionar que el concepto de resiliencia se está adaptando en las investigaciones sin tomar las consideraciones pertinentes para el éxito del mismo.

Por otro lado, se tienen los análisis asociados a las teorías que fundamentan y que han permitido la aplicación del concepto de resiliencia en los sistemas socio-ecológicos; donde sobresalen las aportaciones de los geógrafos Castillo y Velázquez (2015) y Farhad (2012), quienes realizaron un análisis teórico sobre el concepto de resiliencia en los sistemas socio-ecológicos, en donde exponen las bases teóricas que sustentan los estudios y desatacan sus bondades; asimismo, describen la dinámica que se da por medio de las metáforas de ciclos adaptativos y panarquía.

Por su parte, Weichselgartner (2015) con su trabajo “Geographies of resilience: Challenges and opportunities of a descriptive concept”, manifiesta dos preocupaciones principales sobre la teoría y su aplicación actual. La primera, la asocia a las actividades de desarrollo de resiliencia que se basan en suposiciones indiscutibles sobre el mundo social, imponiendo efectivamente un marco reduccionista técnico sobre redes más complejas de conocimiento, valores y significado, y por lo tanto acción. En segundo lugar, se refiere al modo de producción cuantitativa contemporánea de racionalizar la resiliencia en una firma comunitaria o índice de país.

A raíz de su análisis, expone que los geógrafos tienen gran oportunidad de trabajo en los estudios de resiliencia, y su intervención ayudaría a llenar varios vacíos, como son: la integración de las diversas dimensiones de los espacios urbanos. Para ello, el punto de partida clave es la integración de diferentes tipos de conocimiento, es decir, la interdisciplinariedad y una variedad de experiencias de científicos, público y tomadores de decisiones en políticas y prácticas que colaboren para generar no solo conocimiento científico confiable sino también adecuado al contexto, socialmente robusto y procesable (Weichselgartner y Kasperson, 2010).

3.3.2. Resiliencia desde el enfoque constructivista

Los estudios referentes al enfoque constructivista, se relacionan con las investigaciones sobre la resiliencia de las comunidades, en los que destacan trabajos de psicología, gestión de desastres, resiliencia urbana y la planificación regional, además, que se enfocan en comprender la resiliencia social vinculada a procesos sociopolíticos complejos (Wilson, 2017; Zamora, Gallardo, Ceña, 2016; Adger, 2000; Anderson, 2015).

Wilson (2017) menciona que el enfoque de resiliencia social, que ha sido estudiado y analizado por la perspectiva de la geografía humana, se basa tanto en enfoques orientados a los actores como en procesos sociales, políticos y económicos que reflejan el poder y los desequilibrios de escala que dan forma a la resiliencia de los sistemas humanos.

Por ejemplo, la investigación de Adger (2000) relacionada con resiliencia social, que la definió como la capacidad que tienen las comunidades para hacer frente a los

disturbios externos que resultan del cambio social, político y ambiental (Adger, 2000). Asimismo, su trabajo en conjunto con colaboradores denominado "Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters" donde exponen como tema prioritario la necesidad de construir resiliencia en las regiones costeras, dadas las tendencias de los asentamientos humanos, el uso de los recursos y el cambio ambiental global (Adger et al., 2005).

Desde otro enfoque asociado a la resiliencia de las comunidades, se tienen los trabajos de Méndez (2008) y Martín (2012) sobre "resiliencia económica regional", donde aborda las estrategias y capacidades económicas a nivel regional que poseen los territorios para hacer frente a los elementos perturbadores.

También, se han realizado aportaciones por parte de Wilson (2012) sobre "resiliencia comunitaria", donde se describen las habilidades y estrategias que las comunidades pueden y deben desarrollar ante una perturbación. Dentro de sus aportaciones, plantea la definición de resiliencia comunitaria como el proceso de adaptación en una comunidad después de una interrupción, que se distingue por dos factores: el capital social y las competencias de la comunidad.

Desde otra perspectiva Pascale y Metzger (2013), realizaron un análisis sobre la evolución del concepto y su asociación con las vulnerabilidades de las comunidades. En su trabajo puntualizan como se está abordando desde la gestión de riesgos de desastres en América Latina. Desde ese mismo enfoque, se tienen las investigaciones de Cutter (2008; 2014) quien manifiesta la necesidad de conocer la resiliencia de las comunidades, con el objetivo de reducir el riesgo de desastres asociado al cambio climático.

Desde otra perspectiva, en el ámbito social, se tiene el análisis de la noción de resiliencia como proyecto de neoliberalismo integrado. Los estudios desde ese enfoque buscan revelar como la teoría de resiliencia, se está manejando para crear responsabilidades en las sociedades que solo son supervisadas por los estados (Cretney, 2014 y Joseph, 2013).

Si bien, existen diversas aportaciones por parte de los geógrafos desde ambos enfoques de estudio. En opinión de Wilson (2014) y Cretney (2014) puntualizan que en el ámbito geográfico destacan tres contribuciones en los estudios de resiliencia,

por parte de la geografía humana y las clasifican de la siguiente manera: a) vínculos de los conceptos de resiliencia con cuestiones de espacio y escala; b) el llamado a una mejor comprensión de las nociones de poder en la resiliencia y c) la crítica de la noción dominante de la resiliencia como un proyecto neoliberal.

Desde la perspectiva espacio y escala, una de las contribuciones más relevantes es la de “**enfoque de resiliencia regional**” como un nivel de análisis espacial clave. No obstante, en opinión de Wilson (2012; 2014; 2015) la resiliencia es más fácil de entender a nivel individual y local, y difícil de comprender a nivel regional (Martin, 2012). Esto, al considerar que es más complicado identificar, definir y monitorear variables que permitan medir y fortalecer la resiliencia de los sistemas a una escala regional.

Al respecto, los geógrafos humanos han destacado que los procesos de construcción de resiliencia son espacialmente heterogéneos, temporalmente complejos y nunca uni-lineales (Wilson, 2017; Castillo y Velázquez, 2015; Farhad, 2012). Además, que desde el punto de vista metodológico y epistemológico, casi imposible entender a nivel global, dado que, para ello se deben considerar excesivos factores que conforman la mezcla de componentes de un sistema global resiliente (Wilson, 2017).

Entre otras intervenciones a los estudios de espacio y escala, se encuentra las de “**resiliencia urbana**”. La cual ha tenido especial atención en las agendas internacionales y nacionales; así como por organizaciones e instituciones como son: diversos centros universitarios, Fundación Rockefeller, el Centro de Estocolmo¹ y Alliance Resilience², por mencionar algunos.

En esa misma perspectiva, cabe señalar que a finales de esta década, las investigaciones de resiliencia, se han realizado a una escala espacial más específica. Como muestra de ello, es que ya existen estudios que evalúan de

¹ Es un centro internacional interdisciplinario de investigación de los sistemas socio-ecológicos, es decir, los sistemas en los que el ser humano y la naturaleza son estudiados como un conjunto integrado.

² La Alianza para la Resiliencia es una red interdisciplinaria de científicos y profesionales que analizan la dinámica integrada de las personas y la naturaleza desde una perspectiva del sistema socio-ecológico.

manera independiente la resiliencia de los subsistemas de las ciudades (económico, social, ambiental, político, infraestructura, salud, entre otros).

En la segunda contribución en el ámbito geográfico, se encuentra la perspectiva de la resiliencia social, que ya ha sido mencionada anteriormente. Para el estudio desde ese enfoque, se ha considerado que los sistemas humanos no puede entenderse sin comprender el papel de los gobiernos en los procesos de resiliencia, que están asociados directamente a cambios sociales, políticos y económicos (Brown, 2014; 2015; Grove, 2014). En opinión de Wilson (2014) comprender los procesos socioculturales de los sistemas resilientes, requieren métodos de investigación híbridos y mixtos que permitan descubrir la naturaleza y los roles de la agencia, la política y la gobernabilidad como motores de la resiliencia.

Finalmente, la tercera contribución de la geografía humana es la crítica a cerca de que las nociones de resiliencia están reforzando las vías de desarrollo neoliberales (Wilson, 2014; Cretney, 2014). En tal sentido, autores como Anderson (2015), Cretney (2014) y Joseph (2013); han argumentado que la resiliencia se puede interpretar cada vez más como un proyecto neoliberal, especialmente cuando se ven vías neoliberales por un grupo amplio de investigadores de resiliencia tradicionales, como la clave para hacer que las sociedades sean más resilientes; lo que ha conllevado en algunos casos, a establecer una gran responsabilidad de adaptación de manera individual, y han puesto una alta responsabilidad a las sociedades. Y a su vez, ha posicionado a la teoría de resiliencia, en ideal para las formas neoliberales de gobernanza.

Si bien, por parte de la geografía el avance en las investigaciones ha estado enfocado en análisis críticos sobre el uso y definición de la teoría, casos de aplicación en los sistemas urbanos y sociales (socio-ecológicos); aún queda mucho por aportar a los estudios de resiliencia, por parte de los geógrafos.

La línea de investigación ya está abierta, pero para continuarla es necesario; primero, tomar las consideraciones pertinentes para hacer uso y aplicación del concepto, dada la diversidad de definiciones que hay hoy en día y que sin duda se seguirán planteando nuevas. Por lo tanto, para una adecuada implementación, se

deberá definir las bases teóricas y metodológicas que sustenten su aplicación y por ende su uso, desde un enfoque geográfico.

Con respecto a los estudios de manera particular en los sistemas de infraestructura urbana desde un enfoque geográfico, han sido abordados de manera implícita en los estudios de resiliencia urbana y social, donde la consideran una dimensión para lograr una adecuada capacidad de respuesta ante las crisis de ambos enfoques. Por lo general los indicadores utilizados para caracterizar y medir el componente, están relacionados con la existencia de la infraestructura y su cantidad y la calidad del servicio que está a cargo de las mismas.

Por otra parte, es primordial tener en cuenta que en los estudios de resiliencia se requiere de una cooperación multidisciplinaria tanto del ámbito científico como en el social, dada la interdependencia en los diversos sistemas que conforman los espacios urbanos, sociales o naturales.

3.2. Los sistemas de infraestructura urbana

Desde el enfoque geográfico, los sistemas de infraestructura urbana se han estudiado de manera integral dentro del “espacio social construido” como un elemento en la conformación del espacio intraurbano de las ciudades. A partir de esta percepción sobre la ciudad, la orientación de los estudios tendió a ser más social. En tal sentido, Latham et al. (2009) hacen alusión que los teóricos se han interesado en la diversa materialidad a través de la cual surge la práctica social. Escenario que ha llevado a importantes debates, dado que en la actualidad no solo están interesados en las personas y el lenguaje, sino también en las complejas redes de cuerpos, objetos, tecnologías e imaginarios a través de los que se constituye la prohibición del espacio.

En ese contexto, los recientes debates asociados a la infraestructura urbana, están orientados a explicar la constitución socio-técnica de los fragmentos de sistemas urbanos como son cables, suministros de energía, satélites, entre otros; los cuales ayudan a la sociedad urbana a mantenerse unida (Latham et al., 2009).

La relevancia de explicar tal constitución socio-técnica, radica en que diversos elementos que conforman la estructura urbana, son mecanismos que dan forma a

la experiencia de la vida urbana, pero a menudo no se encuentran visibles y han pasado desapercibidos en el análisis de los estudios de la forma urbana. Además, en opinión de Bolán (1997; citado por Brigitte, 2006) las intervenciones urbanas se han centrado de manera particular al fenómeno de urbanización como producto de los cambios dentro de las ciudades y fuera de ellas; y no son abordados elementos y problemáticas que tienen el mismo nivel de importancia en las ciudades.

Por tanto, para comprender el estudio de los sistemas de infraestructura urbana, como parte de un espacio social construido, es necesario conceptualizarla. En ese sentido, de acuerdo al diccionario de la Real Academia Española (2019) define infraestructura como el conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para la creación y funcionamiento de una organización cualquiera, y puede ser la infraestructura aérea, social y económica. En relación a sistema, se refiere al conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a un determinado objeto.

Por su parte, Ducci (2003) y Schjetnan et al. (1997) externan que la infraestructura urbana es un componente fundamental en la organización de una ciudad. Se conforma por los servicios de captación y distribución de agua, sistemas de drenaje, tratamiento de residuos sólidos, distribución de energía eléctrica, sistema de telecomunicaciones, distribución de gas y gasolina, alumbrado público, infraestructura vial y transporte.

En otras palabras, la infraestructura urbana es considerada la base material de la ciudad y un elemento crucial en las políticas urbanas. Su funcionalidad en la ciudad se caracteriza por considerar que:

“ 1) las infraestructuras son el soporte principal de las actividades urbanas, dado que por medio de ellas se puede dotar de servicios de: agua, electricidad, industria y comunicación, entre otros; 2) Las infraestructuras urbanas son los componentes que permiten organizar la ciudad y dotarle de una estructura identificable y 3) Las infraestructuras son un instrumento primordial de política urbana, porque a partir de ellas se pueden definir las líneas de acción pública destinadas a la redistribución social (tasas) y territorial (segregación urbana),

a la accesibilidad (centralidad), a la construcción de los estímulos para la localización industrial (parques industriales), a la ubicación del comercio (Centros comerciales), a la producción de los niveles de competitividad (talento humano), a la construcción de centralidades urbanas (nodos temáticos) y a la mejora de la calidad de vida de los habitantes urbanos” (Abramo, Rodríguez y Erazo 2016, p.73).

Desde otra perspectiva, diversos autores como es la UNISDR (2014); USAID (2013); Gay (2016); Ventura et al. (s/f); Lomelí y Ríos (2008); Ducci (2003) y Zoido et al. (2000); la perciben como el eje central de las sociedades y elemento fundamental de la vida económica, social y cultural de las comunidades y países; que permite el mecanismo de generación, almacenamiento, transporte o distribución de materia y energía, con el fin de satisfacer las necesidades básicas y complementarias del ser humano, haciendo posible las transacciones dentro de un espacio geográfico y económico. Si bien, existen diversas determinaciones sobre los componentes del subsistema de infraestructura urbana, en la presente investigación se limita al sistema de agua potable, saneamiento, electricidad y vialidades.

3.2.1. El sistema de agua potable

Un sistema de suministro de agua convencional es una combinación de subsistemas complejos, que se conforma por la infraestructura de captación de suministro de agua, el depósito de almacenamiento, la planta de tratamiento, la red de distribución y las obras conexas o complementarias (Conagua, 2016).

El almacenamiento de agua está determinado por la capacidad de las infraestructuras y el flujo de entrada (principalmente por la escorrentía superficial de la cuenca y el flujo de la corriente), mientras que el tratamiento y la distribución del agua dependen estrechamente de la disponibilidad de agua en los depósitos (CAPA, 2016; Ducci, 2003; Ahmad y Simonovic, 2000; Schjetan, 1997).

La infraestructura de un sistema de agua potable inicia con el subsistema de captación; se conforma de obras civiles y electromecánicas, son diseñadas de

acuerdo a las características de la fuente de abastecimiento, localización, topografía del terreno y cantidad de agua a extraer.

La captación, es la parte inicial de un sistema de abastecimiento, es decir, es donde se extrae el agua para abastecer a las poblaciones; esta puede ser obtenida de: aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas meteóricas (atmosféricas) y agua de mar (salada). Las primeras se refieren a todas aquellas que se encuentran en los ríos, arroyos, lagos y lagunas. Dentro de sus principales ventajas es que pueden utilizarse con facilidad, se encuentran visibles, pueden ser saneadas con relativa facilidad y a un costo aceptable (Bazant, 1984).

Mientras que las aguas subterráneas son aquellas que se encuentran confinadas en el subsuelo. Su extracción se realiza a través de pozos someros y profundos, galerías filtrantes y en los manantiales cuando afloran libremente. Por su naturaleza de estar confinadas, se considera que son aguas más protegidas de la contaminación que las aguas superficiales, pero, cabe señalar que cuando un acuífero se contamina, no hay método conocido para descontaminarlo (Bazant, 1998; Jiménez, s/f).

Para que el agua pueda ser de consumo humano, es necesario potabilizarla. Por lo tanto, pasa por un sistema de tratamiento; el cual consiste en realizar todos los procesos físicos, mecánicos y químicos necesarios que harán que el agua adquiera las características aptas para su consumo. Posteriormente, se realiza el proceso de regularización, donde se hace un cambio de régimen de abastecimiento constante a un régimen de consumo variable.

En lo referente a la línea de alimentación, se conforma por un conjunto de tuberías que sirven para conducir el agua desde el tanque de regularización hasta la red de distribución.

Por último, pasa al subsistema de red de distribución; conformado por válvulas, tuberías, toma domiciliaria, medidores y en caso de ser necesario equipos de bombeo. La red tiene como objetivo entregar el agua a los usuarios, debiendo ser el servicio constante las 24 horas del día, en cantidad adecuada y con la calidad

requerida para todos y cada uno de los tipos de zonas (socio-económicas, comerciales, residenciales de todos los tipos, industriales, etc.).

3.2.2. El sistema de saneamiento

Los sistemas de alcantarillado, tienen como función el retiro de las aguas que ya fueron utilizadas y contaminadas por la población y aquellas provenientes de lluvias. Se catalogan con el nombre genérico de “aguas residuales” y “aguas pluviales”.

De acuerdo a CAPA (2016); CONAGUA (2009: 2015); Cisneros (2008) y Jiménez (s/f), los sistemas de alcantarillado, se pueden clasificar en: alcantarillado sanitario y pluvial. El primero se refiere a los sistemas de infraestructura que se diseñan para recibir aguas residuales (domesticas e industriales) y conducir las hasta el sitio que se ha seleccionado para su tratamiento y disposición final. Mientras que los sistemas de infraestructura de alcantarillado pluvial, se proyectan para captar las aguas pluviales, se puede llevar a cabo de dos formas: 1) utilizando conductos en todas las calles de una localidad y 2) empleando estructuras especiales de captación, a las que se conectarán interceptores que servirán para el desalojo.

El sistema de infraestructura de saneamiento, consiste en un sistema de conductos enterrados llamados alcantarillas, que son instalados en el centro de las calles y se integran por la red de atarjeas, subcolectores, colectores, emisor, infraestructura de tratamiento de aguas residuales y sitio de vertido; además de las obras conexas como pueden ser plantas de bombeo, pozos de visita, entre otras (Bazant, 1998).

La red de atarjeas, tienen como función recibir las aguas residuales domiciliarias, comerciales e industriales por medio de una descarga. Sus diámetros de tubería y el albañal generalmente son de 15 cm y el de la atarjea como mínimo de 20 cm.

En lo que se refiere a los subcolectores, su función es recolectar las aguas de las atarjeas, para después enviarlas a un colector.

La infraestructura del interceptor, se refiere a las tuberías que interceptan las aportaciones de aguas negras de dos o más colectores y terminan en un emisor o en la planta de tratamiento.

El emisor tiene la función de retirar de la localidad todo el volumen de agua captada por la red de alcantarillado y conducirla al sitio donde se tratará (planta de tratamiento o a un sistema de reúso) o verterá.

El tratamiento consiste en separar de las aguas residuales los sólidos, líquidos, productos químicos, bacterias y virus para poder emplearlas, posteriormente a su tratamiento.

Después del tratamiento, las aguas pueden ser desalojadas o en su caso reusadas. En el primer caso, se localiza un lugar específico apto para ello, puede ser un cuerpo de agua, o algún otro espacio determinado apto por especialistas. Dichas áreas son denominadas “sitios de vertido”. En el segundo caso, se realiza el proceso que se requiera de acuerdo al reúso que se le dará (riego agrícola, uso urbano no potable, uso no potable de habitantes, etc.).

Por otro lado, se encuentran las obras conexas, integradas por las estructuras auxiliares que tienen funciones específicas dentro del sistema de alcantarillado, como son: pozos de visita (alcantarillado sanitario), tragatormentas (alcantarillado pluvial) y estaciones de bombeo.

3.4. Resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana

La capacidad de una sociedad o sistema físico para superar los desastres, ya sean naturales o antrópicos, se refiere a la “resiliencia” (Colín y Peter, 2016). Desde un enfoque geográfico, la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana, han sido parte de las investigaciones de resiliencia urbana y social. En ambos enfoques la infraestructura, se ha manejado como una dimensión conformada por indicadores (calidad, cantidad, % de cobertura de servicios que dotan, entre otros) por medio de los cuales se mide la resiliencia de la dimensión y con ello la resiliencia urbana o social en una escala local.

Los avances en la evolución del concepto, cuantificación y evaluación de la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana, se ha dado en el sector de la ingeniería (por ingenieros estructurales); el cual ha adoptado el enfoque sistémico planteado por parte de la disciplina de las ciencias naturales y sociales; y lo está

modificando e incorporando en la planificación, diseño y fortalecimiento de las capacidades de respuesta de los subsistemas de infraestructura urbana, como parte del sistema ciudad.

Las intervenciones en ese ámbito se han enfocado a la parte física que integra dichos sistemas. No obstante, dada la evolución del concepto por parte de las ciencias naturales y sociales, ha dado la pauta para que los especialistas del campo de ingeniería opten por ir adecuando sus estudios y están tratando de buscar la integración socio-física de los sistemas, con el objetivo de integrar las variables sociales y físicas que inciden en la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana.

Como se ha mencionado a lo largo del trabajo, el concepto de resiliencia ya había sido integrado en estudios asociados a la infraestructura o sistemas de ingeniería; pero, su aplicación estuvo limitada a la parte física de los mismos. Para la década del 2000 el término “sistemas de infraestructura resiliente” toma relevancia en el ámbito científico desde un enfoque socio-técnico. Incluso, tal fue su relevancia que fue integrado en los instrumentos y acuerdos a nivel internacional, nacional y estatal (Marco de Sendai, ODS, PNI, ENCC, por mencionar algunos); por la necesidad de fortalecer las capacidades de respuesta ante eventos de origen natural y antropogénico, a los que se está enfrentando las ciudades y por ende los sistemas que las conforman.

Los primeros autores que definieron resiliencia en los sistemas físicos o sistemas de infraestructura urbana, fueron Bruneau et al. (2003), quienes expresaron que la resiliencia tanto para los sistemas físicos como para los sociales puede definirse por cuatro propiedades o principios: Robustez, Redundancia, Recursos y Rapidez. La primera la describieron como la fuerza, o la capacidad de los elementos, sistemas y otras unidades de análisis para soportar un nivel dado de estrés o demanda sin sufrir degradación o pérdida de función. Mientras que la redundancia, la relacionan con la medida en que existen elementos, sistemas u otras unidades de análisis que son sustituibles, es decir, capaces de satisfacer los requisitos funcionales en caso de interrupción, degradación o pérdida de funcionalidad.

Para Gallego y Essex (2016a) la integración, coordinación y secuencia son necesarias para garantizar que cuando una estructura falla, no anule todo un sistema. En la práctica, eso significa que es probable que los buenos sistemas de infraestructura estén formados por partes y piezas o en su caso estructuras pequeñas e interconectadas en lugar de grandes proyectos; situación que está asociada directamente a propiedad de redundancia.

Los recursos se refieren a la capacidad para identificar problemas, establecer prioridades y movilizarlos cuando existen condiciones que amenazan con alterar algún elemento, sistema u otra unidad de análisis. Asimismo, se pueden conceptualizar como la capacidad de aplicar y movilizar lo material (es decir, monetario, físico, tecnológico e informativo) y los recursos humanos para cumplir con las prioridades y alcanzar los objetivos establecidos. Por último, la rapidez es definida como la capacidad de cumplir con las prioridades y alcanzar los objetivos de manera oportuna para contener las pérdidas y evitar futuras interrupciones.

A criterio de O' Rourke (2007) y Bruneau et al. (2003) la resiliencia en los sistemas de infraestructura puede ser conceptualizada como aquella que consta de cuatro dimensiones interrelacionadas denominadas "TOSE": técnica, organizativa, social y económica. La dimensión técnica se refiere a la capacidad de los sistemas físicos (incluidos los componentes, sus interconexiones e interacciones y los sistemas completos) para rendir a niveles aceptables.

La dimensión organizativa se asocia a la capacidad que poseen las instituciones y organizaciones que tienen injerencia en los sistemas de infraestructura, sobre la implementación de acciones y toma de decisiones en caso de desastre, de tal manera que contribuyan a lograr los principios de resiliencia (robustez, redundancia, recursos y rapidez). Mientras que la dimensión social consiste en las medidas diseñadas para reducir el grado de afectación de las comunidades. Y por último, la dimensión económica se refiere a la capacidad para reducir las pérdidas financieras directas e indirectas que resultan de la afectación de un evento.

Algunos de los factores propuestos para la evaluación de la resiliencia en sistemas de infraestructura, fueron presentados en una matriz agrupados de acuerdo a la

incidencia en los principios de resiliencia (Tabla 3.3), sin que estos sean limitativos (O' Rourke, 2007; Bruneau et al., 2003).

Tabla 3.3. Matriz de cualidades de resiliencia

Dimensión / Calidad	Técnica	Organizativo	Social	Económico
Robustez	Códigos de construcción y procedimientos de construcción para estructuras nuevas y remodeladas	Planificación de operaciones de emergencia	Vulnerabilidad social y grado de preparación de la comunidad	Alcance de la diversificación económica regional
Redundancia	Capacidad para sustituciones técnicas y "soluciones temporales"	Sitios alternativos para la gestión de operaciones de desastres	Disponibilidad de opciones de vivienda para las víctimas de desastres	Capacidad de sustituir y conservar las entradas necesarias
Recursos	Disponibilidad de equipos y materiales para restauración y reparación	Capacidad para improvisar, innovar y expandir operaciones	Capacidad para abordar las necesidades humanas	Capacidad empresarial e industrial para improvisar
Rapidez	Tiempo de inactividad del sistema, tiempo de restauración	Tiempo entre el impacto y la recuperación temprana	Es hora de restaurar los servicios de línea de vida	Es hora de recuperar la capacidad, pérdida de ingresos

Fuente: actualización de una entrevista por Tom O'Rourke, 2007, los datos de Bruneau.

Por su parte, O'Rourke (2007) propone cuatro factores para promover la resiliencia en los sistemas de infraestructura: la conciencia, el liderazgo, planificación de emergencias y asignación de recursos. Con respecto a la **conciencia** se refiere a la educación pública que posee una sociedad sobre los peligros, desastres y los problemas ambientales.

El **liderazgo** lo caracteriza como el factor más crítico para promover la resiliencia, y como aquel que es menos predecible. Mientras que **la planificación de emergencias** la describe como un elemento que requiere simulacros y ejercicios de respuesta a emergencias, que puede ayudar a identificar las debilidades y conducir a mejoras en las operaciones de los sistemas. Al respecto, cabe mencionar que es importante tener en cuenta, que el éxito de los planes de emergencia dependerá de su flexibilidad de adaptación, dado que cada evento tiene diferentes características de impacto. Sin embargo, si existe una adecuada planificación, los administradores de emergencias y los operadores de líneas de vida pueden improvisar, y la improvisación habilitada permite que los responsables de emergencia se adapten a las condiciones de campo.

Finalmente, la **asignación de recursos** se considera un elemento base, porque permite la construcción y el mantenimiento de sistemas de infraestructura; y al mismo tiempo contribuye a fortalecer su resiliencia. Para O'Rourke (2007) construir y mantener una infraestructura que resulto crítica ante un desastre, requiere recursos financieros adecuados y un compromiso a largo plazo para terminar proyectos complejos. En ese sentido, en opinión de Gallego y Essex (2016) los recursos financieros asignados a sistemas de infraestructura, se basa en un retorno de la inversión y una vida útil corta, cuando en contextos reales dada las necesidades de las sociedades, dichos sistemas dan servicios por largos años de vida para los que no fueron proyectados.

Entonces, bajo esos fundamentos, es necesario reconocer y hacer conciencia que la inversión en infraestructura realizada hoy, no solo tendrá que responder a los impactos climáticos actuales y futuros sobre la infraestructura en sí, sino que determinará cómo vivirán los futuros usuarios.

En tal sentido, Hallegatte, Shalizi y Lecocq (2009; citados por Giordano, 2012) señalan como factor relevante de los sistemas de infraestructura, el conocimiento de la capacidad de sus años de vida útil para los que son diseñados y exponen los sectores que son potencialmente afectados por el cambio climático (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Infraestructura de larga vida y su vulnerabilidad al cambio climático

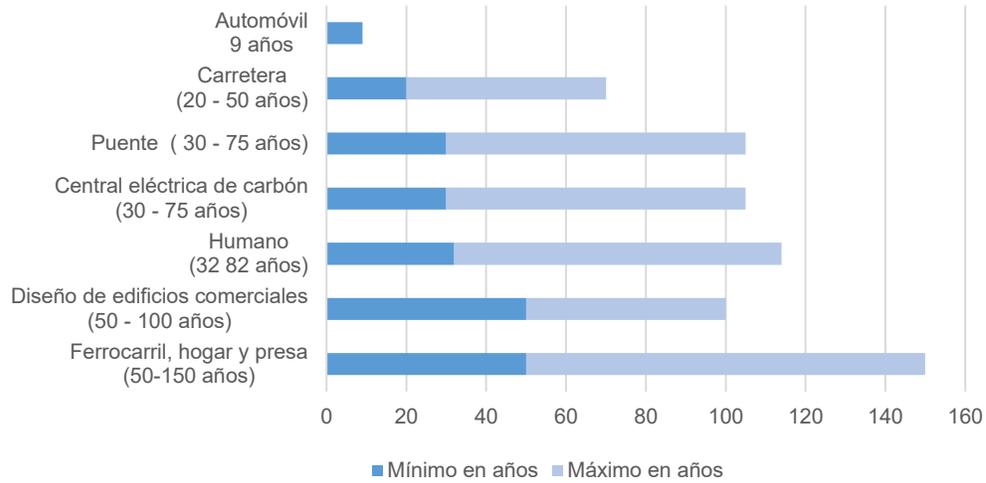
Sectores	Escala de tiempo (años)	Exposición
Edificios económicos y sociales (por ejemplo, fábricas, escuelas, hospitales)	> 20	+
Infraestructuras de agua (por ejemplo, presas, embalses, redes de distribución)	20-300	+++
Planificación del uso de la tierra (por ejemplo, en zonas llanas o costeras)	> 100	+++
Defensas de costas e inundaciones (por ejemplo, diques, paredes marinas)	> 50	+++
Edificios (por ejemplo, aislamiento, ventanas)	30-150	++
Infraestructura de transporte (por ejemplo, puertos, puentes, carreteras, ferrocarriles, estaciones de tren)	30-200	+
Formas urbanas (por ejemplo densidad urbana, parques)	> 100	+
Producción y transporte de energía (por ejemplo centrales eléctricas, sistema de refrigeración, red de distribución)	20-70	+

Fuente: Hallegatte (2009: 241) y Shalizi y Lecocq (2009) citados en Giordano (2012).

El conocimiento sobre la esperanza de vida de los sistemas de infraestructura, resulta útil para la toma de decisiones de inversión, diseño, operación, fortalecimiento y mantenimiento de los mismos. Al respecto, Gallego y Essex (2016)

plantean una adaptación del Informe Planeta Vivo de WWF, sobre los años de vida útil de personas, activos e infraestructura (Figura 3.1).

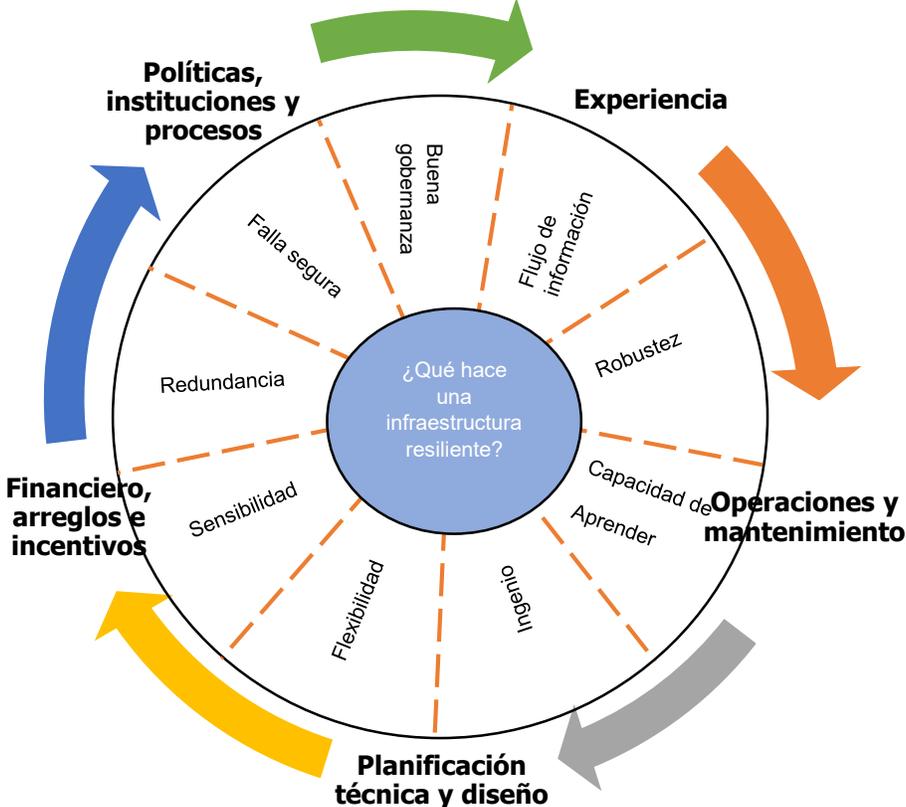
Figura 3.1. Años de vida de personas, activos e infraestructura



Fuente: elaborado con base en Gallego y Essex (2016)

Por otra parte, Moor et al. (2015) y Gallego y Essex (2016) manifiestan que las propiedades que hacen que una infraestructura sea resiliente, son las plasmadas en la denominada “rueda de resiliencia” (Figura 3.2).

Figura 3.2. Propiedades de resiliencia de la infraestructura



Fuente: Moor et al., 2015 y Gallego y Essex, 2016.

Las propiedades de la rueda de resiliencia son descritas por Moor et al. (2015) y Gallego y Essex (2016). La **buena gobernanza**, la señalan como aquella que define roles y responsabilidades para que las funciones de las organizaciones no se superpongan y no haya competencia por recursos financieros y humanos limitados. Además, que incluye la responsabilidad pública, la transparencia, las medidas anticorrupción y comprender e involucrarse con las perspectivas de resiliencia. Por su parte, **los flujos de información**, son un factor clave en los sistemas de infraestructura resiliente, permiten el intercambio de información entre los administradores, el personal y los usuarios. Cabe hacer mención, que la eficiencia con las que se dan, permitirá transmitir lecciones posteriores a desastres y emergencias.

Otro factor es **la experiencia**, la cual se asocia a las habilidades con las que cuenta el personal encargado de los sistemas de infraestructura para recopilar información confiable que sea útil para la toma de decisiones estratégicas en los sistemas de infraestructura. Mientras que la **flexibilidad**, es la capacidad de poder cambiar y evolucionar en respuesta a las condiciones cambiantes, es decir, implica que los encargados de los sistemas de infraestructura sean receptivos al conocimiento local y a las nuevas técnicas que ayuden a fortalecer la resiliencia de los sistemas.

Por otra parte, el **ingenio** se caracteriza por la capacidad de movilizar activos y recursos para cumplir con las prioridades y objetivos; incluye recursos financieros, sociales, físicos, tecnológicos, de información y ambientales. En otras palabras, es "la capacidad de visualizar y actuar, identificar problemas, establecer prioridades y movilizar recursos cuando existen condiciones que amenazan con interrumpir un elemento del sistema" (Da Silva et al., 2012, p.).

Conjuntamente, la **sensibilidad** consiste en la capacidad y motivación del personal para restaurar la función y el orden rápidamente después de una falla; este factor está asociado directamente con la **capacidad de aprender**, la cual se refiere a las habilidades que desarrollan los ingenieros, planificadores de emergencias, operadores, propietarios, reguladores, entre otros., a través de las experiencias y fallas pasadas.

Con respecto a **redundancia** se describe como la capacidad de reserva y existencia de una diversidad de elementos y opciones, para cuando un elemento falle, otro pueda cumplir su función similar o en su caso ser sustituido. En esa misma línea, el factor **falla segura** involucra el diseño de la infraestructura, con el objetivo que cuando un componente se vea afectado, lo haga de forma progresiva con una interrupción mínima tanto en la infraestructura como en la red; para con ello, contribuir a minimizar los desastres. Además, que la falla segura es un medio para lograr la robustez, ya que permite que las afectaciones se presenten de manera paulatina, de tal manera que se protejan los componentes críticos de los sistemas de infraestructura que son la base de su funcionamiento y al mismo tiempo minimice la extensión de una falla total.

Por último, la **robustez** se describe como la capacidad de un sistema para soportar tensiones y choques a un nivel que se considera tolerable y rentable.

En opinión de Moor et al. (2015) las propiedades de resiliencia pueden agruparse en cinco dominios (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Dominios de un sistema de infraestructura resiliente

DOMINIOS	PRINCIPIOS DE RESILIENCIA
Políticas, instituciones y procesos (PIPs)	Los PIPs deben incorporar y promover los principios de buen gobierno y fomentar el flujo de información horizontal y vertical en todo el sistema. Los planes y procesos deben ser flexibles y alentar la capacidad de respuesta y el ingenio. Las instituciones deben tener la capacidad de aprender de las fallas pasadas, y se deben implementar procesos y políticas para fortalecer la resiliencia. Además, los PIPs que fomentan la coordinación multimodal y multiagencia son necesarios para que los principios de falla segura, robustez y flexibilidad se tengan en cuenta en la planificación técnica y el diseño de los sistemas de infraestructura.
Experiencias	Se refiere a la capacidad para institucionalizar e incorporar procesos resilientes, por parte de los agentes gubernamentales, operadores, ingenieros, personal de emergencia, reguladores y sociedad. El objetivo de este dominio es que los agentes sean educados en los principios de buen gobierno en sistemas de infraestructura y capacitados en cómo recopilar, intercambiar y usar información. Además, se les debe alentar a ser flexibles a las circunstancias cambiantes, mostrando capacidad de respuesta e ingenio para movilizar activos y recursos, así como para responder de manera rápida y eficaz durante una emergencia.
Financiero Arreglos e incentivos	Se necesitan recursos e incentivos adecuados para planificar, diseñar y construir una infraestructura resiliente. Los acuerdos e incentivos financieros deben ser flexibles, mostrar capacidad de respuesta e incorporar los principios del buen gobierno.
Operaciones y mantenimiento	Los procesos de operación, mantenimiento, inspección y monitoreo de los sistemas de infraestructura, son esenciales para garantizar su robustez. Este dominio, permite recopilar y almacenar información sobre el rendimiento de la infraestructura, que proporciona la

	capacidad de aprender de fallas pasadas y detectar deterioros tempranos. Los procesos de operación y mantenimiento fortalecen la capacidad de respuesta y el ingenio de los agentes para identificar problemas, establecer prioridades y restaurar la función rápidamente después de una falla.
Planificación técnica y diseño	La planificación técnica y las medidas de diseño no son complementos y no se pueden abordar de forma aislada de los otros dominios. La proyección y diseño de fallas seguras, robustez y flexibilidad, contribuyen a mitigar la vulnerabilidad y la exposición a los peligros, así como minimizar la gravedad de las consecuencias cuando se producen daños o fallas.

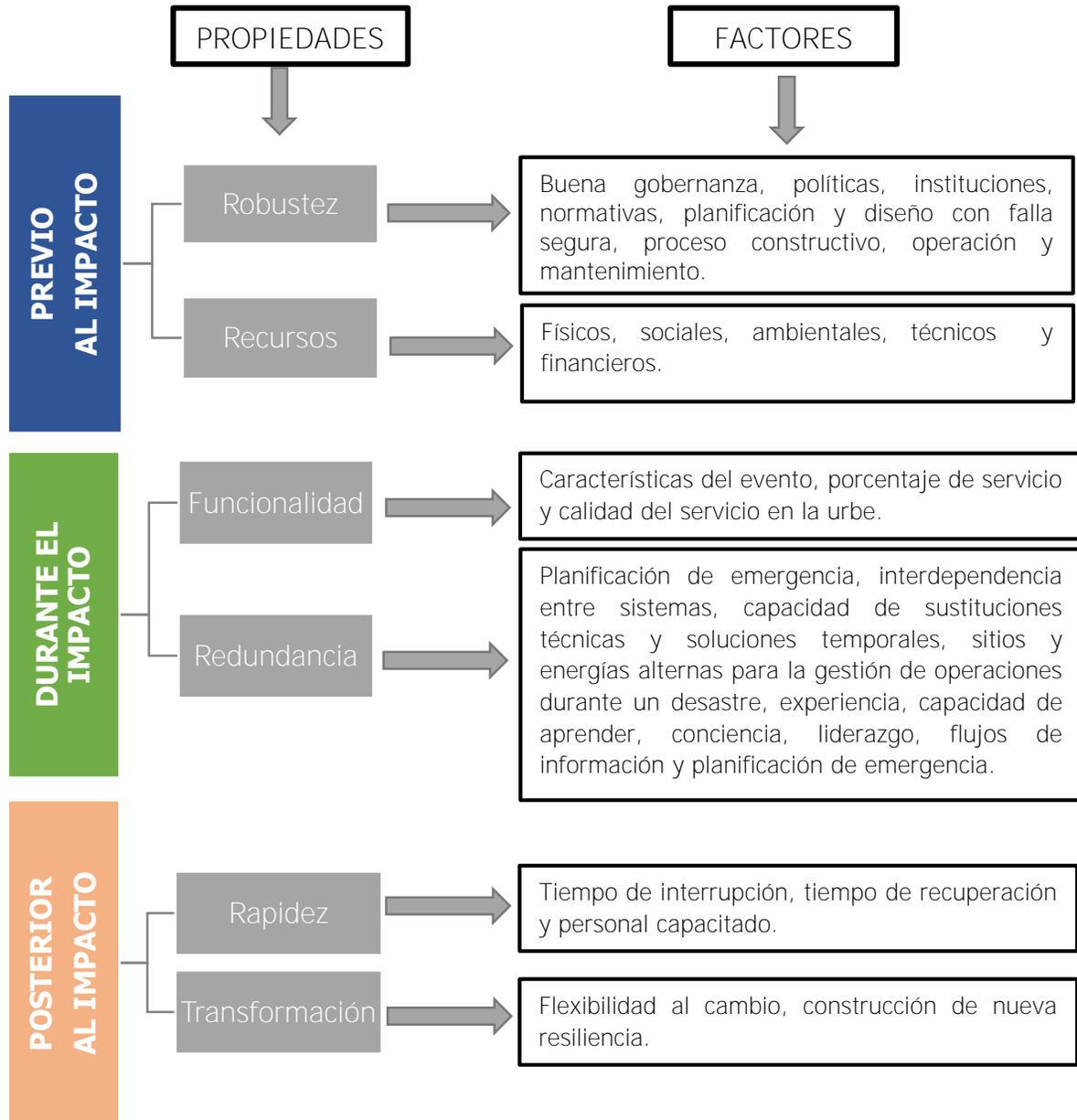
Fuente: Adaptado de Moor et al. 2015

Desde otra perspectiva la infraestructura puede ser resiliente al clima con base en (Gobierno de Reino Unido, 2011, p. 17):

- 1) Asegurar una actualización que responda a nueva normativas, códigos y reglamentos, que signifique definir medidas de adaptación.
- 2) Que los regímenes de mantenimiento incorporen las resiliencia a los impactos del cambio climático durante la vida de un activo.
- 3) Asegurar que la infraestructura sea capaz de responder a los posibles aumentos de los fenómenos meteorológicos extremos tales como: tormentas, inundaciones, nevadas y olas de calor.
- 4) 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.
- 5) La construcción con flexibilidad, de tal manera que los activos de infraestructura pueden ser modificados en el futuro sin incurrir en costos excesivos.
- 6) Asegurar que las instituciones encargadas de desarrollar infraestructura, así como los profesionales tengan los conocimientos adecuados y las capacidades para aplicar medidas de adaptación.

Entonces, en el presente trabajo las propiedades para evaluar la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera, se integraron de la siguiente manera (Figura 3.3):

Figura 3.3. Propiedades para evaluar la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera.



Fuente: elaborado con base en Bruneau et al., 2003; O'Rourke, 2007; Giordano, 2012; Moor et al., 2015; Gallego y Essex, 2016.

De esta manera, el enfoque de resiliencia puede funcionar como marco en la mitigación de diversos riesgos en los sistemas de infraestructura urbana, así como para fortalecer su capacidad de respuesta a los mismos, incluidos los asociados al cambio climático. En tal sentido, García et al. (2017), Gallego y Essex (2016) y O’Rourke (2007), señalan que uno de los elementos que deben definirse para comprender cómo se entiende la resiliencia dentro de los sistemas de infraestructura, son los factores de estrés, que se definen como una presión causada por actividades humanas (pueden ser ataques terroristas u otros) o por eventos naturales.

Para García et al. (2017) los factores de estrés se clasifican en tres niveles. El primero está limitado solo a “factores de estrés”, los cuales están asociados a aquellos que afectan las variables del sistema y, a su vez, su rendimiento. En el segundo nivel se refiere a los “factores estresantes crónicos” los que se integran por la urbanización y el envejecimiento de la infraestructura, y por último los “factores estresantes agudos” que son aquellos impredecibles, poco frecuentes y pueden tener consecuencias devastadoras como: inundaciones, terremotos, huracanes, brotes de enfermedades y ataques terroristas, que son un riesgo, y puede materializarse en desastre.

3.5. El riesgo en los sistemas de infraestructura urbana

Los sistemas y redes de infraestructura son factores críticos para la prosperidad, el crecimiento y la conexión intraurbana e interurbana de las ciudades (Tamvakis y Xenidis, 2013; O’Rourke, 2007). Además, son considerados elementos clave en los momentos de crisis.

Los riesgos asociados al cambio climático son uno de los mayores desafíos a nivel mundial y los sistemas de infraestructura no están exentos de ellos. El clima extremo impredecible ya representa un desafío para ellos, debido a que sus activos tienen una larga vida útil de operación, son sensibles no solo al clima existente en el momento de su construcción, sino también a las variaciones climáticas a lo largo de las décadas de uso. Por lo tanto, para abordar la resiliencia en los sistemas de infraestructura se requiere una comprensión de los riesgos que son complejos,

inciertos e impredecibles que pueden llegar a ocasionar un desastre (Gallego y Essex, 2015; UKGovernment, 2011; O'Rourke, 2007).

En relación a lo anterior, la Ley General de Protección Civil (LGPC) define como riesgo a los daños o pérdidas probables sobre un agente afectable, que es el resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador (LGPC, 2018). Otra definición similar es la propuesta por el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC, 2017) que lo describe como la posibilidad de pérdida tanto en vidas humanas como en bienes o en capacidad de producción; y lo asocia con la vulnerabilidad y la amenaza. Mientras que para el geógrafo Lavell (1996; 2000) el riesgo es la probabilidad de que a una población (personas, estructuras físicas, sistemas productivos, entre otras.), o segmento de la misma, le ocurra un daño.

En tal sentido, el Centro Nacional de Prevención de Desastres y la Ley General de Protección Civil, proponen la siguiente clasificación de tipos de riesgos (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Clasificación de riesgo

Riesgo	Definición	Amenaza
Geológico	Agentes perturbadores que tienen como causa directa las acciones y movimientos de la corteza terrestre.	Sismos, erupciones volcánicas, tsunamis, inestabilidad de laderas, los flujos, derrumbes, hundimientos, subsidencia y agrietamientos.
Hidrometeorológico	Agente perturbador que se genera por la acción de los agentes atmosféricos.	Ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres, tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad, heladas, sequías ondas calidad y gélidas; y tornados.
Químico – Tecnológico	Agente perturbador que se genera por la acción violenta de diferentes sustancias derivadas de su interacción molecular o nuclear.	Incendios, explosiones, fugas tóxicas, radiaciones y derrames.
Sanitario – Ecológico	Agente perturbador que se genera por la acción patógena de agentes biológicos que afectan a la población, a los animales y a las cosechas.	Epidemias, plagas, contaminación del aire, agua, suelo y alimentos.
Socio- organizativo	Agente perturbador que se genera con motivo de errores humanos o por acciones premeditadas, que se dan en el marco de grandes concentraciones o movimientos masivos de población.	Inconformidad social, concentración masiva de población, terrorismo, sabotaje, vandalismo, accidentes aéreos, marítimos o terrestres, afectación de servicios básicos o de infraestructura estratégica.

Fuente: Ley General de Protección Civil, 2018 y CENAPRED, 2017.

Si el riesgo se deriva de la relación dinámica entre las amenazas y las distintas expresiones de vulnerabilidad de los grupos sociales. Entonces, para que exista un

riesgo debe haber una amenaza y una población vulnerable a sus impactos; es decir, el riesgo se compone por: la amenaza y la vulnerabilidad (Lavell, 1996).

Las amenazas son consideradas fenómenos, sustancias, actividad humana o condición peligrosa que pueda ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud; o daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (UNISDR, 2009).

Con base en Rodríguez (2017) y Lavell (1996:2000) las amenazas se clasifican en: naturales y antropogénicas. Las amenazas naturales se refieren a aquellas que se relacionan con fenómenos de la naturaleza; es decir, a los procesos naturales que tienen lugar en la biósfera y pueden convertirse en destructores, como son: huracanes, terremotos, lluvias torrenciales, aludes, tsunamis, deslizamientos, inundaciones, plagas, sequías, erupciones volcánicas, epidemias, pestes y tornados.

Por otra parte, las amenazas antropogénicas, se asocian a eventos que se encuentran directamente relacionados con las prácticas de los seres humanos como son: la industria y la tecnología, explosiones, derrames de sustancias tóxicas, desechos industriales, guerras, deforestación, contaminación, corrupción y terrorismo, entre otros (Altez, 2006; Altez et al., 2005).

En opinión de Soares y Gutiérrez (2011) las amenazas de cualquier índole pueden estar asociadas a la inadecuada ubicación de los asentamientos humanos en condiciones de baja resiliencia, deficiencias en la dotación de infraestructuras, deforestación de manglares, entre otras condiciones; las cuales son una muestra de las distintas particularidades de la vulnerabilidad de un espacio.

Con respecto a la “vulnerabilidad” autores como Rodríguez (2017); Hernández (2014) y Lavell (2002) coinciden en que se refiere al resultado de los procesos históricos de las ciudades y a los cambios asumidos o impuestos de las diversas urbes como son: uso de suelo, tipo de traza urbana, crecimiento demográfico y urbano, factores socioeconómicos, sociológicos, cultura, historia, factores técnicos, funcionales, institucionales y políticos.

Desde otra perspectiva, el Gobierno de Reino Unido (2016) relaciona la vulnerabilidad de las infraestructuras críticas con seis factores clave que contribuyen a crear fragilidad en los sistemas de infraestructura ante diversos tipos de amenazas (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Factores de vulnerabilidad en los sistemas de infraestructura

Factor	Descripción	¿Por qué es clave?
Ubicación	Factor crucial que determina la exposición y la vulnerabilidad a los peligros y puede amenazar la seguridad, la capacidad de servicio y la longevidad de las instalaciones críticas.	El desarrollo es una señal de progreso, pero, cuando no es planificado puede llevar a la pérdida de inversiones valiosas en las infraestructuras. Además, que, sin un plan adecuado de uso de la tierra, evaluaciones de riesgo o evaluaciones ambientales antes de la construcción, es probable que las instalaciones estén sujetas a varios choques naturales y provocados por el hombre, y a su vez, puedan constituir nuevas formas de riesgo.
Vulnerabilidad estructural	Es considerado uno de los factores más críticos, dado que está asociado a la posibilidad de uso de diseños que utilizan parámetros obsoletos, materiales inadecuados y un mantenimiento deficiente de la estructura.	Por su dependencia con el sistema físico general de un sistema de infraestructura, que se encarga de dotar de algún tipo de servicio a la sociedad. Además, que es un factor que compromete la vulnerabilidad de la estructura.
Vulnerabilidad en elementos no estructurales	Se refiere a los elementos externos. Como ejemplo, en un sistema de agua potable un elemento no estructural, sería una bomba y las capacidades de tratamiento.	Los daños a elementos no estructurales pueden provocar la interrupción de las funciones básicas y, en ocasiones, pueden crear otros riesgos que comprometen la seguridad estructural de la instalación.
Mantenimiento deficiente	Se refiere al escaso mantenimiento que generalmente se encuentra asociado a la falta de recursos humanos, financieros o técnicos que puede llevar a la interrupción diaria de un servicio; o en su caso a una significativa durante los peligros naturales; lo que a su vez puede conducir a fallas en cascada de otros servicios.	El mantenimiento de las instalaciones críticas necesita ser considerado de rutina, ya que brindan apoyo diario para las funciones sociales.
Conciencia inadecuada de la RRD y la resiliencia	La comprensión adecuada de la reducción del riesgo de desastres y la resiliencia como parte del diseño, operación y funcionamiento de las infraestructuras críticas, pueden ayudar disminuir las vulnerabilidades de las mismas.	Existe una comprensión limitada de las vulnerabilidades en instalaciones o de su interconexión y función en la sociedad; lo cual ha provocado, que la importancia de las estructuras resilientes a menudo se pasa por alto en las políticas, el diseño y las operaciones.
Falta de preparación para desastres y planes de continuidad	Se refiere a la falta de planes de preparación y respuesta ante desastres para proteger y mitigar los impactos, así como la ausencia de métodos de continuidad que permitan a las infraestructuras mantener las operaciones durante y después de una recuperación de desastres.	La falta de preparación y planes de continuidad de infraestructuras críticas, es un factor importante dada la creciente interdependencia de las mismas y el aumento en la frecuencia de los riesgos y desastres.

Fuente: elaborado con base en Gobierno de Reino Unido.

Las características particulares de las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad de los espacios urbanos y de las sociedades, pueden contribuir a generar un desastre. Entonces, los desastres son el producto de la forma en que los agentes perturbadores extremos interactúan con aspectos tales como: la falta de preparación, la escasa capacidad y adaptación, la debilidad de la capacidad de recuperación, así como la exposición excesiva y la vulnerabilidad a los peligros; de tal manera que cuando afectan a un espacio, alteran el equilibrio del mismo y provocan daños, dado que su capacidad de respuesta es rebasada (LGPC, 2018; Gallego y Essex, 2016; CENAPRED, 2012)

De acuerdo a Lavell (2006) un desastre se caracteriza por:

“un contexto y proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación e impacto de un fenómeno físico de origen natural, socio-natural o antropogénico que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población y debilidad, fragilidad o falta de resiliencia en su estructura productiva e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad afectada, las cuales no pueden ser enfrentadas o resueltas de manera autónoma utilizando los recursos disponibles por esta unidad social. Estas alteraciones están representadas de forma diversa y diferenciada, entre otras cosas, por la pérdida de vida y salud de la población; la destrucción, pérdida o inutilización total o parcial de bienes, producción y formas productivas de la colectividad y de los individuos, así como daños severos en el ambiente, requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades y de la población para atender a los afectados y reestablecer umbrales aceptables de bienestar y oportunidades de vida” (Lavell, 2006, p. 45).

Con base en Munich Re (2013, citado por Cavazos et al., 2015) los desastre más frecuentes y significativos en el mundo son los hidrometeorológicos, que incluyen a los climáticos. Escenarios que han ocasionado un impacto socioeconómico alto de hasta por 200,000 millones de dólares; afectando aproximadamente a 226 millones de habitantes (UNISDR, 2014; ONU, 2012). En opinión de Cavazos et al. (2015) en

el periodo de 1980-2012, el 74% de las pérdidas causadas por los desastres reportadas a nivel mundial se asociaron a eventos tales como lluvias torrenciales, inundaciones, sequías, incendios forestales, heladas y huracanes.

En ese sentido, la Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres, señala a los huracanes como los fenómenos hidrometeorológicos más devastadores en la historia por su duración, magnitud e intensidad (UNISDR, 2012). Además, de ser un fenómeno natural que se presenta y presentará año tras año y que su función es el equilibrio del clima en la Tierra, por lo que siempre hemos y estaremos expuestos a esta amenaza natural. De acuerdo al panorama descrito, en el presente trabajo se consideró como fenómeno perturbador a “los huracanes” definidos en la siguiente sección.

3.5.1. Fenómeno Perturbador: Los huracanes

Los huracanes tienen tres diferentes formas de denominación, en función de la región que impactan. En el Océano Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Océano Pacífico del noroeste se le conoce como huracanes. En el Mar de Arabia, Bahía de Bengala, Océano Índico, este de las islas Mauricio y Madagascar como ciclones y como Tifones en el Mar de China y Costa de Japón; Willy Willy en el Pacífico Sur, este de Australia y Samoa; y Baguios en Filipinas (Jiménez et al., 2014).

Álvarez (2012) describe un huracán como amenaza natural, definida como fuente potencial de daños, que tiene como característica, un viento fuerte que gira en espiral, resultado de un proceso natural fuera de control. En esta misma línea Cavazos et al. (2015) y Álvarez (2012) señalan que son vórtices atmosféricos que se desarrollan sobre regiones oceánicas relativamente cálidas y cercanas al ecuador. Son clasificados en depresión tropical, tormenta tropical o huracán.

Por otro lado, de acuerdo a la escala Saffir-Simpson de huracanes se clasifican de la siguiente manera (Tabla 3.8):

Tabla 3.8. Clasificación de huracanes

Categoría	Vientos máximos sostenidos	Marea de tormenta (m)	Daños potenciales
1	118-153 km/h	1.2 a 1.5	Mínimos: casas móviles sin fija, vegetación y letreros.
2	154-117 km/h	1.8 a 2.5	Moderados: todas las casas móviles, techos, embarcaciones pequeñas; inundaciones.
3	178-209 km/h	2.5 a 4.0	Extensos: edificios pequeños; carreteras a bajo nivel arrastradas.
4	210-250 km/h	4.0 a 5.5	Extremos: Techos destruidos, árboles derribados, caminos arrasados, casas móviles destruidas, casas de playas inundadas.
5	Mayor a 250 km/h	Mayores a 5.5	Catastróficos: la mayoría de los edificios destruidos, vegetación destruida, carreteras principales arrasadas, casas inundadas.

Fuente: González et al., 2013; CONAGUA, 2010

De acuerdo a Jiménez y Vázquez (2014); Hernández (2014); González et al. (2013); Álvarez (2012); CONAGUA (2010) y Rosengaus (1998); los principales efectos de los huracanes son: viento, marea de tormenta, oleaje y precipitación; descritos a continuación:

3.5.1.1. Vientos

Los vientos son la característica que mejor identifica a los huracanes y son éstos, con excepción de los tornados, los fenómenos que representan las mayores intensidades de viento que en ocasiones sobrepasan velocidades de 300 km/h.

Dentro de sus características esenciales, es su estructura giratoria alrededor del ojo de un huracán, producida por el equilibrio entre las fuerzas de presión, la centrífuga y la de Coriolis. A una altura apreciable sobre la superficie del mar o la tierra (10 m sobre ella).

Otra de las características del viento es su velocidad-presión, que tiene la capacidad de acometer contra un edificio generando fuerzas, o cargas, que empujan o succionan sobre las superficies del mismo; las cuales son producto de la masa del

viento, la presión que ejerce sobre una superficie y la velocidad del mismo durante un huracán.

3.5.1.2. Marea de tormenta

La marea de tormenta consiste en la sobreelevación del nivel medio del mar cuando un ciclón tropical se acerca a la costa; puede alcanzar alturas de más de un metro y provocar una inundación de las zonas costeras en amplitud variable, de acuerdo a las características particulares de topografía que posea la zona.

Asimismo, es el efecto más conocido y menospreciado entre la población, cuando un huracán se acerca a la costa. Esta sobreelevación se produce por varias razones; una puede ser el viento en dirección normal a la costa cuando ejerce una fuerza cortante sobre la superficie del mar, que al no poder producir una corriente, se contrarresta con una sobreelevación del nivel en la costa.

Por otra parte, cuando el viento en dirección tangencial a la costa produce una corriente a lo largo de ésta, y la fuerza de coriolis tiende a desviarla a la derecha; si la costa se encuentra a la derecha de dicha corriente, tal desviación no puede ocurrir y la manifestación es, una sobreelevación del nivel. Este doble efecto del viento, quizá el que mayor sobreelevación produce, sólo es importante en las aguas someras.

Finalmente, la marejada se hace presente cuando sube por la playa y penetra tierra adentro afectando a su paso, sean edificios, infraestructura, árboles y la playa misma.

3.5.1.3. Oleaje

Los huracanes están relacionados con el mar, puesto que se originan y tienen posibilidad de trasladarse por grandes distancias e intensificarse solo sobre él. La gran intensidad y extensión del campo de vientos generan fuertes oleajes que, al trasladarse en aguas profundas (con poca pérdida de energía), pueden afectar en gran medida inclusive las zonas alejadas del punto de incidencia del huracán sobre la tierra. Asimismo, la potencia del oleaje está directamente asociada a la altura y profundidad de la franja costera, así como con la cantidad de distancia que recorre sobre aguas de mediana a poca profundidad.

Dentro de las características particulares del oleaje, es que empiezan a ser afectadas por el fondo de 200 metros y ser determinantes a partir de los 40 metros.

3.5.1.4. Precipitaciones

Las precipitaciones son producto de la cantidad de humedad que traen consigo los huracanes, que al precipitarse, provoca fuertes tormentas y deslizamientos de tierra e inundaciones en zonas mal drenadas.

En opinión de Álvarez, (2012), las altas precipitaciones de un huracán conlleva a una alta probabilidad de inundación sobre todo en regiones de poca elevación como lo son, las zonas costeras. Agrega, que las lluvias torrenciales, ríos desbordados y la marejada pueden ocasionar igualmente lugar a una inundación.

En caso de inundación prolongada en un sitio determinado, durante varios días las aguas que fluyen sirven como medio de transporte para varios contaminantes, que van desde bacterias fecales hasta productos químicos y tóxicos, que pueden afectar la salud de las personas y el medio ambiente.

Las inundaciones resultan en la contaminación de acueductos y acuíferos, fuentes de agua potable para la población, ocasionando con ello problemas de salud e incomodidad a los habitantes de las urbes.

3.6. Los sistemas de infraestructura en el contexto de desastres

En el contexto de desastres, los sistemas de infraestructura urbana representan un papel fundamental en un espacio urbano, considerando que, de su adecuado funcionamiento, dependen otros componentes de la estructura urbana, es decir, son sistemas interdependientes (Steele y Legacy, 2017; Peña et al., 2015; ProDus-UCR, 2014; Stephen y Moench, 2012; Giordano, 2012). Además, que se han convertidos en elementos vitales en situaciones de crisis. Al respecto, Ouyang y Dueñas (2012) plantean que es inevitable que los sistemas de infraestructura estén sujetos a diferentes tipos de peligros y son vulnerables a presentar fallas con efecto cascada dentro de los sistemas y entre ellos, lo cual podría ocasionar una pérdida de movimiento y transporte, intercambio y comercio, comunicación, generación y transmisión de energía, atención sanitaria, educación y salud.

Los sistemas de infraestructura no están exentos de ningún riesgo. No obstante, las características del fenómeno son los que determinan que sistemas o elementos de la infraestructura urbana son críticos en función del espacio, contexto, tiempo, vulnerabilidades y necesidades propias de los habitantes. En tal sentido, el Instituto Nacional de Normas y Tectología de Estados Unidos (2016) señala que las comunidades poseen dos características que las determina ser muy diversas: su geografía y su población. Hace hincapié que esto aplica en zonas rurales y urbanas, toda vez que cada una de ellas tiene diferentes historias, culturas, composición social, negocios y acceso y disponibilidad de recursos. Además, que están sujetos a diversos peligros y tienen diferentes grados de tolerancia al riesgo.

Entonces, uno de los puntos que ayudan a integrar la teoría de resiliencia en los sistemas de infraestructura, así como a fortalecer la misma; es definir de acuerdo a las particularidades de cada espacio, dos conceptos: “infraestructura estratégica” e “infraestructura crítica”.

En relación a ello, la Ley General del Sistema Nacional de Seguridad Pública, define infraestructura estratégica como:

“los espacios, inmuebles, construcciones, muebles, equipo y demás bienes, destinados al funcionamiento, mantenimiento y operación de las actividades consideradas como estratégicas por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, así como de aquellas que tiendan a mantener la integridad, estabilidad y permanencia del Estado Mexicano” (LGSNSP, 2019, p. 74).

De acuerdo con lo anterior, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece “como actividades estratégicas la planeación, y el control del sistema eléctrico nacional, y del servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, así como de la exploración y extracción de petróleo y demás hidrocarburos” (CPEUM, 2019, p. 314).

Por otro lado, si bien, las infraestructuras críticas varían de acuerdo a las características de cada espacio y evento; diversos autores como Rinaldi (2004), La Porte (2007), Correa y Yusta (2013), Yusta et al. (2014) y Labaka et al. (2016); coinciden que es aquella que contempla todos los elementos que son vitales para cualquier estado y permite el mantenimiento de las funciones sociales importantes

(salud, integridad física, seguridad, bienestar social y económico, entre otras). Esta constituida por las instalaciones, redes, sistemas, equipos físicos y de tecnología de la información sobre las que descansa la operación de los servicios públicos esenciales de las urbes.

A criterio de Ouyang y Dueñas (2012) y UNISDR (2012) la prosperidad económica, la salud pública y la seguridad no se pueden lograr sin el funcionamiento adecuado de los sistemas de infraestructura crítica, dentro que los que señalan: energía, telecomunicaciones, gas natural, petróleo, banco y finanzas, transporte, agua potable, servicios gubernamentales y de emergencia.

Para Balcázar (2012) una de las infraestructuras críticas o vitales para el funcionamiento de la sociedad son los sistemas de agua potable y saneamiento. Lo aborda del enfoque de gestión de riesgo de desastres (GRD); y considera que al no ser infraestructuras visibles, no se les ha dado la importancia por parte de los profesionales y los hacedores de política pública.

En tal sentido, la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre (UNISDR, s/f) y Colin y Peter (2016) indican que los componentes que una sociedad requiere o depende para funcionar en el contexto de desastres son: transporte (por carretera, aéreo, marítimo, pista, ríos), comunicación (teléfono, internet, radio), energía (minas y extracción, refinerías, generación, transporte, transmisión), agua (tratamiento y distribución), saneamiento, energía eléctrica, comercio (finanzas, banca, puertos), gobierno, refugios, educación, salud (clínicas, hospitales), entrega y distribución de ropa, agricultura y alimentación.

Sin embargo, cabe señalar que estos elementos pueden variar dependiendo de las características que han sido referidas con anterioridad; es decir, en cada país, estado o ciudad, su infraestructura crítica dependerá de su vulnerabilidad, particularidades del espacio y de la sociedad, así como de las características del fenómeno por el cual se vean afectadas.

Por otra parte, además de conocer los sistemas de infraestructura crítica y los elementos que pueden ayudar a fortalecer su resiliencia; otro factor importante para

terminar de comprender la integración de la teoría de resiliencia en los sistemas de infraestructura, es su cuantificación.

3.7. Cuantificación de la resiliencia en los sistemas de infraestructura urbana

Los sistemas y redes de infraestructura son factores vitales para la prosperidad económica y el crecimiento de las comunidades. Dentro los retos que hoy enfrentan, está, los asociados a los efectos del cambio climático que han puesto a prueba su desempeño operativo y la continuidad durante su ciclo de vida. Ante ello, Tamvakis y Xenidis (2013) manifiestan que la teoría de resiliencia integrada en los sistemas de infraestructura, puede ser un marco apropiado para fortalecer la capacidad de respuesta ante una crisis; siempre y cuando sea considerada en las fases de diseño, desarrollo y operación.

En tal sentido, para Gallego y Essex (2016) y Moor et al. (2015) hay una serie de desafíos para determinar el nivel de resiliencia de una red. En primer lugar, hacen alusión que es una propiedad que surge de las interacciones entre los elementos del sistema a lo largo del tiempo, en lugar de una propiedad de sus elementos individuales. Por otro lado, se encuentra la falta de una definición unánime, modelos y métodos que permitan una adecuada cuantificación.

Sin embargo, a pesar de no existir un consenso teórico y metodológico del concepto de resiliencia con enfoque en sistemas de infraestructura urbana de ciudades costeras, eso no ha sido una limitante para cuantificarla, y se tienen avances significativos en su medición. Para ello, se ha usado los principios que caracterizan de manera general la resiliencia con enfoque en sistemas físicos y a su vez permiten la integración de variables sociales y técnicas.

Así, el cálculo de resiliencia en los sistemas de infraestructura, se ha realizado desde dos enfoques: cualitativo y cuantitativo. El primero está dividido en marcos conceptuales e índices semi-cualitativos. Mientras que el enfoque cuantitativo se divide en medidas determinísticas y probabilísticas generales y modelos estructurales por ejemplo: optimización, simulación y modelos de lógica difusa (Hosseini y Barker, 2016).

Por su parte, el enfoque cualitativo permite identificar las variables cualitativas de un sistema resiliente. Además, es un enfoque más subjetivo, flexible e involucra las partes interesadas clave en un sistema. Mientras que las medidas cuantitativas son descritas como probabilísticas y aquellas que tienden a medir la posibilidad conjunta de alcanzar los objetivos de robustez y rapidez en caso de una falla en el sistema.

En esta investigación se implementó el enfoque de índice semi-cuantitativo; pues se consideró el más apropiado para el estudio, ya que permite la integración de variables cualitativas que no pueden ser cuantificadas en enfoques netamente cuantitativos y al mismo tiempo las unifica en un solo valor, por medio del cual se puede evaluar los principios de resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana.

Índice semi-cuantitativo

De acuerdo con Hernández et al. (2018), Hosseini, Barker y Ramírez (2015) y Cutter et al. (2014), el enfoque de índice semi-cuantitativo generalmente se construye por medio de un cuestionario diseñado para evaluar diferentes características de los sistemas basadas en la resiliencia (por ejemplo, ingenio y redundancia).

Como herramienta de medición predomina el uso de la escala de Likert, que consiste en asignar valores (de 0 a 10) o porcentual (de 0 a 100) por expertos, a las variables o dimensiones que se necesiten medir. Las evaluaciones de las características de la opinión de los expertos se agregan de alguna manera para producir el índice de resiliencia.

Diversos autores como Hernández (2018; 2014); Cutter (2016); Boulanger (2008) y Nardo et al. (2005) plantean una serie de pasos requeridos para la construcción de índices.

El primero consiste en el desarrollo de un marco conceptual; en el cual se definen niveles generales que sustente de manera conceptual la generación de un indicador. Dentro de los más utilizados se encuentra los modelos basados en dimensiones, los causales (PER, DPSIR) y aquellos que son organizados por temas o subtemas.

En el siguiente paso se realiza la identificación y selección de variables e indicadores; este proceso radica en una búsqueda de indicadores que, dentro del marco conceptual definido, pueden ser contruidos o utilizar los que ya hayan sido propuestos, para con ello conformar el indicador sintético.

En el tercer paso se lleva a cabo la medición de indicadores; el desarrollo de este punto tiene como objetivo expresar en escalas comunes los indicadores. Lo cual se puede realizar por diferentes métodos. Por ejemplo, análisis multivariante, esta técnica se adquiere para estudiar los datos en base a dos criterios: a) Análisis de relaciones entre variables, para lo cual es posible recurrir a técnicas como el Análisis de Componentes Principales, Análisis Factorial o el Coeficiente de Alfa de Cronbach y b) Estudio de relaciones entre unidades de análisis con el objetivo de identificar unidades similares que faciliten la posterior interpretación de los resultados. Los empleados con frecuencia es el análisis de clúster.

Por otro lado, se tiene la imputación de datos perdidos. Este procedimiento es utilizado, cuando no existen datos para todas las unidades de análisis en algún indicador. Sin embargo, para su aplicación se debe tener especial atención a los diferentes enfoques de imputación o no de valores faltantes y examinarlos de manera muy particular para que la eliminación no descarte aquellos que pudieran aportar información importante.

Por último, se encuentra la normalización de datos. Operación que permite unificar las variables (en las mismas unidades) para que puedan ser agregadas de manera comparable. Dentro de las técnicas más empleadas se encuentra: rankings, normalización estadística (min-max), distancia a punto de referencia, escalas categóricas y categorización de indicadores por encima o por debajo de la media.

En el cuarto paso se tiene la ponderación; en la cual se determina la importancia relativa que se le fijará a cada indicador simple, por medio de la asignación del factor peso a cada uno de ellos. Se clasifican como positivas y normativas. La primera se refiere a aquellas que permiten obtener los pesos de manera endógena empleando principalmente técnicas estadísticas o matemáticas. Los más usados son el Análisis

de Componentes Principales, Análisis Factorial, el análisis Envolvente de datos y beneficio de la Duda.

Con respecto a las técnicas normativas son aquellas que permiten determinar los pesos de manera exógena, a través de métodos participativos. En los más usados se encuentra: la asignación presupuestaria, la votación simple o múltiple, el método Dephi, las encuestas de opinión pública, métodos multicriterio (como procesos de jerarquía pública) o incluso la combinación de diferentes técnicas.

Como quinto paso se realiza la agregación a nivel clase. Esta operación condensa la información contenida en diversos indicadores a un solo valor. Las formas de agregación utilizadas son: métodos de agregación aditivos, multiplicativos o geométricos y no compensatorios. Finalmente, se realiza la agregación para obtener un solo indicador compuesto o índice.

CAPÍTULO IV. MARCO METOLÓGICO

El presente capítulo tiene como objetivo dar a conocer los antecedentes históricos, las características geográficas y sociales del área de estudio, así como los elementos que fueron considerados para su selección.

Se inicia con los antecedentes históricos de la zona de estudio, donde se describe las condiciones bajo las cuales se fundó y cómo fue su desarrollo hasta llegar a ser nombrada capital del estado de Quintana Roo.

Se continúa con la descripción de las principales características físico-geográficas del área de estudio, con la finalidad de mostrar aquellas que tienen relación directa con el tema de estudio.

Seguidamente, se describe las características de los principales eventos asociados a huracanes que han afectado la zona de estudio y los factores que ayudaron a la identificación del evento más reciente al que se ha enfrentado la ciudad, que sirvió de cohorte para el análisis de la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana al 2018.

Posteriormente, se muestra los elementos que se consideraron para la selección de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo como área de estudio.

Por último, se expone las técnicas, instrumentos y métodos utilizados para la determinación de la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera.

4.1. Antecedentes históricos

La ciudad de Chetumal se ubica en el sureste mexicano, en la denominada Península de Yucatán. Actualmente es la capital del estado de Quintana Roo y cabecera del municipio de Othón P. Blanco. Su nombre proviene del idioma maya y significa “donde los árboles rojos crecen” haciendo referencia al árbol palo de tinte que crece abundantemente en su territorio (PDU, 2005).

Los orígenes de la ciudad capital se asocian a la época de la cultura maya. Posterior al descubrimiento de la península de Yucatán, en octubre de 1527, los reyes de España ordenan la conquista. Situación que marcó la pauta para la llegada de los primeros españoles a ese territorio. Para 1542 fue conquistada por Francisco de Montejo, quien identificó que la provincia de Chactemal era una de las zonas más avanzadas dado el gran comercio en la misma; y así fue, hasta 1544 que Chetumal fue sometido por la fuerza española (Castillo, 2007).

Bajo estas condiciones, empieza la época de la colonia en el territorio mexicano. Sin embargo, dadas las dinámicas de atención enfocadas en Bacalar, Chetumal presentó un atraso en la agricultura; mientras que Bacalar pasó a ser una de las ciudades más importantes de la época de la Colonia y la más defendida por la corona Española ante los ataques de los corsarios ingleses y franceses que dominaban casi toda la zona de la península (PDU, 2005).

Para el año 1847, se tuvo otra situación que marco la historia de la ciudad, la llamada “guerra de castas”, que dio inicio el 30 de julio y fue encabezada por Cecilio Chi. Las consecuencias que ocasionó, dio la pauta para que el gobierno federal de México estableciera un puesto militar en la bahía de Chetumal, para evitar el tráfico de armas (González, 1968).

Posteriormente, en 1893 el entonces presidente Porfirio Díaz firma el tratado Mariscal Spencer a través del cual México reconoció la soberanía británica sobre la colonia de Honduras Británica, y a cambio los ingleses se comprometían a dejar de suministrar armas a los mayas rebeldes (PDU, 2005; Castillo, 2009).

Bajo este contexto, fue fundada la actual ciudad de Chetumal a fines del siglo XIX un 5 de mayo de 1898 con la llegada del Almirante Othón P. Blanco. Más tarde, el 28 de Septiembre de 1936 la localidad de Payo Obispo cambia su nombre a Chetumal, y en 1974 se crea el Estado Libre y Soberano de Quintana Roo. Un año después, el 12 de enero de 1975 se publica en el periódico oficial la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Quintana Roo, en cuyo artículo 48 estableció a la ciudad de Chetumal como la capital del estado (PDU, 2005; Castillo, 2007:2009).

4.2. Área de estudio

La ciudad de Chetumal, es una ciudad costera y al ser la capital del estado le ha dado una función especialmente administrativa. Sin embargo, en años recientes, compagina con la turística, al convertirse en el centro distribuidor del turismo de la Costa Maya.

Se encuentra ubicada en el sureste mexicano, en el municipio de Othón P. Blanco del estado de Quintana Roo, en los paralelos $18^{\circ} 33' 46''$, y $18^{\circ} 29' 40''$, y en los meridianos $88^{\circ} 21' 57''$ y $88^{\circ} 16' 45''$ (Figura 4.1) con una superficie de 18 158 hectáreas (CAPA, 2015). Es una ciudad costera con 151 243 habitantes (INEGI, 2010). Tiene una extensión territorial de aproximadamente 67 km de largo y 20 km de ancho en su parte más amplia, con un área cercana a los 1100 kilómetros cuadrados (Castillo, 2009: 2007).

Dentro de sus características geográficas principales, tiene a la Bahía con su mismo nombre, actualmente zona de conservación y es uno de los asentamientos más antiguos de la geografía quintanarroense, se encuentra ubicada cerca de la frontera con Belice y a diferencia de los municipios de la zona norte, las características de

su emplazamiento, sus antecedentes económicos y la heterogeneidad de su población inicial marcaron su crecimiento y evolución (INEGI, 2015).

La bahía tiene características de estuario por contar con la presencia del río y de zonas inundables; los movimientos de sus masas de agua se encuentran influenciados por los vientos alisios predominantes al este y sureste. Las particularidades de su profundidad la hace sensible al fenómeno de marea de tormenta (Rodríguez, 2017). Además, la zona terrestre cercana es sumamente plana, con pendientes de sólo 1.15 metros por cada kilómetro de la costa, lo que indica altos niveles de exposición a inundaciones (Castillo Villanueva, 2009; Rosengaus, 2001).

Figura 4.1. Ubicación geográfica de la ciudad de Chetumal, en el contexto nacional, estatal y local



Fuente: Elaboración con base en INEGI (2016).

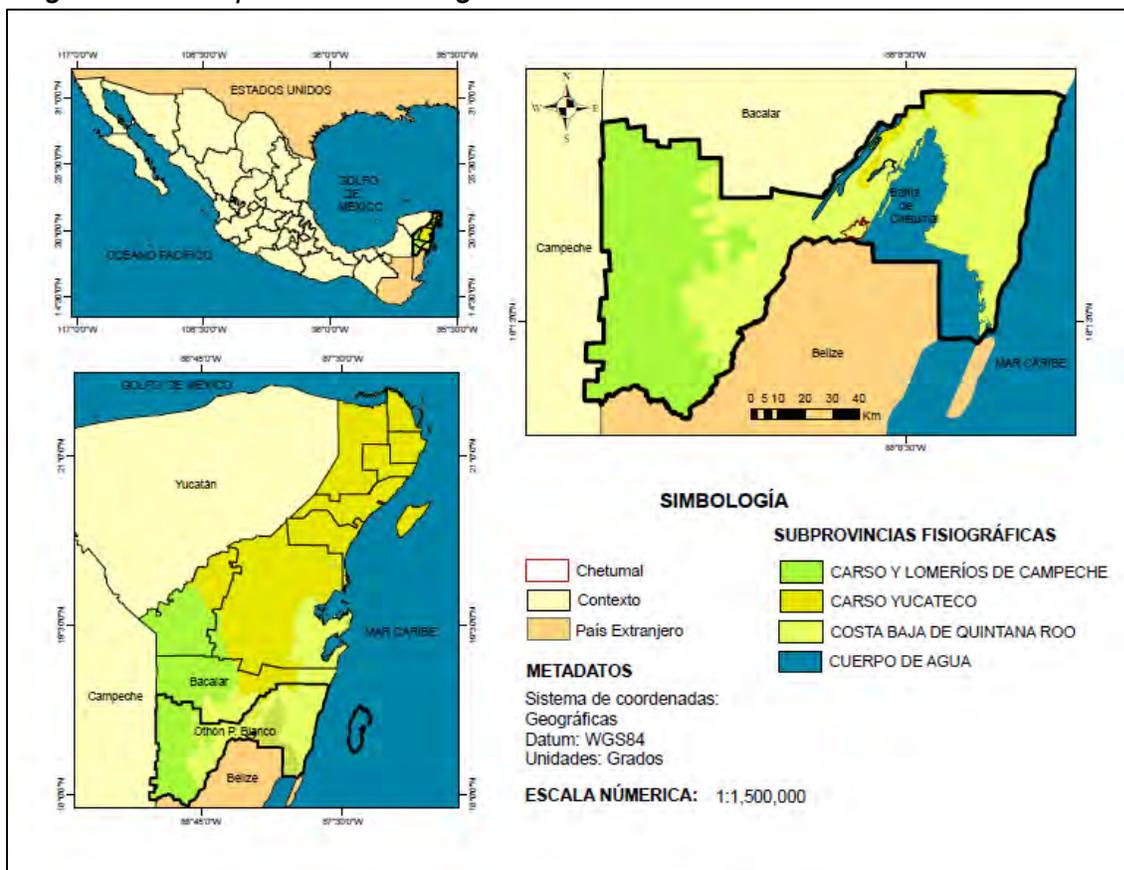
4.3. Caracterización físico-natural del área de estudio

4.3.1. Fisiografía

El municipio de Othón P. Blanco, se encuentra ubicado en la Provincia Fisiográfica conocida como Península de Yucatán, que además comprende los Estados de Campeche, Yucatán, parte de los países de Guatemala y Belice. Su superficie se distribuye en tres subprovincias: Carso y lomeríos de Campeche con 37.02%, Carso Yucateco 2.33% y la Costa Baja de Quintana Roo 45.78%, el 14.87% restante corresponde a cuerpos de agua (Figura 4.2).

En la subprovincia correspondiente a la Costa Baja de Quintana Roo, está ubicada la ciudad de Chetumal, que representa el .77% del total de la subprovincia y el .35% del total de las tres subprovincias.

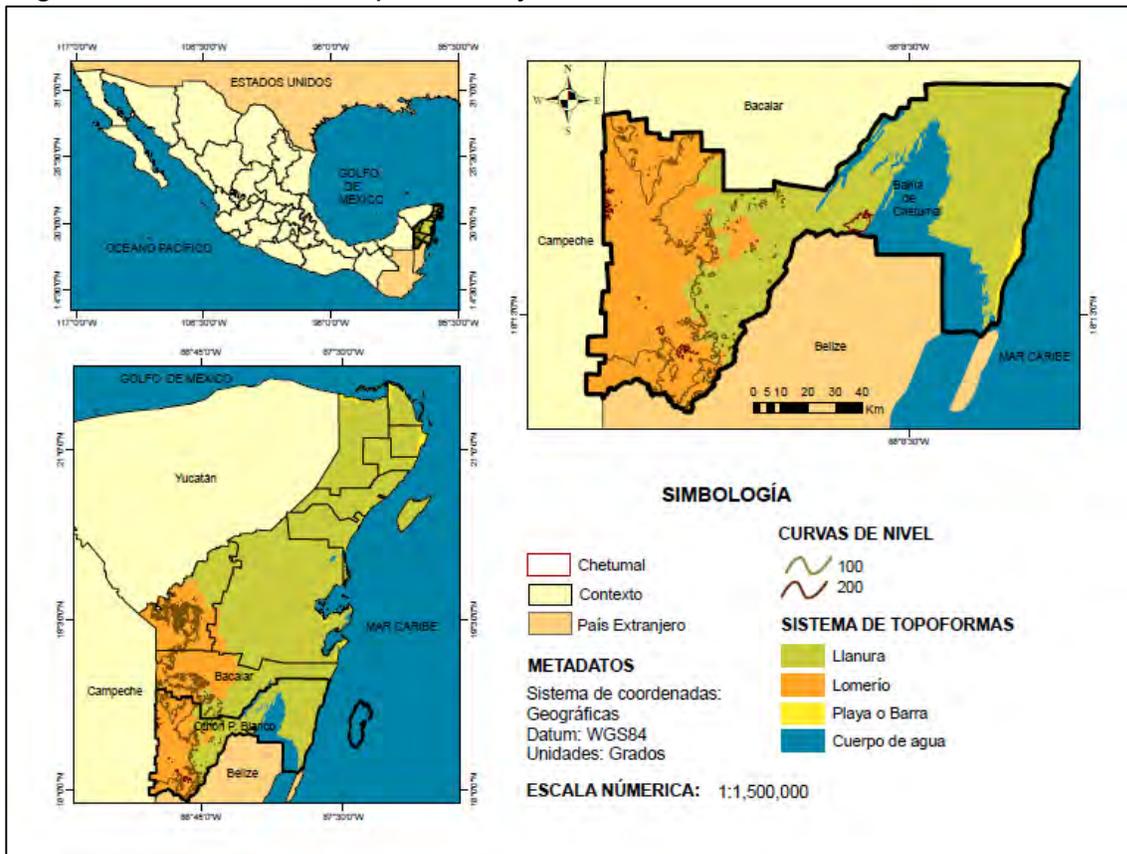
Figura 4.2. Subprovincias Fisiográficas



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2016).

El relieve del municipio de Othón P. Blanco es prácticamente plano con elevaciones de 100 a 200 m, en las áreas rurales, sin que esto se haga presente en la ciudad de Chetumal. Su sistema de topoformas está integrado por tres diferentes subsistemas, que se distribuyen en: llanura con un 46.83%, lomerío 37.03% y playa 1.22%. En el sistema de topoformas llanura, se encuentra ubicada la ciudad de Chetumal, la cual ocupa un .76% del total de la superficie del sistema (Figura 4.3).

Figura 4.3. Sistema de Topoformas y Curvas de Nivel



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2016.

Para Fragoso y Pereira (2018) la ciudad de Chetumal se encuentra entre 0 y 20 msnm, hacen alusión a la presencia de dos pisos altimétricos generales a modo de escalones de 0-10 m y de 10-20 m. La capital se encuentra ubicada sobre una planicie ondulada. Sin embargo, la parte oeste se caracteriza por una planicie subhorizontal, que la asocian al resultado de la colmatación de las fracturas y lineamientos detectados, dada la vegetación que predomina (humedales),

característica que reafirma la presencia de afloramientos de agua a través de las fracturas de la roca y lineamientos de debilidad estructural.

4.3.2. Geología

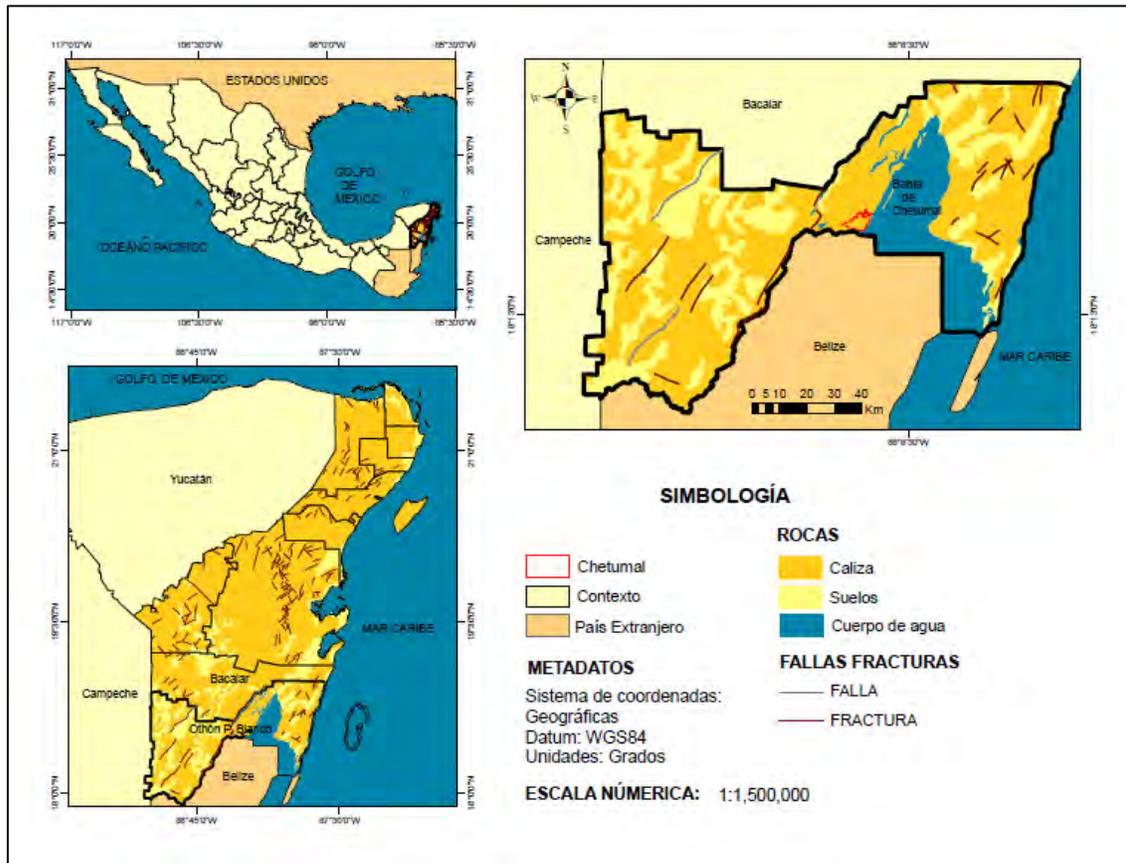
Con respecto a la Geología, en el municipio de Othón P. Blanco y la ciudad de Chetumal se tiene la presencia de roca caliza, con fallas y fracturas al noroeste del municipio, donde se encuentran las zonas rurales (Figura 4.4).

Autores, como Aguilar et al. (2015) señalan que la roca dominante en la zona de estudio son depósitos calcáreos del Terciario cubiertos en algunos lugares por materiales del Cuaternario. Además, se identifica por presentar depresiones Kársticas que se clasifican en: dolinas, úvalas y polijes (PDU, 2018).

Para Fragoso y Pereira (2018) la mayor parte de la ciudad tiene dolinas de diámetros menores a 30 m; y solo al oeste se encuentran las de mayor tamaño que se caracterizan por poseer inundación permanente llamadas cenotes y úvalas de inundación temporal que conforman los humedales.

Con respecto a las fallas y fracturas, la capital del estado se encuentra en la densidad media (Fragoso y Pereira, 2018; Fragoso et al., 2014); como fallas alargadas se tiene al Río Hondo, la laguna de Bacalar y los otros cuerpos de agua alrededor de la ciudad (Fragoso y Pereira, 2018).

Figura 4.4. Rocas y Fracturas



Fuente: elaborado con base en INEGI, 2016.

4.3.3. Climatología

El municipio de Othón P. Blanco, presenta un régimen climático tipo cálido subhúmedo, característica general de toda la península; aunque son también importantes los factores locales como las influencias marinas, por su vecindad con las aguas del Mar Caribe al este y con el Golfo de México al norte; su reducida elevación sobre el nivel del mar o la ausencia de prominencias orográficas que puedan causar modificaciones importantes en los rasgos macro climáticos (INEGI 2016).

La ciudad de Chetumal se caracteriza por tener un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. Cuenta con un observatorio ubicado al sur del área urbana, donde se cuenta con datos del mes de octubre del año 1925 al mes de marzo de 2016 (Tabla 4.1 y 4.2):

Tabla 4.1.- Temperatura media mensual °C

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Juli	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
Promedio de 1925-2016	23.5	24.5	26.2	28.0	28.7	28.7	28.6	28.5	28.2	27.1	25.2	23.8	26.7

Fuente: elaborado con base en datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2016.

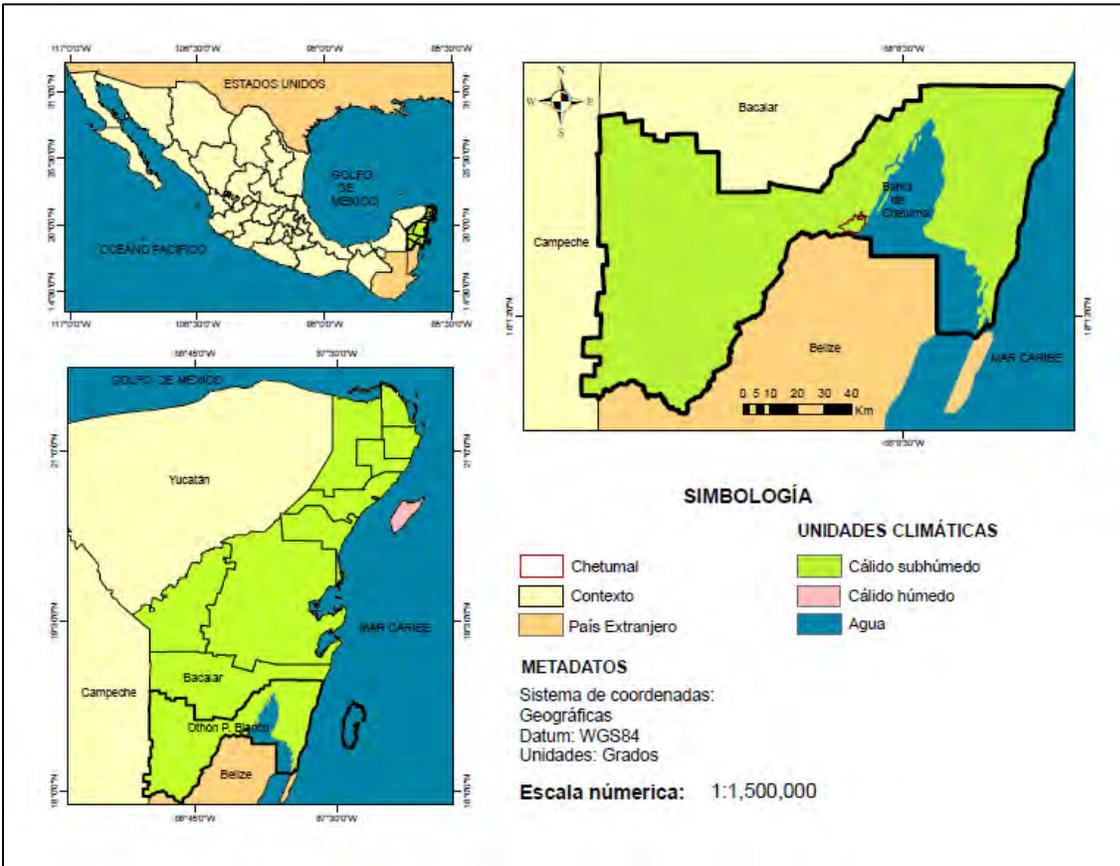
Tabla 4.2.- Temperatura máxima promedio mensual °C

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Juli	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
Promedio de 1925-2016	28.7	29.7	30.9	32.3	32.8	32.4	32.5	33.0	32.6	31.7	30.2	29	31.3

Fuente: elaborado con base en datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2016.

De acuerdo a datos proporcionados por la CONAGUA (2016) la ciudad de Chetumal durante el periodo histórico de octubre de 1925 a marzo de 2016 tuvo temperaturas medias mensuales que van de 23.5 °C a 28.0 °C; mientras que su máxima promedio fue de 32.3°C a 32.6°C y por último la mínima durante ese mismo periodo fue de 22.2 °C (Figura 4.7).

Figura 4.7. Unidades Climáticas

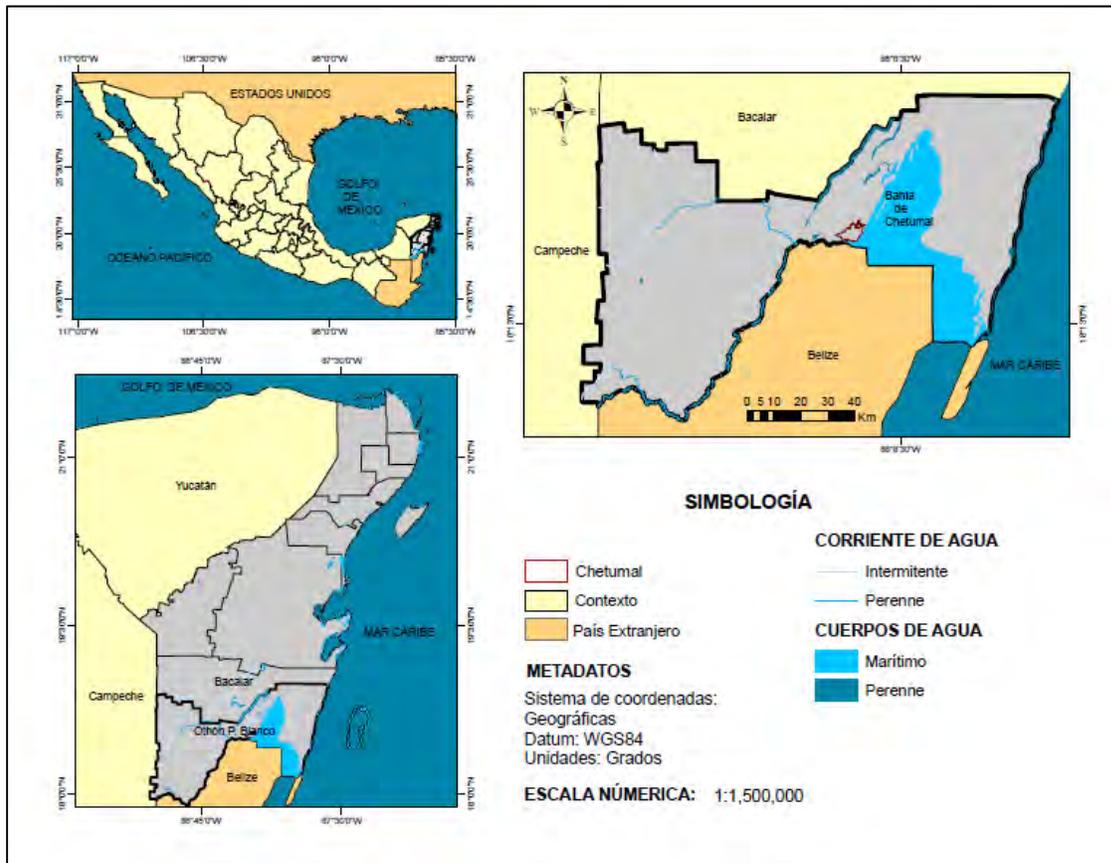


Fuente: elaborado con base en INEGI, 2016.

4.3.4. Hidrología

El Municipio de Othón P. Blanco pertenece a la Región Hidrológica Yucatán Este (Quintana Roo), cuenta con dos cuencas llamadas Cuencas Cerradas y Bahía de Chetumal. En el municipio se encuentra el Río Hondo y el Río Escondido, únicos de toda la Península de Yucatán (Figura 4.6). El primero nace en las sierras fronterizas entre Belice y Guatemala; y desemboca en la ciudad de Chetumal. El segundo es una corriente proveniente de Campeche, mayormente estacional y de cauce irregular, usualmente se une a amplias aguadas y desemboca en el Río Hondo al sur de la Laguna de Bacalar (PDU, 2005:2018).

Figura 4.6 Hidrología



Fuente: elaborado con base en INEGI, 2016.

De manera particular, la ciudad de Chetumal colinda al noroeste con el cuerpo de agua perene denominado “La Sabana” o “La Aguada”, que presenta un escurrimiento natural de sur a norte, se conecta a través de una serie de áreas inundables con la Bahía de Chetumal; formando de esta manera parte del sistema Lagunar Bacalar y su interconectividad con la bahía (PDU, 2018).

4.3.5. Edafología

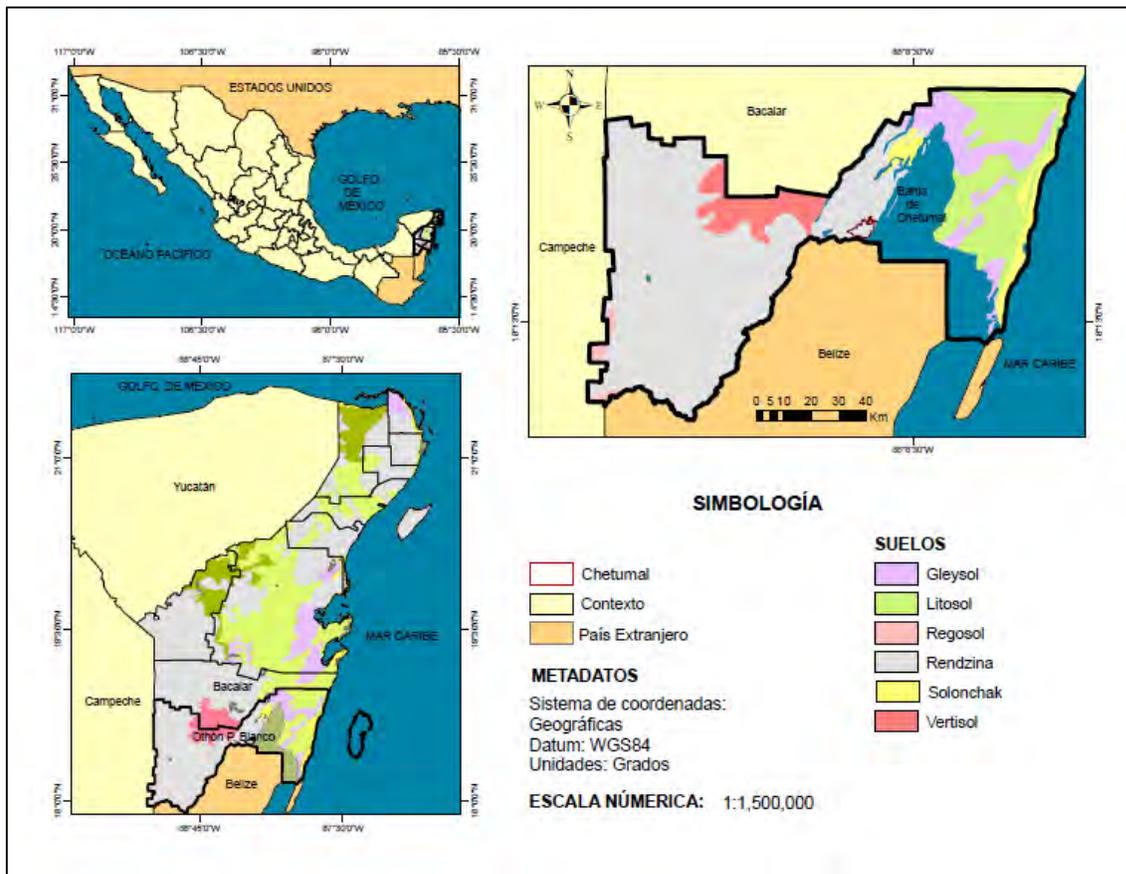
El municipio de Othón P. Blanco, se conforma por 6 diferentes tipos de suelo en los que se encuentra el litosol que representa un 17.25% del total de la superficie, rendzina 62.49%, Gleysol 8.5%, Solonchak 4.10%, Regosol 1.08% y vertisol 6.48% (Figura 4.5).

La ciudad capital inicio su desarrollo sobre suelos Leptosol, Gleysol, Phaeozem, Cambisols y Luvisols (Fragoso y Pereira, 2018). Los Leptosoles (del griego leptos, delgado), se conocen en otras clasificaciones como Litosoles y Redzinas, son

suelos muy delgados (menos de 25 cm) de color café oscuro, pedregosos y poco desarrollados que pueden contener una gran cantidad de material calcáreo, además, se caracterizan por tener un buen drenaje y rápida infiltración. Mientras que los Gleysols, son suelos más profundos de color grisáceo o verdosos que al secarse y exponerse al aire pueden presentar manchas rojas. Se inundan en alguna época del año por poseer un mal drenaje. Los Phaeozems, son suelos oscuros ricos en materiales orgánicos, con buen drenaje, pero poco aptos mecánicamente para construcción, lo que frecuentemente conlleva a su remoción previa a la instalación de infraestructura (Fragoso y Pereira, 2018; SEMARNAT, 2012; INEGI, 2010; FAO, 2009).

Por último, se encuentran los Cambisols y los Luvisols. Los primeros, son suelos jóvenes y poco desarrollados, pueden presentar ligera acumulación de arcilla y son altamente susceptibles a la erosión. Mientras que los segundos, tienen un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo, son levemente ácidos y altamente fértiles, son de color rojo o pardo rojizo (Fragoso y Pereira, 2018; FAO, 2005; Bautista y Palma, 2005).

Figura 4.5. Tipos de suelo

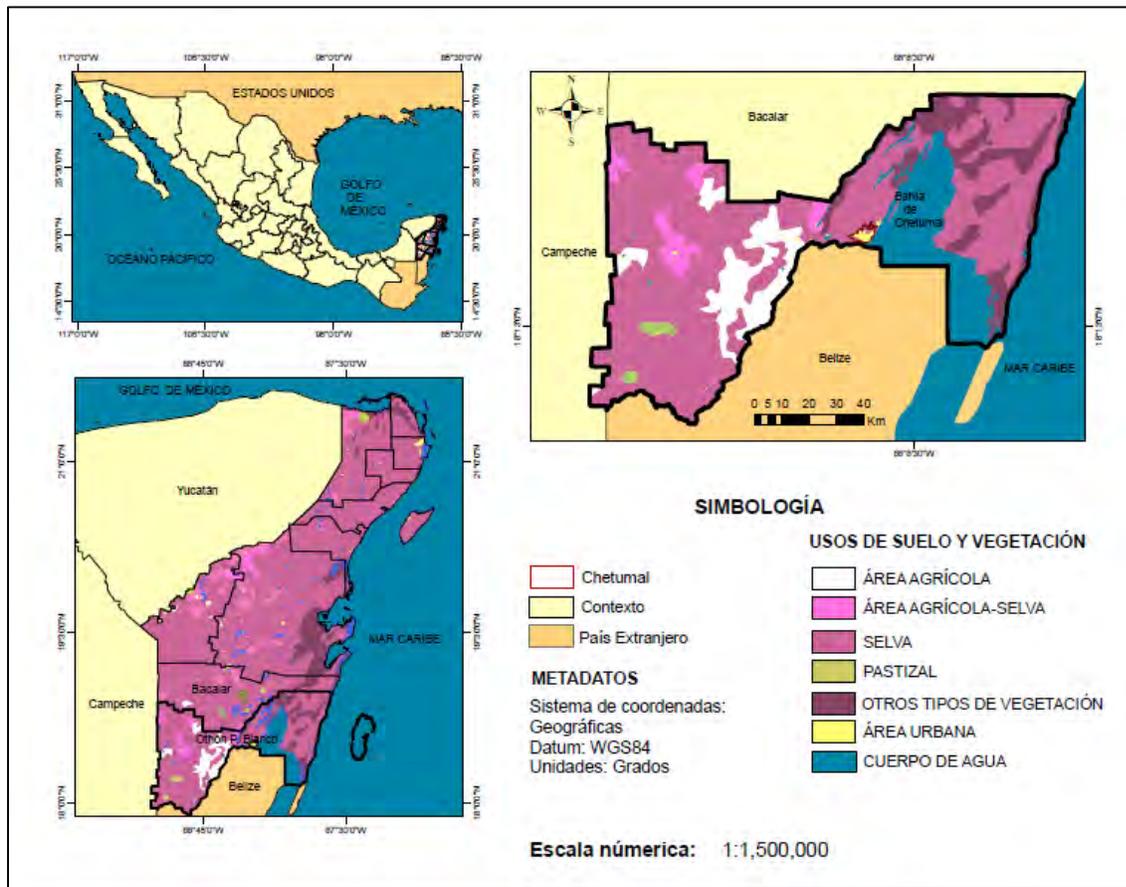


Fuente: elaborado con base en INEGI, 2016.

4.3.6. Uso de suelo y vegetación

En la ciudad de Chetumal, predomina el uso de suelo urbano en conjunto con cuerpos de agua, humedales y zonas de vegetación natural. El espacio intraurbano, se caracteriza por contar con diversos usos de suelo, para el aprovechamiento del mismo y para la satisfacción de las necesidades de los habitantes. Dentro de ellos se encuentra el habitacional, popular, residencial, administración pública, comercio, servicios, salud, educación y cultura, templo (religioso), servicios de apoyo, alojamiento, servicios mortuorios, transporte, comunicaciones, industria, espacios abiertos, habitacional-comercial, baldíos, servicios especiales, aeropuerto, vialidades y otros (Figura 4.8). Ocupa un área de 166.93 has., que corresponde al 3.11% del total del área metropolitana (PDU, 2018).

Figura 4.8. Tipos de suelo y vegetación



Fuente: elaborado con base en INEGI, 2016.

Su cobertura vegetal ha sido modificada, dadas las características urbanas y su crecimiento. Sin embargo, cabe hacer mención que en algunas zonas donde se conserva vegetación, predomina la selva mediana subperennifolia y aún se pueden observar terrenos desnudos de vegetación, acahuales, vegetación de zonas inundables, manglares, áreas agrícolas y vegetación secundaria (Castillo, 2007).

4.4. Selección del área de estudio

Para la selección del área de estudio se consideró los factores descritos en la introducción del presente trabajo (planteamiento del problema, justificación, objetivos, hipótesis), como son: crecimiento urbano y poblacional en zonas costeras, ubicación geográfica y afectaciones de huracanes, por mencionar algunos.

En ese sentido, de acuerdo al Centro Nacional de Desastres y el Sistema Nacional de Protección Civil (2012), la Península de Yucatán es considerada como una zona de alto riesgo al impacto de huracanes. Está conformada por tres estados: Campeche, Yucatán y Quintana Roo; con una población de 4 498 931 habitantes (INEGI, 2015), de los cuales el 46.61 % pertenece a Yucatán, 33.38 % a Quintana Roo y finalmente el 20.00 % a Campeche.

Si bien, los tres estados se caracterizan por tener zonas costeras, actividad turística y exposición año con año a las amenazas de huracanes. El estado de Quintana Roo, se encuentra dentro de los que más se ha visto afectado de manera directa o indirecta por huracanes a lo largo de la historia.

El territorio de Quintana Roo, se conforma por 11 municipios: Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, isla Mujeres, Othón p. Blanco, Benito Juárez, José María Morelos, Lázaro Cárdenas, Solidaridad, Tulum, Bacalar y Puerto Morelos; con una población total de 1 505 562 habitantes (INEGI, 2015). Del total de municipios, se tiene mayor concentración de población en Benito Juárez con un 49.52% y Othón P. Blanco con el 19.92% del total de habitantes. En el primero se encuentra Cancún, la ciudad con más población del estado y eje de gran turismo de masas del país (García et al., 2011); mientras que en Othón P. Blanco, se ubica la ciudad de Chetumal, capital del estado, considerada la segunda ciudad costera con más población, representa el 1.14% con respecto al estado y 61% en relación al municipio.

De acuerdo al Consejo Nacional de Población (CONAPO), para el año 2030 se proyecta para la ciudad capital un crecimiento de hasta 236 mil habitantes y será la tercera más grande en el Caribe de México (superada por Cancún y Playa del Carmen), con un incremento poblacional por década de 21% y 17% respectivamente (Tabla 4.3), superando las tasas de crecimiento poblacional anual de 1.15% (CONAPO, 2015).

Tabla 4.3. Proyecciones de Consejo Nacional de Población para el 2020 y 2030.

Años proyectados	Chetumal	Tulum	Playa del Carmen	Cozumel	Cancún	Isla Mujeres
2010	154,175	18,594	152,795	78,674	640,396	12,876
2020	195,069	22,924	227,407	98,706	848,149	17,393
2030	236,238	25,155	284,367	119,651	1,046,008	21,550

Fuente: Consejo Nacional de Población, 2018.

En relación a los riesgos, de acuerdo a CONAPO (2000), Chetumal se encuentra entre las principales ciudades expuestas a ciclones tropicales. Es una ciudad costera que año con año tiene una temporada de huracanes del mes de junio a noviembre. A lo largo de su historia ha sufrido el impacto de diversos fenómenos. Sin embargo, los que han marcado su historia y son más referidos por servidores públicos y habitantes; son aquellos que tuvieron un impactado con mayor fuerza, causaron más daños y presentaron una alta influencia en el crecimiento urbano de la ciudad capital; dentro de los que se encuentran: el huracán Janet (1955), Carmen (1974), Mitch (1998) y Dean (2007), todos con diferentes características con respecto a vientos, precipitación, presión atmosférica, oleaje y marea de tormenta.

Con base en lo anterior, se considera como caso de estudio la localidad urbana de Chetumal, al considerar los siguientes criterios:

- La localidad urbana de Chetumal es considerada una de las principales ciudades expuestas a huracanes.
- La localidad urbana de Chetumal es una ciudad costera que tiene una temporada de huracanes del mes de junio a noviembre de cada año.
- La localidad urbana de Chetumal es la segunda ciudad costera con más población en el estado y concentra el 61% con respecto al municipio.
- La localidad urbana de Chetumal para el 2030 se proyecta como la tercera más grande del Caribe Mexicano.
- La localidad urbana de Chetumal ha sufrido el impacto de manera directa o indirecta de huracanes con las máximas categorías (4 y 5), de acuerdo a la escala de huracanes Saffir Simpson.

4.5. Identificación del evento

La identificación del evento tuvo como objetivo caracterizar el desastre más reciente al cual la sociedad estuvo expuesta. Para Frausto y colaboradores, un principio general para el estudio de la resiliencia es el reconocimiento del evento más reciente que puso a prueba la comunidad y, por tanto, es el tiempo de cohorte para analizar la capacidad adaptativa (Frausto et al., 2016).

Para la selección del evento, se realizó la consulta de las trayectorias de huracanes del periodo del 2000 al 2015 en bases de datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), informes emitidos por el Centro Nacional de Prevención de Desastres y, por último, en el programa busca ciclones (figura 2.2).

Además, se llevaron a cabo 14 entrevistas a los servidores públicos, donde se les cuestionó ¿Cuál fue el último huracán de mayor impacto en la localidad urbana de Chetumal?, con la finalidad de identificar el evento más actual para tener una probabilidad mayor de obtener datos.

En relación al cuestionamiento, los entrevistados reconocieron cuatro huracanes como aquellos que han marcado su historia, causado daños y transformaciones en Chetumal, dentro de los que se encuentran: Janet (1955), Carmen (1974), Mitch (1998) y Dean (2007). A continuación se describen sus características generales y su asociación con el proceso de desarrollo de la ciudad capital.

4.2.3.1. El desarrollo urbano y la historia de los huracanes en Chetumal, Quintana Roo

En la presente sección se exponen las características de los cuatro huracanes que han marcado la historia de Chetumal. Se inicia con las particularidades de los mismos, los daños ocasionados y el proceso de reconstrucción ante dichos eventos. Para posteriormente, dar a conocer las condiciones físicas y sociales en las que se encontraba la ciudad en las décadas que fue afectada.

4.2.3.1.1. El huracán Janet

El huracán Janet el más recordado por los habitantes de la ciudad capital. Impacto a 57 años de su fundación. Se formó de una onda tropical al este de las Antillas Menores el 21 de septiembre de 1955. El fenómeno tuvo movimiento oeste por el Mar Caribe; durante su desplazamiento, alcanzó la intensidad máxima (5) de acuerdo a la escala de huracanes Saffir Simpson y la madrugada del 28 de septiembre, impactó Chetumal con la máxima categoría, vientos de 280 km/h, presión mínima de 914 y un diámetro de 800 km (Pacheco, 1957).

El desastre del huracán se vio materializado la mañana del mismo día; causo pérdidas humanas y materiales. Se estimó que dejó entre 200 y 300 muertos, sin tener una cifra precisa, además, causo daños en las casas de material endeble (casas de madera estilo inglés), en techos y cristales de los edificios que sirvieron como refugio (Teatro Manuel Ávila Camacho, el Palacio de Gobierno, la escuela Belisario Domínguez, el Hotel Los Cocos y el Hospital Morelos, por mencionar algunos), así como pérdida de grandes hectáreas de selva. Los daños físicos y humanos, estuvieron asociados principalmente a los vientos y marea de tormenta (Rodríguez, 2017; Pacheco, 1957).

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en esa década se contaba con 7 247 habitantes. Con respecto a su desarrollo urbano Castillo (2007) señala que para entonces, la ciudad se encontraba en la primera etapa del proceso de urbanización que comprendió de 1898 a 1970. En ese periodo se carecía de medios de comunicación, pues solo existía el marítimo y el aéreo; por lo cual la región presentaba un enorme aislamiento respecto al resto del país por falta de infraestructura terrestre, así como la falta de servicios básicos.

En su crecimiento intraurbano, la ciudad ya contaba con tres avenidas principales (que hoy son ejes de la ciudad): Avenida Héroes, Insurgentes y Álvaro Obregón; así como con el aeropuerto internacional, este último guio el crecimiento de la mancha urbana hacia el norte y oeste de la misma. Otra de las funciones urbanas importantes de las avenidas fue que permitían la comunicación con la localidad de

Calderitas (Av. Héroes) y con las localidades rurales de la Ribera del Río Hondo (Av. Insurgentes y Álvaro Obregón) (Castillo, 2009:2007).

De igual manera, durante ese periodo la ciudad contaba con tres modernos edificios que tenían nombres de personajes que fueron presidentes de la República, denominados Escuela Urbana “Presidente Obregón”, Teatro “Presidente Manuel Ávila Camacho” y el mercado “Presidente Alemán”. Además, se tenía la construcción de la Penitenciaría del Territorio que sustituyó a la antigua cárcel (Pacheco, 1957).

En lo referente a los servicios básicos, el abastecimiento de agua se daba a través de pozos o aguadas, o bien se recurría a la captación y almacenamiento de agua de lluvia en recipientes de madera denominados “curbatos” (Rodríguez, 2019; Quiñones, entrevista personal, junio 2018).

Con respecto a los sistemas de infraestructura, se carecía del de agua potable, drenaje y se contaba con una deficiente red eléctrica; pues esta última, no abastecía al 100% la población y al área urbana (solo las avenidas principales tenían alumbrado público). Cabe señalar, que en los primeros meses del año 1955 se había iniciado con trabajos de incorporación de infraestructura de agua potable y nuevas instalaciones de energía eléctrica (que fueron interrumpidas con el impacto del huracán). El objetivo de los trabajos fue complementar la zona que carecía del servicio eléctrico; por ello, se colocó postes nuevos para que toda la extensión de la ciudad y los habitantes sin distinción disfrutaran del servicio de luz eléctrica (Pacheco, 1957).

Bajo este contexto, la ciudad capital fue impactada por el huracán Janet. Su proceso de reconstrucción, sin duda, fue difícil, dada las condiciones geográficas, físicas y sociales de la misma. El huracán destruyó Chetumal, el profesor Pacheco Cruz en una de sus narraciones señala “que el gobernante en ese momento, Margarito Ramírez, que manejó con mano dura durante 15 años el territorio, pensó en incendiar la ciudad para evitar una epidemia, la gente se opuso” (Pacheco, 1957, p.).

Dentro de las transformaciones relevantes derivadas del impacto del fenómeno, se tuvo el cambio en los materiales constructivos y la ubicación espacial de las viviendas. Las casas de los damnificados algunas continuaron construyéndose con madera, modificando únicamente su ubicación a la parte alta de la ciudad, mientras que otras cambiaron a materiales más robustos como concreto (Campos y Murias, 2018).

Para Frausto (2017) y Pacheco (1957) dentro de los aspectos trágicos que hoy son recordados por los habitantes y forman parte de la historia del mismo, fue la muerte del cabo de compañía fija José H Franco Camacho de 30 años de edad, que por salvar a unos niños frente a la iglesia en construcción, fue decapitado por una lámina perdida. Asimismo, la casa voladora de madera en la que se refugiaron 25 personas, la señalan con ese nombre, debido a que el viento y el nivel del agua la movieron junto con sus cimientos y fue desplazada 300 metros, sin afectar a los refugiados. En la actualidad, la casa se ubica en la calle General Anaya núm. 30, y pertenece a la familia Bellos Sosa (Frausto, 2017; Pacheco, 1957).

En opinión de Bautista (2004) tres años después (en 1958), con la llegada del ingeniero Aarón Merino como gobernador las cosas empezaron a mejorar y la ciudad terminó con su reconstrucción. Se retomó el proceso de urbanización y se continuó con la incorporación de servicios como luz eléctrica y agua potable. Cinco años después del suceso (en 1960), se dio a conocer que en abril del mismo año más de 900 mil campesinos serían trasladados a los estados de Quintana Roo, Veracruz, Tabasco y Chiapas, con sus derechos agrarios protegidos; de los cuales 200 llegaron en 1961 a la ciudad capital provenientes de Morelos, Michoacán, México y Durango; y la capital continuó con su desarrollo (Rodríguez, 2019; Castillo; 2009; Mendoza, 2004).

4.2.3.1.3 El huracán Carmen

A 16 años del impacto del huracán Janet, llega otro de los huracanes que marco la historia de Chetumal. El 02 de septiembre de 1974 afectó el huracán **Carmen**, considerado el más intenso de la temporada de huracanes del Atlántico de 1974. Su formación estuvo asociada a una ola del este que se mudó de la costa africana

el 23 de agosto y se convirtió en una depresión centrada a unas 180 millas al este de Guadalupe el 29 de agosto. El fenómeno se intensificó gradualmente bajo un patrón de salida clásico producido por un anticiclón de 200 mb que se movió hacia el oeste con el huracán a través de las islas de Sotavento hacia el Caribe oriental (Hope, 1974).

Posteriormente, el 30 de agosto al moverse al sur del paso de Mona hacia el oeste, 80 millas al sur de Puerto Rico y La Española se convierte en tormenta tropical, y al amanecer del siguiente día, ya era un huracán con la mínima categoría al sur de Jamaica.

Su rápido desarrollo se produjo cuando el centro del huracán se acercó a la Península de Yucatán, el 02 de septiembre con la mayor parte de su circulación sobre las aguas muy cálidas del mar Caribe.

El mismo 02 de septiembre, el centro pasó a unos pocos kilómetros al norte de Chetumal, con categoría cuatro de acuerdo a la escala de huracanes Saffir Simpson. Alcanzo vientos sostenidos de 118 kph, acompañados de una presión mínima de 965 mb (Hope, 1974).

La mañana del mismo día del impacto, la ciudad se convirtió en zona de desastre y más de 5,000 personas perdieron sus hogares y pertenencias (PDU, 2005). Los daños se asociaron con inundaciones, particularmente en las cercanías a la bahía. Se tuvo afectaciones en infraestructura pública, viviendas, líneas de conducción de electricidad y en el suministro de agua potable.

En esa década, la ciudad contaba con 23 685 habitantes (INEGI, 1980). Con respecto a su desarrollo urbano, se encontraba en la segunda etapa de urbanización que se conformó de 1970 a 1980. Este periodo se caracterizó por la influencia de los migrantes, quienes hacen aparecer los primeros asentamientos irregulares de la traza urbana y es cuando se presenta la tasa más alta de crecimiento espacial con un 8.3% (Castillo, 2009).

Con relación a la infraestructura y servicios; los habitantes podían hacer uso de televisión, telefonía de larga distancia, comunicación vía terrestres, servicio de

electricidad y agua potable, sin dejar de mencionar que la dotación no se cumplía al 100%.

En ese contexto, impacta el huracán Carmen. Sin duda, un alto porcentaje de habitantes tenía la experiencia sobre qué acciones tomar, además, las condiciones de la ciudad capital ya eran otras, a diferencia que cuando sufrió el impacto de Janet. Que si bien, el Carmen fue de menor categoría, los daños que causó no pudieron minimizarse.

El proceso de reconstrucción fue distinto, como ejemplo de ello, se puede mencionar que en su mayoría y de acuerdo a sus posibilidades los habitantes de la zona ya no dudaron en sustituir la madera por mampostería en la construcción de sus viviendas.

En ese mismo año, se tuvo un suceso administrativo importante para la capital, el 08 de octubre se estableció el territorio de Quintana Roo como estado libre y Soberano y Chetumal continuó como su capital (Castillo, 2007; PDU, 2005). El crecimiento urbano siguió hacia el norte y oeste, que si bien, su eje fue la Avenida Insurgentes, se fortaleció con dos avenidas sur-norte, paralelas a la Avenida Héroes, Calzada Veracruz y Avenida Juárez.

Seguidamente, para la década de los ochenta, la ciudad se encontraba en la tercera etapa del proceso de urbanización. En ese momento la capital creció hacia el interior con la lotificación de terrenos baldíos existentes. Se construyó la Avenida Erick Paolo y el crecimiento espacial se intensificó en dirección oeste (Castillo, 2009). Con referencia al crecimiento poblacional, se contaba con 56 709 habitantes, lo que representó una disminución en su tasa de crecimiento, mientras que su densidad alcanzó 44.8 hab/ha (INEGI, 1980).

Y para la década de los noventa, la ciudad continúa su desarrollo con la misma dinámica de ocupación en terrenos baldíos. Pero, en esa fase el actor propiciador del proceso lo constituyó las instituciones públicas estatales, quienes mediante políticas de urbanización, pretendieron reorientar el crecimiento espacial (Castillo, 2009).

4.2.3.1.3. El huracán Mitch

A finales de la década de los noventa, 24 años después del Carmen llega la amenaza del huracán Mitch. Sus orígenes se remontan a una ola tropical que se movió a través de la parte sur del oeste de África el 08 y 09 de octubre. Posteriormente, durante los días 18 y 19 se trasladó al Mar Caribe. Mitch, se convirtió en huracán el 24 de octubre mientras se encontraba a 410.38 kilómetros al sur suroeste de Kingston, Jamaica. Más tarde de ese día, al volver hacia el oeste comenzó su período de intensificación rápida. Durante el transcurso de 24 horas, su presión central cayó 52 mb, a 924 mb; y por la tarde del 26 alcanzó una mínima de 905 mb, mientras que el ciclón se centró a unas 50 millas al sureste de la isla Swan (Guiney y Lawrence, 1998).

El huracán Mitch, no impactó de manera directa la ciudad capital. Sin embargo, dada su trayectoria que amenazó con afectar Chetumal en su máxima categoría, se realizó todos los preparativos de emergencia ante la posible afectación; como fue la logística pertinente por parte de las instituciones gubernamentales, la evacuación de habitantes de la zona baja, preparativos en casa-habitación, concentración de víveres, entre otras. El monitoreo del fenómeno se llevó a cabo por seis días. Las alertas iniciaron el 24 de octubre a las 19:00 horas, cuando el huracán se localizó a 1 300 kilómetros del sureste de Chetumal, con vientos sostenidos de 175 kph y rachas de 200 kph, un radio de afectación de 160 kilómetros con diámetro de 320. Para el día 25 se acercó 540 kilómetros, es decir, se encontraba a 760 kilómetros de la ciudad capital y para el día 26 el fenómeno alcanzó categoría cinco de acuerdo a la escala Saffir Simpson y se encontró a 465 kilómetros de la ciudad.

El 27 de octubre el huracán se degradó a categoría cuatro y se ubicó a 355 kilómetros al sureste de Chetumal; al siguiente día el fenómeno disminuyó a categoría dos, sin embargo, continuó acercándose a la capital y se localizó a 345 kilómetros al sureste. Finalmente, el día 29 el huracán bajó su intensidad a uno y empezó a alejarse de la capital y fue hasta el día 30 de octubre, que el gobernador del estado, para entonces, Mario Villanueva Madrid, anunció en todos los medios de comunicación que el peligro había pasado.

A su paso Mitch, dejó daños por sus altas precipitaciones en las avenidas y calles secundarias de la ciudad, así como inundaciones en la Colonia Fidel Velásquez y Proterritorio en la parte este de la ciudad (Alfredo, comunicación personal, marzo 2018).

Para entonces, la ciudad contaba con 94 158 habitantes (INEGI, 1980). Con respecto a la infraestructura se tenía la de agua potable, energía eléctrica y se iniciaban con los trabajos para introducir infraestructura de saneamiento (drenaje sanitario y pluvial). Por lo tanto, la población ya gozaba de los servicios de agua potable y electricidad.

Por las afectaciones del paso del huracán Mitch se estimó una inversión por \$18 680 000 para el bacheo de calles (Diario de Quintana Roo, 30 de octubre de 1998). Sin embargo, es relevante señalar que dentro de la reconstrucción de daños, se dio inicio a las primeras obras de drenaje pluvial con la construcción de 2 kilómetros de canal a cielo abierto para el desalojo de aguas pluviales y se construyó el drenaje pluvial de la colonia Proterritorio, que fue de las más afectadas por inundaciones; siendo éstas de las primeras obras de drenaje pluvial construidas en la ciudad de Chetumal (Quiñones, comunicación personal, marzo 2018).

Este huracán es muy recordado por los habitantes, y forma parte de su historia, por el impacto indirecto, y fue el que dejó ver la capacidad de preparación con la que contaban, tanto los habitantes como el gobierno en curso ante un fenómeno de tal magnitud, que fue denominado “el monstruo del caribe” .

4.2.3.1.4. El huracán Dean

Posteriormente, en la década del 2000 la ciudad siguió creciendo, pero ahora, bajo propuestas de empresas privadas orientadas por las políticas de vivienda del entonces actual gobierno (Castillo, 2009). Y para el año 2007, impacta “Dean”, un clásico huracán de Cabo Verde que se movía a través del Caribe, paso muy cerca de Jamaica y luego tocó tierra en la costa este de la Península de Yucatán como huracán categoría cinco. Dean, el primer huracán en el Atlántico desde Andrew en 1992 en alcanzar la fuerza máxima, fue responsable de 32 muertes (Franklin, 2007).

Dean ingresó al Mar Caribe el 17 de agosto y su centro pasó entre Martinica y Santa Lucía alrededor de las 09:30 am. La pared norte del ojo, acompañada de vientos sostenidos de 85 kph pasó directamente sobre Martinica. Con la salida del nivel superior aumentando en todos los cuadrantes, comenzó a fortalecerse de manera rápida en el este del mar Caribe y sus vientos aumentaron de 80 a 145 kph.

Sin embargo, bajo de categoría el 19 de agosto cuando su centro pasó a 80 millas náuticas de la costa sur de Haití y a unas 20 millas de la costa sur de Jamaica. El 20 de agosto, Dean se alejó de Jamaica sobre las aguas cálidas del noroeste del Caribe y comenzó a fortalecerse a medida que se acercaba a la Península de Yucatán. Recuperó el estado de categoría cinco el 21 de agosto, y aún se profundizaba cuando el centro tocó tierra a poca distancia de Mahahual aproximadamente a las 08:30 am de ese día. Al momento de tocar tierra, se estima que Dean tuvo una presión central mínima de 905 mb y vientos sostenidos máximos de 150 kph (Franklin, 2007).

Ese mismo día, se localizó a 65 km al este de Chetumal, con vientos máximos sostenidos de 260 kph, rachas de 325 kph y ocasiono lluvias de 81 mm (CONAGUA y SEMARNAT, 2007).

Los daños materializados en la ciudad capital, fueron afectaciones en el servicio de agua potable, instalaciones eléctricas (las cuales fueron atendidas de manera inmediata), derribo de árboles, antenas, espectaculares, postes de alumbrado público, teléfono, viviendas, daños en más de la mitad de las vialidades de la ciudad por inundación y por objetos que impedían la circulación y 900 mil hectáreas de vegetación forestal (Rodríguez, 2017; Hernández, 2014; PDU, 2005).

Dentro de los sectores más afectados, se tuvo las vialidades y viviendas, en zonas rurales del municipio y en la misma capital. El daño de casas-habitación en Chetumal, fue evidente en áreas de asentamientos irregulares y en familias de escasos recursos (colonia los monos). De acuerdo al Instituto de Fomento y Regularización de la Propiedad del estado de Quintana Roo (para entonces instituto encargado de los programas de recuperación de viviendas por daños del huracán Dean); en Chetumal se tuvo afectación en 686 viviendas, que en su mayoría se

encontraban en la denominada colonia “Los Monos”, las cuales fueron sustituidas en su totalidad.

Derivado de la situación en que se encontraba el municipio Othón P. Blanco y por ende su cabecera municipal, el Gobierno del Estado, a través de la Comisión Nacional del Agua, instancia federal, solicitó el 04 de septiembre la declaratoria de desastre, la cual fue autorizada por el Gobierno federal el 05 del mismo mes.

Para entonces, la ciudad ya contaba con los servicios básicos (agua potable, drenaje, electricidad y vialidades), y se conformaba por 121 602 habitantes (INEGI, 2010). En esa década la ciudad presentó un nuevo dinamismo al ir recuperando su actividad comercial y oferta de servicios, básicamente para los turistas nacionales que visitaban la zona libre de Belice y para los turistas de esta urbe que buscaban espacios de esparcimiento y para la compra de mercancías(Castillo, 2007).

Durante el proceso de reconstrucción, se contó con apoyos en los diversos sectores afectados. No obstante, dentro de ellos el que más inversión y duración tuvo, fue el “Programa de reconstrucción de vivienda para los damnificados por el huracán Dean”. El objetivo del programa fue proporcionar una vivienda digna y segura a los habitantes afectados. Y a través del INFOVIR, con apoyo de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), se dio atención a las familias afectadas. INFOVIR fue el responsable de la correcta integración de los expedientes personales de los beneficiarios, expedientes técnicos, contratos, ejecución y supervisión de las obras, así como la adecuada aplicación de los recursos que se recibió de dicho programa.

Las viviendas fueron construidas, por empresas locales y del centro del país. Las primeras se encargaron de la construcción de viviendas tradicionales, es decir, casas a base de mampostería de piedra, muros de block y losas de concreto. Las segundas, estuvo a cargo de dos empresas denominadas GMI Y MXVI. La primera empresa construyó viviendas a base de muros de PVC espumado, con estructura y techo de acero galvanizado y ventanas de cristal. Mientras que el prototipo de vivienda GMI, fue a base de losas de concreto con polietileno, paneles de alambre recocido y concreto tiroleado.

En la ciudad de Chetumal, se otorgó viviendas del prototipo tradicional y de PVC; este último predominó en la colonia “Los Monos” que fue la más beneficiada de la ciudad. A pesar de ello, dado las experiencias y las costumbres locales, los habitantes, mostraron inconformidad con el material de sus viviendas, pero, sin duda, las condiciones de su nueva casa-habitación eran más aptas para hacer frente a algún fenómeno en el futuro. Es así, como muchas de las familias hoy tienen mejores condiciones de vivienda. Además, la ciudad tuvo mejoras en la sustitución y reparación de vialidades que presentaron problemas de desprendimiento de carpeta asfáltica y socavaciones en el cuerpo de sus terraplenes (Ferrales, comunicación personal, febrero 2018).

De acuerdo a la información expuesta, para la presente investigación se estableció como evento cohorte el huracán **Dean**, al considerar los siguientes criterios:

- El huracán Dean fue el último de máxima categoría (5) de acuerdo a la escala de huracanes Saffir Simpson, que impactó a pocos kilómetros (65 km) de la ciudad capital.
- El huracán Dean causó afectaciones en viviendas del sector popular y en los sistemas de infraestructura de agua potable, saneamiento, eléctrico y vialidades.
- La declaratoria de desastre del huracán Dean fue autorizada al día siguiente de su solicitud.
- La ciudad de Chetumal se encontró dentro de las localidades consideradas zonas de desastre ante el impacto del huracán Dean.

4.4. Metodología

De acuerdo a Bhattacharjee (2012) el nivel de investigación científico del presente estudio, es empírico, que se caracteriza por probar los conceptos teóricos y las relaciones para ver la forma en que se reflejan las observaciones de la realidad, con el objetivo de construir mejores teorías, fortalecerlas y así contribuir para que la ciencia gane madurez.

Para cumplir con los objetivos del estudio, se utilizó el tipo de investigación deductiva, la cual tiene como finalidad probar conceptos y patrones desde la teoría al hacer uso de nuevos datos empíricos, considera que no se trata de probar una teoría, sino de refinarla, aplicarla y extenderla. Por tanto, el propósito de estudio fue explicativo, que busca proveer explicaciones sobre fenómenos observados, problemas o comportamientos, para responder las preguntas de “por qué y cómo” (Bhattacharjee, 2012).

El enfoque de investigación utilizado fue mixto, es decir, se aprovechó las bondades que apporto el método cualitativo y cuantitativo para enriquecer la investigación.

Para Monje (2011) el enfoque cuantitativo y cualitativo son paradigmas o alternativas metodológicas, que tienen su propia fundamentación epistemológica, diseños metodológicos, técnicas e instrumentos acordes con la naturaleza de los objetos de estudio, las situaciones sociales y las preguntas que se plantean.

Por su parte, Hernández (2010) describe el enfoque cuantitativo como un proceso secuencial y probatorio, donde cada etapa de la investigación precede a la siguiente y no se puede brincar; es decir, se debe respetar la secuencia de los pasos establecidos para la investigación. Mientras que enfoque cualitativo, tiene sus bases en estudios con variables netamente cualitativas que únicamente requieren descripción.

El enfoque mixto de investigación, es la integración o combinación de los enfoques cualitativo y cuantitativo; o sea, ambos se integran en el proceso de desarrollo de la investigación. Sin embargo, para que esto pueda llevarse a cabo se requiere de una mentalidad flexible, ya que esta perspectiva de investigación agrega

complejidad al diseño de estudio, si deja de mantener la esencia de las ventajas de cada enfoque (Hernández, 2014).

El diseño de investigación se basó en un estudio de campo, que es caracterizado por un diseño no experimental dado que no controla o manipula variables independientes o de tratamiento, pero si mide las variables y prueba sus efectos usando métodos estadísticos. Los estudios de campo capturan prácticas instantáneas, creencias o situaciones de una muestra aleatoria de sujetos por medio de un cuestionario o, menos frecuentemente, a través de una entrevista estructurada (Battachar, 2012).

A continuación se describe el proceso metodológico que se llevó a cabo para cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo:

4.4.1. Revisión documental

La revisión documental se realizó en bases de datos de Elsevier, Conricyt, Scopus, Scielo, Redalyc, Google Académico y Taylor y Jstor. Para ello, se utilizó las palabras clave relacionadas con el tema de investigación como son: resiliencia, infraestructura, huracanes, resiliencia en infraestructura y cuantificación de resiliencia; de donde se obtuvieron artículos científicos especializados, libros y tesis.

Asimismo, se realizó la consulta de documentos como son: Marco de Acción de Sendai, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Acuerdo de París, Agenda de Acción de Addis Abeba, Cumbre Humanitaria Mundial, Estrategia Nacional del Cambio Climático, Plan Nacional de Infraestructura 2014–2018, Plan Sectorial de Gobernación y Programas de desarrollo Urbano.

Además, se consultaron páginas web de las instituciones: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Comisión Nacional del Agua, Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo y el Portal del Ayuntamiento de Othón P. Blanco.

Por último, para complementar la revisión documental se acudió al archivo del estado de Quintana Roo, ubicado en su capital Chetumal, en la Av. Isla Cancún, donde se realizó la consulta acerca de infraestructura urbana y los huracanes que

han afectado a lo largo de su historia en archivos digitales, libros y periódicos de la zona de estudio.

Con base en la información obtenida y analizada se estructuró el marco teórico y metodológico que sustentaron la investigación.

4.4.2. Diseño y aplicación de instrumentos

Como parte de los trabajos para evaluar la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera, se utilizaron como instrumentos el cuestionario y la guía de entrevista semi-estructurada. El primero se refiere a una serie de variables que son operacionalizadas en preguntas de investigación con la finalidad de poder evaluar el constructo del estudio. Mientras que la guía semi-estructurada se caracteriza por permitir conocer aspectos clave del estudio. La técnica utilizada para la aplicación del cuestionario fue la encuesta oral, que consiste en la interacción entre investigador y el encuestado a través de un interrogatorio de preguntas breves y precisas, de tal manera que el encuestado pueda comprenderlas y responderlas de manera adecuada. Mientras que para la aplicación de la guía de entrevista se usó la técnica de entrevista directa, que consiste en el dialogo entre el entrevistado y el entrevistador, el cual es guiado por el instrumento.

El diseño de los instrumentos se realizó con base en los componentes: robustez, recursos, funcionalidad, redundancia, rapidez y transformación, así como con los indicadores seleccionados para cada uno de ellos; que fueron definidos en la fase teórica para evaluar la resiliencia de sistemas de infraestructura urbana de una ciudad costera ante huracanes.

Seguidamente se muestra como se estructuraron los instrumentos y su proceso de aplicación.

4.4.2.1. Desarrollo de la encuesta

Para conocer la percepción de los usuarios sobre la resiliencia ante huracanes de los sistemas de infraestructura urbana (agua potable, drenaje pluvial, drenaje sanitario y electricidad), se utilizó como instrumento de medición el cuestionario, mismo que fue aplicado por medio de la técnica de encuesta a una muestra

representativa de la zona de estudio, delimitada con base en un muestreo probabilístico y seleccionada por medio de la tabla de números aleatorios.

4.4.2.1.1. Elaboración del cuestionario

El instrumento utilizado para captar la percepción de los habitantes sobre la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana ante la afectación del huracán Dean, se elaboró con base en los componentes: robustez, recursos, funcionalidad, redundancia, rapidez y transformación. Además, para cada uno de ellos, se consideró un número variable de indicadores de resiliencia que contribuyeron a conocer características de la población y de los sistemas de infraestructura urbana. El cuestionario se estructuró en seis secciones, de la siguiente manera:

La primera sección (A), se conformó por las variables referentes a datos generales del entrevistado y de la zona como son: número de vivienda, dirección, edad, sexo y ocupación.

El segundo apartado (B), estuvo integrado por tres preguntas referentes a los antecedentes y se consideró las variables: motivo de vivir en la zona, años de vivir en la zona y experiencia de huracán.

Posteriormente, el apartado C, hizo referencia al Sistema de Agua Potable; el cual se conformó por 16 preguntas; en las que se consideró las variables: tipo de infraestructura para disponer agua potable, tipo de suministro, litros aproximados de consumo, dotación de agua potable, calidad del servicio, tipo de afectaciones en caso de huracán, nivel de afectación, mantenimiento al sistema de infraestructura, tiempo de reactivación en caso de una perturbación, número de obras construidas para mitigación ante huracanes, métodos de mitigación para disminuir los posibles daños, inversión en caso de una perturbación, participación como sociedad, conocimiento sobre los programas implementados por el gobierno e instituciones en la mejora de infraestructura y capacitación sobre qué hacer en caso de huracán.

La siguiente sección (D), se estructuró por 26 preguntas; de las cuales, 17 se asociaron al sistema de infraestructura de drenaje sanitario y nueve al pluvial. En ambos sistemas las variables fueron: dotación de servicio, tipo de descarga, número

de baños, lugar de desecho de aguas residuales y pluviales, calidad del servicio, nivel de afectación, tipo de afectaciones, medidas de mitigación implementadas, tiempo de reactivación en caso de perturbación, mantenimiento, nuevas obras realizadas para mitigación, inversión ante una afectación, participación como sociedad, conocimiento sobre los programas implementados por el gobierno e instituciones en la mejora de infraestructura y capacitación sobre preparación en caso de huracán.

El apartado posterior (E), se constituyó por 11 preguntas correspondientes al Sistema de Infraestructura de Electricidad, con las variables: dotación de energía eléctrica, calidad del servicio, nivel de afectación en caso de perturbación de un huracán, tipo de afectaciones en el sistema, tiempo de reactivación en caso de afectación, obras de mitigación, energías alternas, conocimiento sobre los programas implementados por el gobierno e instituciones en la mejora de infraestructura y capacitación sobre qué hacer en caso de huracán.

4.4.3. Cálculo de la muestra

Para el cálculo de la muestra, se utilizó como población objetivo a los habitantes de 18 años y más. La unidad de muestreo fue el total de hogares tomado del censo de población y vivienda del 2010. El cálculo se efectuó por medio de la siguiente formula:

$$n = \frac{k^2 * q * d}{r^2 * p * (1 - t)}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

k= nivel de confianza

q= proporción de población menor de 18 años

d= efecto de diseño

r=error máximo de estimación

p= proporción de población de 18 años y mas

t= tasa de no respuesta

Por lo tanto, los parámetros considerados son los siguientes:

k= valor normal estándar para un 90% de confianza	.....	1.65
q= 1-p	.....	0.33
d= efecto de diseño no esperado		1.5
r= error máximo de estimación	.....	0.1
p= % de población de 18 años y mas	.....	0.67
t= tasa de no respuesta	.....	0.15

Los parámetros utilizados (d, r y t) fueron tomados de la encuesta intercensal 2015 que realizó el INEGI a nivel municipal; al considerar que Chetumal representa el 61% del total del municipio de Othón P. Blanco. Se obtuvo una muestra total de 238 hogares; por razones de redondeo al número inmediato superior la muestra final quedo de 292 hogares.

El marco muestral utilizado para la selección de la muestra fue el plano urbano de la ciudad de Chetumal (Figura 4.9), que está conformado por 131 áreas geoestadísticas básicas (AGEB). Se clasificó con base a la variable “peligro ante huracanes” especificada en el Atlas de Riesgo de la ciudad de Chetumal (2011) en tres estratos (Tabla 4.4): riesgo muy alto, alto y medio.

Tabla 4.4. Distribución de muestra en estratos

ESTRATO	No. DE AGEBS	TOTAL HOGARES	TOTAL HOGARES A ENCUESTAR	TOTAL HOGARES AJUSTADO A ENCUESTAR
1. Riesgo muy alto	52	26502	139	169
2. Riesgo alto	34	16448	87	103
3. Riesgo medio	5	2243	12	20
TOTALES	91	45193	238.00	292

Fuente: Elaborado en base en INEGI, 2010.

Figura 4.9. Marco muestral



Fuente: Elaborado en base en INEGI, 2016.

4.4.3.1. Distribución de la muestra

El proceso de distribución de la muestra se efectuó por medio de cuatro pasos. Primero, se procedió a la selección de AGEB; para ello, se consideró la variable hogares habitados, y se obtuvo 91 AGEB de las 131. Las restantes se omitieron toda vez que no cuentan con casas habitadas o en su caso corresponden a zonas industriales, infraestructura urbana y zonas de área verde.

En el segundo paso, se desarrolló la distribución de la muestra por AGEB; el procedimiento estadístico aplicado fue por afijación proporcional con base en los hogares, cabe señalar que para ello, se tomó en cuenta que en una vivienda puede existir más de un hogar.

En el tercer paso, se generó la distribución de la muestra por manzanas; para este proceso se consideró lo siguiente: primero, seleccionar una manzana en el AGEB, en caso de que correspondiera encuestar de uno a dos hogares; tres manzanas si se requería entrevistar de tres a cinco hogares y más de tres manzanas cuando el número de hogares superaba los cinco, con la finalidad que por manzana se aplicará

dos cuestionarios. Éstas fueron seleccionadas con base en la tabla de números aleatorios, por medio del procedimiento de selección aleatoria simple.

Por último, se llevó a cabo la selección de hogares; el procedimiento se efectuó por medio del muestreo aleatorio simple; el cual fue ejecutado en campo al momento de la aplicación del cuestionario; cabe mencionar que se tomó en cuenta únicamente las manzanas previamente elegidas y con la limitante de no aplicar el instrumento en dos hogares en la misma calle.

La encuesta se aplicó en el mes de marzo de 2018, en horarios de 10:00 a 13:00 y de 16:00 a 17:00 horas, de lunes a viernes; por ser las horas y días identificados en la prueba piloto, en los cuales la población mostró mayor disponibilidad de participación.

4.2.3.2. Desarrollo de la entrevista

Para obtener información de los servidores públicos con injerencia en la construcción y operación de los sistemas de infraestructura urbana; se usó una guía de entrevista semi-estructurada; misma que se elaboró con base en los componentes de resiliencia, asociados a las etapas de construcción de sistemas de infraestructura. Su aplicación se efectuó por medio de la técnica entrevista. A continuación se describe su proceso de desarrollo:

4.2.3.2.1. Elaboración de la guía de entrevista semi-estructurada

El objetivo de la guía semi-estructurada fue conocer la percepción de los servidores públicos sobre la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana ante el impacto del huracán Dean.

La guía de entrevista semi-estructurada se organizó en ocho apartados. El primero estuvo relacionado con datos generales, donde se consideró las variables: nombre, cargo, edad, años de experiencia laboral, tiempo de laborar en la institución, formación profesional y procedencia.

El segundo apartado (B), correspondió al monitoreo de fenómenos hidrometeorológicos (huracán); se conformó por las variables: seguimiento del fenómeno, etapas de seguimiento, áreas que intervienen, infraestructura para llevar

el seguimiento, plan para actuar en caso de huracán y tiempo en que termina las labores de los servidores públicos.

El tercer apartado (C), fue el de servicios; que se integró por las variables: tipo de servicio brindado a la sociedad, días de la semana que se dota el servicio, dotación promedio, dotación adecuada, calidad del servicio, plan de mantenimiento para los sistemas de infraestructura, tipo y nivel de afectación en caso de perturbación, posibles causas que generan las afectaciones, conocimiento sobre la realización de obras de mitigación, plan de mitigación ante huracanes, capacitación como servidores públicos sobre cómo actuar en caso de afectaciones en los sistemas de infraestructura, tipo de atención brindada a la sociedad, tipo de infraestructura para proporcionar apoyo a la ciudadanía y coordinación con otras dependencias.

En el cuarto apartado (D), buscó conocer datos asociados a la etapa de planeación y diseño, en los sistemas de infraestructura. La sección se constituyó por las variables: apego a los lineamientos establecidos por la dependencia, estudios considerados para la ejecución de los sistemas de infraestructura, diseños acordes a zonas costeras y factores de relevancia en la construcción de obras de nueva creación.

El quinto apartado (E), tuvo como objetivo conocer todo lo relacionado con la etapa de construcción de los sistemas de infraestructura. Para ello, esta sección se conformó por las variables relacionadas con dicha etapa, las cuales son: materiales acordes a la zona, tipo de procedimientos constructivos, bases de datos sobre obras existentes, pruebas de calidad de materiales y equipos.

Con el sexto apartado (F), se buscó saber sobre el apego a las normativas y estuvo integrado por las variables: apego a los procedimientos establecidos en los reglamentos, manuales de construcción y operación, evaluación de proyectos de acuerdo a la escala que corresponda (federal, estatal, municipal) en materia de riesgo y evaluación en materia de impacto ambiental.

El séptimo apartado (G), se relacionó con el mantenimiento de los sistemas. Las variables utilizadas fue: plan de mantenimiento y tiempo en que se proporciona.

Por último, el octavo apartado (H) se compuso por las variables asociadas a la destinación de recursos en caso de perturbación: tipo de recursos, número de recursos, proceso de solicitud y de aprobación de recursos, tiempo en destinar el recurso solicitado, tiempo en que se ejerce y existencia de fondos ajenos a los establecidos en las instituciones gubernamentales (federal, estatal, municipal).

Para la aplicación de la entrevista semi-estructurada, se identificó aquellos elementos con injerencia en los sistemas de infraestructura urbana, que mostraron accesibilidad de participación.

4.4.3. Recorridos de campo y entrevistas informales

Los recorridos de campo se realizaron en junio de 2018 y febrero 2019, en conjunto con personal de la dependencia normativa y ejecutora. Dichos recorridos consistieron en visitar los sitios de importancia de cada uno de los sistemas de infraestructura urbana para obtener fotografía que complementarían los resultados de la investigación.

En el sistema de agua potable se visitaron los cinco cárcamos de rebombeo; mientras que en el sistema de drenaje pluvial se visitó los cinco desagües principales de aguas pluviales que se desalojan en el cuerpo de agua de la bahía, las dos zonas más propensas a inundaciones (casitas y área de supermercado Soriana) y la sabana, misma que es el segundo cuerpo de agua donde se desalojan las aguas pluviales.

En cuanto al sistema de infraestructura sanitaria, se visitaron las plantas de tratamiento y los cárcamos de aguas residuales.

Finalmente, en el sistema de infraestructura eléctrica se visitó las dos subestaciones, la que está sobre la Av. Insurgentes y la segunda que se encuentra sobre la Av. Maxuchac, las cuales distribuyen la energía eléctrica a todas las áreas de la capital.

En cuanto a las charlas informales, se realizaron durante el tiempo de trabajo donde los entrevistados proporcionaron información relacionada con cada uno de los sistemas; puesto que el recorrido se realizó en conjunto con dos de ellos.

4.4.4. Análisis de la información

Para complementar la información documental sobre la caracterización de los sistemas de infraestructura urbana y obtener los resultados de la percepción de los servidores públicos y usuarios sobre la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana; se efectuó el análisis de la información obtenida de los instrumentos en dos pasos.

Paso 1. Análisis de entrevistas

Para analizar la información obtenida en las entrevistas se implementó el análisis del discurso. Para González (2007) es una actividad científica destinada, generalmente a describir, explicar e incluso predecir el uso del lenguaje en la comunicación humana

La información de las entrevistas fue analizada con base en seis categorías discursivas: robustez, recursos, funcionalidad, redundancia, rapidez y transformación; mismas que fueron los componentes planteados para evaluar la resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana ante el impacto de huracanes.

El análisis de las categorías discursivas se llevó a cabo considerando el número variable de indicadores propuestos en cada una de ellas, de tal manera que se conociera la particularidad de los mismos y poder compararlos con la teoría.

Paso 2. Análisis de encuesta

Para el análisis de la información obtenida de las encuestas. Se construyó una base de datos en el software Excel, con la información obtenida de cada pregunta. Dicha base fue estructurada de acuerdo a los diferentes sistemas de infraestructura urbana (agua, drenaje pluvial, drenaje sanitario y electricidad), y en ellos se agrupó la información del número variable de indicadores propuestos en cada uno de ellos.

Posteriormente, se obtuvieron medidas descriptivas por cada indicador, las cuales sirvieron para contrastar con la información de la entrevista y la teoría.

4.4.5. Cuantificación del índice de resiliencia

Para la cuantificación del constructo se utilizó la técnica estadística de índice semi-cuantitativo, que es una puntuación compuesta, procedente de la agregación de las medidas de múltiples construcciones (llamados componentes) usando un conjunto de reglas y fórmulas; estas medidas miden diferentes dimensiones o la misma dimensión de un único constructo (Battachar, 2012).

La construcción del índice de resiliencia de los sistemas de infraestructura urbana, se desarrolló en cinco fases (Boulanger, 2008; Thiel, 2013). En la primera se efectuó la definición conceptual de cinco componentes (robustez, redundancia, recursos, rapidez y capacidad adaptativa) por medio de investigación documental (Brenau et al., 2003; O'Rourke, 2007) y trabajo de campo.

En la segunda fase, se delimitó indicadores cualitativos y cuantitativos para cada uno de los componentes con base en investigación documental y trabajo de campo (entrevista y encuesta), mismos que se clasificaron en positivos si se presentó relación directa con la resiliencia y negativos si la relación que mostró fue inversa. Posteriormente, se evaluó los indicadores por medio de una o varias de las siguientes técnicas: revisión de la bibliografía, entrevista y encuesta.

En la tercera fase se realizó la normalización de datos con la finalidad de que estos sean comparables. Este proceso se llevó a cabo por el método estadístico min-max (Castillo, 2009: 55; Castillo et al., 2014: 320; Cutter et al., 2014: 67; Hernández et al., 2014: 279), con las siguientes fórmulas:

$$\text{Indicador positivo} = \frac{\text{Indicador simple} - \text{Mínimo}}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}}$$

$$\text{Indicador negativo} = \frac{\text{Máximo} - \text{Indicador simple}}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}}$$

En la cuarta fase se efectuó la ponderación de componentes e indicadores. Para ello, se seleccionó 14 expertos (cuatro de Conagua, seis de CAPA, y cuatro de Protección Civil Municipal) de acuerdo a la injerencia y relevancia en la protección

y atención de los sistemas ante desastres; quienes se encargaron de ponderar, primero los componentes y luego los indicadores, con base en la técnica normativa de asignación presupuestaria; que consistió en fijar un valor a cada componente entre 0 y 100 de tal manera que la sumatoria fuera igual al valor máximo (100), el mismo procedimiento se implementó a nivel indicador. Consecutivamente, se obtuvo el promedio de los 16 valores a nivel componente e indicador.

En la quinta fase se implementó la técnica de agregación multiplicativa (Boulangier, 2008: 50) a nivel de indicador y componente, de lo que se obtuvo un índice por componente, así como un índice integrado de resiliencia.

Agregación a nivel indicador:

$$I_i = X_n * X_{pi}$$

Donde:

I_i = valor del indicador

X_n = valor del indicador normalizado

X_{pi} = valor ponderado del indicador

Factor por componente:

$$F_c = \sum I_i$$

Donde:

F_c = factor por componente

$\sum I_i$ = sumatoria de indicadores simples por cada componente

Agregación a nivel componente:

$$I_{cn} = F_c * X_{pc}$$

Donde:

I_{cn} = indicador por componente

F_c = factor por componente

X_{pc} = valor ponderado por componente

Índice:

$$IRS = IC1 + IC2 + IC3 + IC4 + IC5$$

Donde:

IRS = índice de resiliencia del sistema de drenaje pluvial

IC1 = índice de resiliencia del componente robustez

IC2 = índice de resiliencia del componente redundancia

IC3 = índice de resiliencia del componente recursos

IC4 = índice de resiliencia del componente rapidez

IC5 = índice de resiliencia del componente capacidad adaptativa

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado con base en investigación documental, aplicación de cuestionarios y guías de entrevista semi-estructuradas se presentan los resultados obtenidos de los cuatros sistemas de infraestructura urbana: agua potable, drenaje sanitario, drenaje pluvial y electricidad.

Para cada uno de ellos, se presenta: una caracterización que incluye su proceso de conformación histórica, la percepción de los servidores públicos y usuarios sobre la resiliencia ante huracanes y por último la cuantificación.

Los resultados de la percepción de los servidores públicos y usuarios, así como la cuantificación de resiliencia, se estructuraron de acuerdo a los seis componentes considerados en el presente trabajo: robustez, recursos, funcionalidad, redundancia, rapidez, capacidad adaptativa y transformación. Mismos que son definidos de la siguiente manera:

La **robustez** se refiere a la capacidad de un sistema de no colapsar totalmente ante una falla, sino conservar el mínimo necesario de funcionamiento ante choques provocados por un fenómeno perturbador (Bruneau et al., 2003).

Por su parte, **recursos** se entiende como la capacidad social, física y financiera con la que cuenta un sistema de infraestructura para responder ante diversas perturbaciones (O'Rourke, 2007).

Mientras que la **funcionalidad** se refiere al nivel de operación que puede conservar un sistema de infraestructura ante el impacto de un fenómeno (Moor et al., 2015).

En cuanto a la **redundancia** la señalan como aquellas propiedades del sistema que permiten opciones alternativas, elecciones y sustituciones bajo estrés; es decir, la capacidades de adaptarse (Gallego y Essex, 2016); de tal manera que le permite al sistema ajustar, modificar o cambiar sus características y acciones con la finalidad de responder mejor a las perturbaciones y estrés del clima (Béne et al., 2012, IPCC, 2012).

La **rapidez** se refiere a la velocidad con la que se puede superar la interrupción del sistema ante un fenómeno perturbador (Bruneau et al., 2003).

Finalmente, la **transformación** se refiere a la capacidad de un sistema para cambiar fundamentalmente sus características y acciones cuando las condiciones existentes se vuelven insostenibles al paso de un fenómeno (Béne et al., 2012; Walker et al., 2004).

Por último, es conveniente mencionar que la cuantificación se realizó por medio de la técnica estadística de índice semi-cuantitativo, que generalmente se construye por medio de un cuestionario, diseñado para evaluar diferentes características de los sistemas, con el objetivo de integrar variables cuantitativas y cualitativas en un valor único (Hernández et al., 2018; Hosseini, Barker y Ramírez, 2015; Cutter et al., 2014).

A continuación se muestran los resultados por cada sistema de infraestructura urbana:

5.1. El Sistema de Infraestructura de Agua Potable

Esta sección corresponde a los resultados del sistema de infraestructura de agua potable, organizados como fue señalado en párrafos anteriores.

5.1.1. Caracterización del Sistema de Infraestructura de Agua Potable

En sus primeros años el abastecimiento del vital líquido en la localidad urbana de Chetumal, se realizó a través de la captación de agua proveniente de precipitaciones pluviales, debido a la falta de infraestructura para la dotación de agua potable. El proceso de captación se llevaba a cabo por medio de recipientes de madera de forma cilíndrica tipo barril que denominaron “curvatos” o “corbatos”, los cuales fueron adoptados del país de Belice; de esta manera, la población se abasteció del vital líquido por aproximadamente cuatro años (Quiñones, comunicación personal, junio 2018).

El primer sistema de infraestructura de agua entubada se puso en operación en el año 1902; que funcionó durante 13 años, hasta que fue destruido por el general maya Francisco May en 1915. Sin embargo, a pesar de existir el sistema de infraestructura, la población siguió con el uso de curvatos para la captación de

aguas pluviales, pues ya estaban acostumbrados al consumo de agua de lluvia (Pacheco, 2002).

Tiempo después, dada las características del vital líquido, el crecimiento de la población y al cambio de las prioridades del gobierno; se inició el 27 febrero de 1935 la construcción del aljibe de capacidad de tres millones de litros de agua, el cual fue ubicado en la Avenida Héroes con Efraín Aguilar, y se concluyó en agosto de 1936 (Álbum monográfico, 1936; Pacheco, 2002).

Además, en ese mismo año (1936), se dio la apertura de ocho pozos profundos al interior de la ciudad, los cuales complementaron el sistema, ambos elementos (aljibe y pozos) fueron de utilidad para dar inicio de manera formal con la dotación del servicio de agua en Chetumal (Castillo, 2006).

El abastecimiento de agua potable era realizado por medio de un programa de control, el cual consistió en proporcionar una tarjeta de control a los habitantes, que amparaba la cantidad de litros en relación al número de integrantes de cada familia.

No obstante, esta forma de abastecimiento solo duro 19 años, puesto que la ciudad capital fue impactada en 1955 por el huracán Janet, el cual ocasionó grandes pérdidas de infraestructura, en la que se encontró los avances que ya se tenían en el sistema de infraestructura de agua potable (Figura 5.1).

Figura 5.1. Afectaciones a curbatos por el huracán Janet



Fuente: Pacheco, 2012.

El impacto del huracán Janet ocasionó que el sistema de infraestructura de agua potable tuviera una transformación. La primera fue de origen administrativo, puesto que posterior a la afectación de Janet, el aljibe fue incorporado a un proyecto propuesto por la Secretaría de Recursos Hidráulicos en el año 1954 (Pacheco, 2002).

El proyecto consistió en la construcción de un sistema conformado por dos cisternas a cielo abierto para la captación de aguas pluviales, que tenían la finalidad de enviar las aguas captadas por bombeo al aljibe que funcionó como tanque receptor del sistema, posteriormente, por medio de la red de distribución se conducían a los tanques de almacenamiento distribuidos en áreas estratégicas de la ciudad donde los habitantes llegaban a abastecerse del vital líquido.

Además, la falta de servicio de agua potable que ocasionó el huracán Janet, dio la pauta para que la Secretaría de Recursos Hidráulicos y los habitantes, se

solidarizaran para poner en marcha el sistema; y fue de esta manera que se logró reactivar en diciembre de 1955. El control seguía siendo por medio de tarjetas, sin embargo, se desconoce cuánto duro ese sistema (Pacheco, 2002; Chamlati, 2012).

Sin embargo, se conocen algunos cambios en el sistema ocurridos en el año 1962, en los que se puede mencionar el retiro del equipo de bombeo y la tubería de hierro fundido, el relleno de una cisterna para poder construir el estadio de béisbol Othón P. Blanco, la entrega de la segunda cisterna a la administración del parque ecológico que actualmente funciona como vaso regulador en caso de inundaciones, por último en relación al aljibe, este fue relleno para la construcción del mercado Lázaro Cárdenas (Chamlati, 2012).

Al mismo tiempo, se realizaron trabajos de construcción de la primera zona de captación en la localidad rural de Xul-Ha, que se encuentra en el kilómetro 21 de la carretera Chetumal-Bacalar, que fue inaugurada en 1964. La zona se conformó por diez pozos profundos (de los cuales seis se encuentran en operación P2, P4, P7, P8, P9, P10), una caseta de operación y la red de infraestructura de tuberías de asbesto cemento con diámetros de 8", 10", 12" y 14". Esta zona de captación opera con energía eléctrica de un transformador de 112.5 kva y tiene una producción diaria de 140 litros por segundo (Tun, comunicación personal, marzo 2018; IMTA-CAPA, 2016).

Posteriormente, para el año 1983 se creó la segunda zona de captación en González Ortega I, con el mismo nombre; localizada a 42 km de la ciudad capital en dirección de la carretera Escárcega, Campeche (Tun y Bardales, comunicación personal, marzo 2018).

La zona de captación "González Ortega I", está conformada por siete pozos profundos, una caseta de operación, un cárcamo de bombeo de 70 m³ de capacidad y la infraestructura de red con tuberías de asbesto cemento con diámetros de 8" de PVC y de 6". Dicha zona, igualmente que la anterior opera con base en energía eléctrica de un transformador de 300 kva y tiene una producción diaria de 220 (l/s) (Tun, comunicación personal, marzo 2018; IMTA-CAPA, 2016).

Más adelante, a finales de los ochenta se creó la tercera zona de captación que fue denominada “González Ortega II”, ubicada en localidad con el mismo nombre. Esta zona se conformó por siete pozos de captación de agua subterránea (P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14), una caseta de operación (ubicada a 650 m de la localidad), un cárcamo de bombeo con una capacidad de 252 m³ y su red de infraestructura con tuberías de polietileno de alta densidad (PAD) y de asbesto cemento con diámetros de 8”. En relación a su funcionamiento, opera con base en energía eléctrica de un transformador de 225 kva y tiene una capacidad de producción de 240 l/s (Tun, comunicación personal, marzo 2018; IMTA-CAPA, 2016).

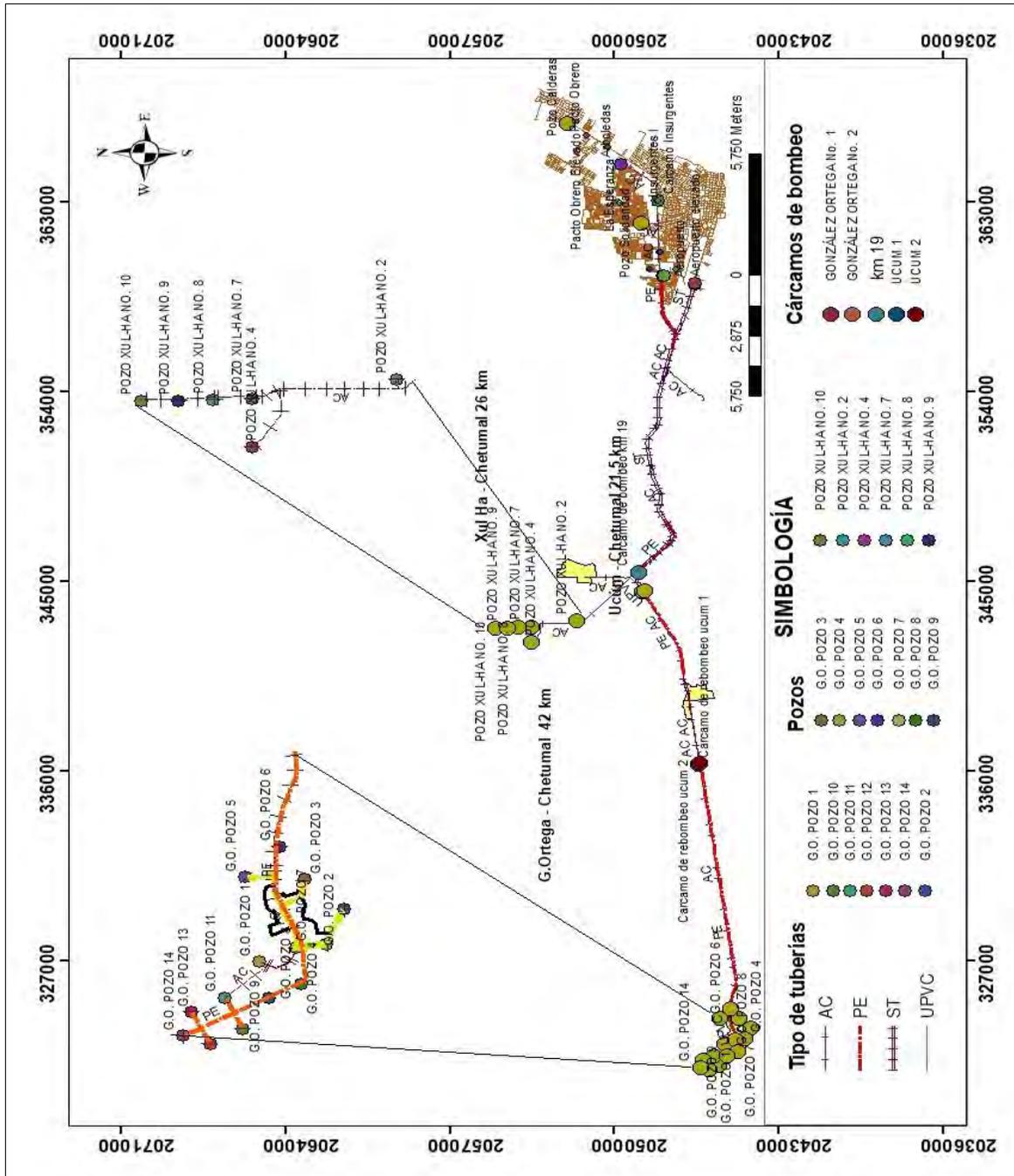
Además, el sistema de agua potable, cuenta con infraestructura para la potabilización del agua extraída de las tres zonas de captación. Este proceso se realiza con base en cloro gas en los cárcamos denominados Ucum I y II, los cuales se ubican en la localidad del mismo nombre.

Finalmente, después de que el agua pasa por el proceso de potabilización, es enviada al Tanque Cambio de Régimen (TCR) ubicado a 21.5 km de la ciudad de Chetumal. Para después, conducir el vital líquido por medio de gravedad con tubería de acero y de fibrocemento de 36” a la entrada de la ciudad capital, donde se realiza un cambio de diámetro de tuberías para conducirla a los cinco cárcamos de bombeo, denominados Aeropuerto, Bachilleres, Insurgentes, Solidaridad y Arboledas.

En ese sentido, el agua potable es enviada a los cárcamos de bombeo por medio de tuberías de polietileno de alta densidad con diámetros de 14”, 18”, 20” y 24”. La primera línea va al cárcamo aeropuerto ubicado al sur por medio de tubería de 14”, la segunda línea de conducción con tubería de 24” de diámetro envía el vital líquido al cárcamo bachilleres localizado al este de la traza urbana, la tercera red línea de conducción con tubería de 20” y 18” llega al cárcamo Solidaridad situado espacialmente al norte de la ciudad, y continua con la misma tubería hacia el cárcamo insurgentes ubicado al este, así como al arboledas ubicado al noroeste de la ciudad (Tun, comunicación personal, marzo 2018).

Así, se puede decir que la ciudad de Chetumal se abastece de agua potable por medio de pozos profundos de agua subterránea, distribuidos espacialmente en tres zonas de captación ubicadas al sureste del municipio de Othón P. Blanco. La primera localizada en la localidad de Xul-Ha, al sur de la laguna de Bacalar, mientras que la segunda y tercera zona se ubica en la localidad Jesús González Ortega, en la carretera Chetumal-Escárcega, cabe señalar que las tres zonas forman parte del municipio de Othón P. Blanco (Figura 5.2).

Figura 5.2. Sistema de abastecimiento de agua potable, Chetumal Quintana Roo, México



Fuente: INEGI, 2016; IMTA- CAPA, 2016.

5.1.2. Percepción de servidores públicos y usuarios sobre la resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable ante el impacto del huracán Dean.

En esta sección los resultados relacionados con la percepción sobre la resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable, estructurados con base en los componentes de robustez, recursos, funcionalidad, redundancia, rapidez y transformación.

5.1.1.1. Robustez

Al considerar que la robustez se asocia a la resistencia de la parte física del sistema, el componente se integró por 12 indicadores relacionados con: normativas y códigos de construcción, planificación, tipos de tubería, cárcamos, mantenimiento, litros de agua por habitante, entre otros (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Indicadores de robustez del sistema de infraestructura de agua potable.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIM	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACION (P)	Z*P
Normativas y códigos de construcción actualizados a nivel local para zonas costeras (leyes, reglamentos y manuales)	Entrevista, 2018	+	0	2	1	0.50	0.20	0.1000
Planificación y diseño de sistemas de infraestructura con falla segura.	Entrevista, 2018	+	0	2	1	0.50	0.03	0.0150
Años de vida del sistema de infraestructura de agua potable	Entrevista, 2018	-	20	300	25	0.98	0.30	0.2946
Kilómetros de tubería de cobre	Entrevista, 2018	-	0	10	10	0.00	0.01	0.0000
Kilómetros de tubería de PVC	Entrevista, 2018	-	0	65	65	0.00	0.01	0.0000
Kilómetros de tubería de Polietileno	Entrevista, 2018	+	0	25	25	1.00	0.01	0.0100
Cárcamos de rebombeo	Entrevista, 2018; IMTA-CAPA, 2016	+	0	5	5	1.00	0.01	0.0100
Plan de mantenimiento	Entrevista, 2018	+	0	3	2	0.67	0.30	0.2000
Análisis de riesgo de los proyectos para la construcción del sistema de agua potable	Entrevista, 2018	+	0	1	0	0.00	0.10	0.0000
Porcentaje de cobertura de servicio del sistema de agua potable en estado normal	Entrevista, 2018 ; INEGI, 2015	+	0.95	100	88	0.88	0.01	0.0088
Litros destinado por habitante	Entrevista, 2018	+	0	250	235	0.94	0.01	0.0094
Horas a la semana que disponen del servicio de agua potable	Entrevista, 2018	+	0	168	28	0.17	0.01	0.0017
								0.65

Fuente: elaborado con base en encuestas y entrevistas, 2018.

Como se puede observar en la tabla anterior, del total de los 12 indicadores que conformaron el componente, aquellos que presentaron mayor incidencia en la resiliencia del sistema fueron: las normativas y códigos de construcción, años de vida de la infraestructura y plan de mantenimiento; esto puede estar asociado a una débil gobernabilidad, puesto que los tres indicadores son implementados y monitoreados por parte del estado y la federación a través de sus dependencias normativas y ejecutoras. En opinión de Moor et al. (2015) y Gallego y Essex (2016) la buena gobernanza es aquella que define roles y responsabilidades de las

organizaciones con la finalidad de no duplicar funciones, recursos financieros y humanos; así como tener una responsabilidad pública, transparencia, medidas anticorrupción y comprender e involucrarse con las perspectivas de resiliencia.

Con relación al indicador “Normativas y códigos de construcción”; se encontró que para el caso de Chetumal, se cuenta con dichos instrumentos, es decir, se cumple con tal indicador. Adicional a ello, cabe resaltar que una de las ventajas de la zona de estudio asociadas con las normativas, es que en ella se ubica la Comisión Nacional del Agua, instancia federal normativa en el estado, la cual se encarga de verificar que la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado como dependencia ejecutora a través de las empresas contratistas cumplan con los requisitos y lineamientos que se establecen en los manuales de agua potable y alcantarillado del estado de Quintana Roo, así como con las leyes y reglamentos de construcción.

Uno de los factores convenientes para resaltar de los instrumentos normativos es que cuentan con especificaciones constructivas particulares acordes para zonas costeras. Al respecto, servidores públicos federales y estatales mencionaron que las características de diseño de elementos como son los cárcamos de bombeo, por mencionar uno, son diseñados con una capacidad superior en zonas costeras que en aquellas que no los son (Tun y Bardales, comunicación personal, 2018).

Sin embargo, a pesar de contar con los instrumentos y normativas, su implementación se realiza de manera parcial, dado que existe incongruencia entre las especificaciones de diseño y su ejecución. Al respecto, los entrevistados señalaron que existen problemas graves en los procesos constructivos que se hacen evidentes con el paso del tiempo; como muestra se puede mencionar el acostillamiento de la tubería y la inadecuada compactación en zanjas de acuerdo a las especificaciones de planos. Agregan, que las empresas constructoras se esmeran en describir en sus presupuestos de concurso todas las especificaciones técnicas adecuadas de un concepto a ejecutar; pero, al momento de su construcción no lo llevan a cabo, y en ocasiones su cumplimiento no es exigido ni por el residente de la obra como tampoco por las dependencias normativas (Bardales, comunicación personal, marzo 2018). Como ejemplo claro de ello hacen alusión a lo siguiente:

“cuando vienen las lluvias, viene levantamiento de las tierras y se compactan por sí solas, entonces, se presenta un hundimiento y eso trae problemas a los vehículos, pues ocasiona que se fisure la carpeta asfáltica terminando en un gran bache en plenas vialidades principales (Entrevistado 3, comunicación personal, marzo 2018)”

La incongruencia entre el diseño del sistema y la construcción del mismo, hacen evidente la falta de apego a las normativas y códigos de construcción. No obstante, los entrevistados afirmaron que es complicado tener un control del apego y cumplimiento de las normativas, proyectos y procesos constructivos; debido a su falta de capacidad de personal para dar atención a todos los proyectos y construcciones a lo largo de un año, pues no solo se da atención a la ciudad capital sino también a todos los municipios que conforman el estado (Tun, comunicación personal, marzo 2018).

En ese sentido, O'Rourke (2007) sostiene que la robustez en los sistemas de infraestructura se logra por medio de una planificación adecuada de los proyectos e integrando la resiliencia en todas sus fases, así como mediante la implementación de los códigos de construcción como un indicador prioritario. En opinión de Bruneau et al. (2003) y Moor et al. (2016) argumentan que la implementación y el éxito de la planificación técnica y las medidas de diseño de los sistemas de infraestructura, están determinadas por medidas institucionales, que van desde nuevas operaciones y procesos, a nuevas regulaciones y estándares, hasta cambios importantes en las políticas e instituciones; como pueden ser actualización e implementación de manuales y reglamentos que guían la construcción de los sistemas de infraestructura.

Por su parte, para O' Rourke (2007) la robustez de un sistema de infraestructura se considera en términos de dimensiones técnicas, es decir, está asociada directamente con la implementación de los códigos de construcción y los procedimientos de adaptación.

Por otro lado, el indicador “años de vida” se refiere a la escala de tiempo óptima de años que tiene un sistema de infraestructura para funcionar adecuadamente

(Hallegatte, Shalizi y Lecocq, 2009). Al respecto, el sistema de infraestructura de agua potable tiene componentes entre 11 y 53 años de uso, en los que se encuentran la zona de captación, cárcamos de bombeo y líneas de conducción, por mencionar algunos (Tun, comunicación personal, marzo 2018). En relación a los años de uso del sistema, los entrevistados refirieron que varios de ellos requieren sustitución pues año con año demandan más inversión en mantenimiento (Bardales, comunicación personal, abril 2018).

Con respecto al indicador “años de vida”, Hallegatte, Shalizi y Lecocq (2009; citados por Giordano, 2012) sostienen que las infraestructuras de agua potable, como son: presas, embalse, redes de distribución, entre otras; tienen una escala de tiempo que va de 20 a 300 años. Mientras que en los manuales de las instancias normativas, los años de vida varían de acuerdo a las características de cada elemento del sistema, es decir, para establecer los años de vida de un elemento, se considera factores como el tipo de material, capacidad, utilidad, entre otros (CONAGUA, 2016). En contraste, desde la perspectiva de Gallego y Essex (2016) los años de vida de los sistemas de infraestructura se asocian a la inversión que se realiza en los mismos, por lo tanto, su vida útil la determina la cantidad de recursos económicos destinados para cada componente de los sistemas de infraestructura.

Por otra parte, en cuanto al indicador “planes de mantenimiento”, se encontró que la CAPA cuenta con el mismo, pero, se lleva a cabo de manera parcial dado que los recursos destinados para el año no son suficientes para dar atención a todas las necesidades del sistema, por lo tanto, los encargados de realizar dicho mantenimiento priorizan aquellos elementos que más lo requieren (Tun, comunicación personal, marzo 2018). Para Cox (2015) la infraestructura no puede ser resiliente sino se mantiene adecuadamente, puesto que el clima y el riesgo de desastres aumentan los recursos, la experiencia y las habilidades necesarias para mantener la infraestructura en óptimas condiciones. Además, que el mantenimiento preserva el valor económico de la inversión en infraestructura, extendiendo su vida útil hacia el futuro.

Por último, el cuarto indicador de relevancia fue “análisis de riesgo del sistema de infraestructura”, del cual se encontró que los proyectos de infraestructura no cuentan con análisis de riesgos. En tal sentido, autores como Beker (2012) afirman que los daños ocasionados por eventos inesperados en los sistemas de infraestructura están asociados directamente con la falta de análisis de riesgos a los cuales están expuestos. Mientras que desde la perspectiva de Bruneau et al. (2002) y Gallego y Essex (2016) los daños en los sistemas de infraestructura pueden minimizarse en diferentes contextos y tiempos, con una adecuada planificación en la que se integre los riesgos asociados al cambio climático.

5.1.1.2. Recursos

El componente recursos se conformó por 11 indicadores de resiliencia relacionados con la cantidad de observatorios, sistema de alerta temprana, plan de contingencia, plan de emergencia y recursos financieros (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Indicadores de recursos del sistema de infraestructura de agua potable.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN (P)	Z*P
Observatorios urbanos (Carrillo y Chetumal)	Entrevista, 2018	+	0	2	2	1.00	0.10	0.10
Estaciones meteorológicas (convencionales)	Entrevista, 2018	+	0	40	40	1.00	0.10	0.10
Monitoreo de trayectoria de huracanes (Plan de contingencia)	Entrevista, 2018	+	0	120	50	0.42	0.20	0.08
Mapa de localización de infraestructura estratégica (Plan de contingencia)	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.30	0.30
Número de personal capacitado para actuar ante una contingencia.	Entrevista, 2018	+	0	85	85	1.00	0.01	0.01
Sitios/zonas de captación	Entrevista, 2018	+	0	4	4	1.00	0.30	0.30
Cantidad de vehículos	Entrevista, 2018	+	0	150	30	0.20	0.01	0.00
Sistema de alerta temprana	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.03	0.03
Fondos para programas de prevención (federal, estatal y municipal)	PEF, 2018; Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.02	0.02
Plan de emergencias ante desastres.	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.02	0.02
Fondos para atención a emergencias (federal, estatal y municipal)	PEF, 2018; Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.01	0.01
0.98								

Fuente: elaborado con base en entrevistas, 2018.

De los 11 indicadores, aquellos que presentaron alta incidencia en la resiliencia del sistema estuvieron asociados al monitoreo de la trayectoria de huracanes, plano del sistema de agua potable y zonas de captación.

En relación al monitoreo de la trayectoria de huracanes se encontró que al paso de Dean se realizó de manera oportuna por parte de la “Comisión Nacional del Agua” y “Protección Civil”. Ante ello, señalaron los entrevistados que:

“Siempre que se detecta la presencia de un fenómeno meteorológico en las aguas del océano atlántico o mar caribe, que son las zonas ciclónicas que afectan el estado; desde que se forma se inicia el monitoreo y conforme la evolución del fenómeno, se dan avisos a los directores de protección civil estatal y municipal, como también al director de esta Comisión para que él pueda tener las herramientas para mantener informado a quien lo solicite (Alpuche, comunicación personal, abril 2018)”.

Para O’ Rourke (2007) además del monitoreo de los huracanes, uno de los factores relevantes para la comunicación efectiva de riesgos es el nombramiento de huracanes, que identifica y personaliza el peligro; señala que de esa manera se hace tangible y transparente para las personas que podrían estar en el camino de la destrucción. Además, menciona que las sociedades profesionales como son los colegios de ingenieros, arquitectos o en su caso aquellas organizaciones encargadas de trabajos especializados asociados con los impactos de los huracanes, pueden contribuir significativamente a la comunicación de riesgos.

Por otro lado, en relación al indicador “plano del sistema de infraestructura de agua potable”; se halló que se cuenta el plano de red del sistema así como de las zonas de capitación ubicadas en las localidades rurales del municipio. En opinión de servidores públicos contar con planos es prioritario, puesto que, una vez que las empresas constructoras entregan la obra y finaliza la fianza de vicios ocultos, no están obligados a realizar ningún tipo de reparación o mantenimiento en caso de que un sistema falle. Por lo tanto, la dependencia ejecutora (CAPA, Municipio) y en algunos casos la normativa (CONAGUA), son las encargadas de dar atención ante desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos.

Por su parte, Moor et al. (2015) enfatiza que contar con planos de localización de los sistemas de infraestructura permitirá dar atención de manera oportuna a las fallas que se presenten durante un desastre y a su vez se podrá evitar afectaciones

con efecto cascada en los elementos que componen el sistema o incluso a otros sistemas.

Finalmente, en relación al indicador de “zonas de captación” se encontró que el sistema de infraestructura de agua potable de la ciudad de Chetumal, al paso del huracán Dean, contaba con tres zonas ubicadas en localidades rurales del estado a 21 y 42 km de la capital. Sin embargo, dichas zonas, se unen en una misma línea de conducción en el kilómetro 21 de la carretera Bacalar- Chetumal, por lo tanto, en caso de que la tubería falle ante un desastre, quedaría interrumpido de manera total el abastecimiento del vital líquido de las zonas de captación. Puesto que la capital no cuenta con otra zona de captación ni con otra línea de conducción que permitan abastecer del vital líquido a los habitantes de la localidad urbana de Chetumal.

Para Gallego y Essex (2016) ese panorama está asociado a la falta de planificación por parte de especialistas, lo cual provoca la construcción de sistemas de infraestructura con falta de recursos y redundancia para responder ante desastres. Situación que hace evidente la interrelación que existe entre los componentes de resiliencia, puesto que la ausencia de recursos se relaciona directamente con la falta de redundancia en los sistemas.

Por su parte, el Centro Asiático de Preparación para Desastres (ADPC, 2014) sostiene que se necesitan más expertos como son: hidrólogos, especialistas en clima y gestores de riesgos; que comprendan el papel de la gestión de riesgos de desastres en la infraestructura y en los equipos de trabajo de proyectos; lo que concuerda con Moor et al. (2015) quienes señalan que los ingenieros deben estar capacitados para adoptar una perspectiva de sistemas durante el diseño y la planificación de la infraestructura. Añaden, que eso podría lograrse trabajando estrechamente con universidades o incluyendo requisitos adicionales de registro profesional. Puesto que los consultores calificados deben ser seleccionados para estudios de diseño de ingeniería y supervisión de obras, puesto que existen casos en que los daños causados por desastres se deben a diseños inadecuados o técnicas de construcción deficientes.

5.1.1.3. Funcionalidad

La funcionalidad se refiere al nivel de operación de un sistema de infraestructura ante un impacto. Por ello, los 11 indicadores de resiliencia considerados en este componente estuvieron asociados a las características de los huracanes, así como a la calidad y cantidad de servicio que es capaz de mantener el sistema cuando es afectado por un fenómeno (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Indicadores de funcionalidad del sistema de infraestructura de agua potable.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN (P)	Z*P
Velocidad del viento	CONAGUA, 2018	-	100	300	150	0.75	0.02	0.015
Presión central	CONAGUA, 2018	-	800	920	905	0.13	0.02	0.003
Amplitud de oleaje	CONAGUA, 2018	-	0	30	1.5	0.95	0.02	0.019
Altura de oleaje	CONAGUA, 2018	-	0	5.5	4	0.27	0.02	0.005
Marejada	CONAGUA, 2018	-	0.5	6	2.44	0.65	0.02	0.013
Intensidad de lluvia (precipitación)	CONAGUA, 2018	-	1	5	2	0.75	0.04	0.030
Duración de lluvia (precipitación)	CONAGUA, 2018	-	0	24	21	0.13	0.30	0.038
Profundidad/Altura de la (precipitación)	CONAGUA, 2018	-	1	500	168.9	0.66	0.02	0.013
Frecuencia de la precipitación	CONAGUA, 2026	-	5	500	155	0.70	0.30	0.209
Porcentaje de servicio ante el impacto	CONAGUA, 2018; CAPA, 2018; Entrevista, 2018	+	0	100	80	0.80	0.20	0.16
Calidad del servicio ante un impacto	CONAGUA, 2018; CAPA, 2018; Entrevista, 2018	+	0	3	2	0.67	0.01	0.01
0.51								

Fuente: elaborado con base en CONAGUA, 2018 y Entrevista, 2018.

Como puede observarse en la tabla anterior, los indicadores que presentaron mayor incidencia en la resiliencia fueron: la duración de la lluvia, su frecuencia y el porcentaje de servicio ante el impacto. El primero y el segundo, se asocian a las características particulares del fenómeno (huracán), además, que son los factores principales que ocasionan inundaciones y a la vez interrupciones en las vías públicas que no permite dar atención inmediata a las fallas del sistema de infraestructura ante un desastre.

Para el caso del huracán Dean, los entrevistados expresaron que a pesar de las interrupciones en las vialidades ocasionadas por las inundaciones, se logró dar atención oportuna a las fallas del sistema. Sin embargo, agregaron que por lo general las interrupciones en el sistema no son propias del mismo, sino que están relacionadas con las interrupciones del servicio de energía eléctrica, pues el sistema

de agua potable opera con base en energía eléctrica (Bardales y Tun, comunicación personal, 2018).

Lo expuesto por los servidores públicos concuerda con lo externado por los habitantes, puesto que el 89% señaló que únicamente se quedan sin servicio de agua potable cuando se interrumpe el servicio de energía eléctrica.

En opinión de O' Rourke (2007) el uso de energía eléctrica en las estaciones de bombeo de agua potable es indispensable en caso de desastre, ya que permite la operación de las mismas, y su falta de operatividad puede ocasionar daños en efecto cascada tanto en el sistema como en otros sistemas. En ese sentido, Gregory y Wm (2015) afirman que la electricidad y el agua son recursos críticos de los que depende la sociedad, además, que son identificados como derechos humanos, sin embargo, a pesar de ello, ambos tienen desafíos para realizar su entrega en condiciones normales y en caso de desastre.

Por otra parte, en relación al indicador “porcentaje de servicio ante el impacto” se encontró, que si bien, la interrupción al paso de Dean, fue del 100% dado que depende de la energía eléctrica, aun así, la ciudad solo estuvo sin servicio por aproximadamente cinco horas, puesto que la operación del sistema se reactivó a la par de la energía eléctrica, a la cual se le dio atención inmediata (Entrevistado 8, comunicación personal, junio 2018).

En ese sentido, Bruneau et al. (2003) y Gay (2016) revelan que el tiempo de recuperación de un sistema de infraestructura ante un desastre está relacionado con el nivel de resiliencia de los mismos, es decir, mientras menos tiempo lleve en recuperarse indica que el sistema tiene mayor resiliencia.

Por otro lado, con respecto al indicador “calidad del agua”, los usuarios destacaron que al paso del huracán Dean, el vital líquido contenía más color del acostumbrado, lo cual puede estar asociado a fugas en las líneas de conducción del sistema que permiten la entrada de partículas de tierra en la misma. Para poder conocer la percepción de los habitantes se les cuestionó ¿Cómo consideró usted la calidad del agua ante el impacto del huracán Dean? y señalaron lo siguiente (Tabla 5.4):

Tabla 5.4. Percepción sobre la calidad del agua

Calidad del agua	Frecuencia	%
Buena	9	3.08
Regular	55	18.83
Mala	197	67.46
No cuentan con el servicio	31	10.61
Total	292	100

Fuente: elaborado con base en encuesta, 2018.

Para Espinoza, Aguilar y Mazari (2010) para poder diagnosticar una alteración en la calidad del agua se requieren mediciones específicas de una sola característica como los metales pesados, compuestos orgánicos tóxicos o un cierto grupo de bacterias, en relación directa con el uso previsto. Autores como Beker (2012) mencionan que en caso de desastre, dicha situación puede ocasionar enfermedades estomacales que incluso se pueden llegar a convertirse en epidemias.

5.1.1.4. Redundancia

La redundancia se asocia a las capacidades de respuesta de los sistemas de infraestructura urbana ante un fenómeno. Por tanto, el componente se integró por 13 indicadores relacionados con la experiencia, gobernanza, capacidad de sustituciones técnica, entre otros (Tabla 5.5).

Tabla 5.5. Indicadores de redundancia del sistema de infraestructura de agua potable.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN (P)	Z*P
Capacidad de sustituciones técnicas	Entrevista CONAGUA, 2018; Entrevista CAPA, 2018	+	0	3	2	0.67	0.10	0.07
Energías alternas (Plantas de energía)	Entrevista CONAGUA, 2018; Entrevista CAPA, 2018	+	0	1	1	1.00	0.05	0.05
Capacidad de soluciones temporales	Entrevista CONAGUA, 2018; Entrevista CAPA, 2018	+	0	2	2	1.00	0.05	0.05
Sitios alternativos para abastecerse de agua potable (pueden ser sitios de almacenamiento como tanques elevados, etc.)	Entrevista CONAGUA, 2018; Entrevista CAPA, 2018	+	0	5	3	0.60	0.20	0.12
Población con conocimiento de los daños que pueden provocar los huracanes en el sistema de infraestructura de agua potable	Encuesta, 2018	+	0	100	35	0.35	0.05	0.02
Población que ha recibido capacitación sobre huracanes	Encuesta, 2018	+	0	100	32	0.32	0.05	0.02
Población que tienen conocimiento que es resiliencia en infraestructura	Encuesta, 2018	+	0	100	3	0.03	0.05	0.00
Servidores públicos que tienen conocimiento que es resiliencia en infraestructura	Encuesta, 2018	+	0	100	15	0.15	0.10	0.02
Buena Gobernanza	Encuesta, 2018	+	0	100	90	0.90	0.05	0.05
Flujos de información entre dependencias con injerencia en el funcionamiento del sistema de infraestructura de agua potable	Encuesta, 2018	+	0	100	85	0.85	0.15	0.13
Seguros de la infraestructura	Entrevista CAPA y CONAGUA, 2018	+	0	1	1	1.00	0.05	0.05
Alianzas de cooperación con otros estados	Entrevista CAPA y CONAGUA, 2018	+	0	32	3	0.09	0.05	0.00
Porcentaje de Participación comunitaria	Entrevista CAPA y CONAGUA, 2018	+	0	100	6	0.06	0.05	0.00
								0.29

Fuente: elaborado con base en entrevistas, 2018.

Como se puede observar, el indicador con mayor incidencia en la resiliencia del sistema fue los “sitios alternativos de abastecimiento de agua potable”, puesto que dentro de las características del componente de redundancia, se encuentra, contar con alternativas para que el sistema pueda continuar operando, y para ello, es primordial contar con el vital líquido, pues el objetivo del sistema es realizar la dotación del servicio de agua potable.

Al paso de Dean el sistema de infraestructura de agua potable contaba con cinco cárcamos de bombeo para almacenar el vital líquido. Sin embargo, no cuenta con otras zonas de extracción y como se mencionó en párrafos anteriores, solo se tiene una línea de conducción que llega a la capital, es decir, si dicha línea falla queda interrumpida de manera total la conducción de agua hacia los cárcamos.

No obstante, al paso de Dean, no se tuvo problemas en las zonas de captación, como tampoco con los sitios de almacenamiento (Bardales, comunicación personal, abril 2018).

Por su parte, los servidores públicos señalaron que se cuenta con la capacidad de sustituciones técnicas y soluciones temporales en caso de desastre, incluso para el caso de Dean se usó una planta eléctrica para poner en funcionamiento un cárcamo de bombeo. Sin embargo, a pesar de contar con energías alternas, se considera que la cantidad no resultaría suficiente en caso de una afectación mayor a la Dean (Entrevistado 2, comunicación personal, junio 2018).

Gallego y Essex (2016) y O' Rourke (2007) sostienen que la redundancia de los sistemas de infraestructura, se consigue creando infraestructuras con diversas alternativas de solución en caso de una falla, o sea, que tengan opciones para resolver las contrariedades que se presenten ante una afectación, de tal manera que pueda seguir operando en caso de desastre.

Al respecto, se encontró que ante el paso del fenómeno dado sus características de viento, oleaje y precipitación, el sistema se adaptó a las adversidades que trajo consigo, ya que funcionó durante y después del impacto.

La adaptación del sistema ante el paso de Dean, pudo estar asociada a que el 100% de entrevistados, vivieron la experiencia de un huracán previo a Dean; lo que les permitió crear capacidades de respuesta, generar experiencia sobre las acciones que a realizar en las diferentes etapas de la afectación del evento y dar atención de manera oportuna a los daños generados en el sistema. En ese sentido, Moor et al. (2015) afirman que los ingenieros, planificadores de emergencias, operadores, propietarios, reguladores, entre otros especialistas; deben aprender de la

experiencia y las fallas del pasado; así como establecer procesos para alentar la reflexividad, el aprendizaje, el diálogo entre científicos y formuladores de políticas, con la finalidad de que las políticas y los estándares de diseño reflejen la realidad del contexto.

En relación al indicador “flujos de información”, se encontró que existe un intercambio oportuno de información entre las dependencias con injerencia en el funcionamiento del sistema, puesto que tanto la dependencia normativa como la ejecutora, tienen conocimiento sobre las responsabilidades, instrumentos y planes con los que cuentan.

La implementación de flujos de información les permitió no realizar trabajos duplicados al paso de Dean. En ese sentido, Moor et al. (2015) recomienda el intercambio de información con la finalidad que se transmita rápidamente entre los administradores de sistemas de infraestructura, el personal y los usuarios.

Por otra parte, se cuenta con flujos de información internos en las dependencias, ya que todo el personal tiene sus funciones limitadas y establecidas. Al respecto, puesto que el líder cuenta con una amplia experiencia en la operación del sistema, así como ante afectaciones de huracanes; muestra de ello es que él se ha encargado de elaborar el “Plan estratégico en caso de huracán” y en la medida de lo posible lo va actualizando cada año, debido a las dinámicas de crecimiento urbano y por ende del sistema de infraestructura de agua potable. En dicho documento se establecen las acciones preventivas, los planes a realizar antes-durante-después del impacto, como organizarse para evaluar los daños, para restablecer el servicio, para el abastecimiento con pipas y para de manejo de material y alimentaciones (Tun, comunicación personal, junio 2018).

Para O' Rourke (2007) el liderazgo es, quizás, el factor más crítico para promover la resiliencia, y también el menos predecible. Sin embargo, menciona que los líderes efectivos requieren buenos consejos. Por lo tanto, agrega que la comunidad científica y de ingeniería debe estar preparada para comunicar información precisa y oportuna a los funcionarios gubernamentales.

Por su parte, Moor et al. (2015) considera que en caso de desastre se debe establecer un único punto de autoridad para coordinar los trabajos en los diversos sistemas de las urbes, para con ello poder examinar de manera oportuna los riesgos y las posibles fallas en cascada de los sistemas.

Con respecto al conocimiento sobre “resiliencia en la infraestructura” los servidores públicos señalaron que lo desconocen; y cuestionaron sobre el significado de mismo, para posteriormente mencionar lo siguiente:

“como tal la palabra resiliencia, no la consideramos, sin embargo, como dependencia si hemos realizado acciones que contribuyen a buscar que los sistemas puedan ser resilientes, pienso esto.... porque mira... dado los daños que se han presentado en el sistema, se ha buscado mejorar tanto en el diseño y los materiales de construcción, entonces, eso es buscar que los sistemas sean resilientes ¿no?” (Bardales, comunicación personal, febrero 2018).

En contraste con los usuarios, solo un 2% mencionó conocer la palabra. En ese sentido, Paz et al. (2017) externo que la falta de conocimiento de contextos y enfoques constructivos puede llevar a la construcción de infraestructuras que no sean aptas a las características particulares de cada espacio. Ante lo cual, Moor et al. (2015) sugiere que se debe mejorar la base de habilidades de desarrollo entre los consultores de ingeniería, así como las habilidades de supervisión de gestión, para poder construir infraestructuras con bases resilientes de acuerdo a su contexto.

5.1.1.5. Rapidez

El tiempo de recuperación de un sistema de infraestructura ante una perturbación es parte de la resiliencia. Por tanto, el componente de rapidez se conformó por cuatro indicadores, tres asociados al tiempo de recuperación y uno a la interdependencia de los sistemas (Tabla 5.6).

Tabla 5.6. Indicadores de rapidez del sistema de infraestructura de agua potable.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN (P)	Z*P
Tiempo de inactividad del sistema (horas)	Entrevista CONAGUA, 2018; Entrevista, CAPA, 2018; Encuesta, 2018	-	0	72	24	0.67	0.20	0.13
Tiempo entre el impacto y la recuperación temprana	Entrevista CONAGUA, 2018; Entrevista CAPA, 2018	+	0	24	5	0.21	0.20	0.04
Tiempo de restauración total del sistema	Entrevista CONAGUA, 2018; Entrevista CAPA, 2018	+	0	168	105	0.63	0.20	0.13
Interdependencia del sistema	Entrevista CONAGUA, 2018; Entrevista CAPA, 2018	-	0	5	2	0.60	0.20	0.12
								0.42

Fuente: elaborado con base en entrevistas, 2018.

En relación a los indicadores, tuvieron una incidencia similar en la resiliencia del componente, lo cual puede deberse a que los cuatro están asociados al tiempo de recuperación del sistema en diferentes contextos. En ese sentido, los entrevistados manifestaron que a pesar de las contrariedades del fenómeno, se puede decir que la localidad urbana de Chetumal, cuenta con un sistema adecuado para responder ante los efectos de un fenómeno con las características del huracán Dean. Puesto que, el sistema opero adecuadamente antes, durante y posterior al paso de dicho fenómeno (Tun y Bardales, comunicación personal, junio 2018).

De acuerdo a Labaka et al. (2016) el tiempo de recuperación de un sistema de infraestructura ante una perturbación es determinante en su resiliencia, puesto que la resiliencia es una propiedad que surge de las interacciones entre los elementos del sistema a lo largo del tiempo, en lugar de una propiedad de sus elementos individuales, es decir, la construcción de sistemas de infraestructura resilientes inicia antes de la afectación de un fenómeno, continua durante y posterior al impacto. Puesto que previo al impacto, el sistema debió ser construido con capacidades para poder dar respuesta a los fenómenos que se presentan en su contexto, mientras que al momento del impacto deja ver las capacidades que tiene para adaptarse ante las contrariedades generadas durante el evento y finalmente posterior al evento revela su rapidez para recuperarse, su capacidad de adaptación y la flexibilidad de transformación en caso de ser necesario.

Lo anterior concuerda con Paz, Méndez y Mukerji (2017) quienes argumentan que la resiliencia en un sistema es la combinación de las capacidades de absorción,

adaptación y transformación; es decir la construcción de resiliencia no se da en un solo paso como tampoco es única ni fragmentada.

Entonces, se puede decir que la rapidez con que el sistema se recuperó ante al paso del huracán Dean, estuvo asociada directamente con todos los componentes de resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable.

5.1.1.6. Transformación

Este componente se integró por cuatro indicadores de resiliencia relacionados con las acciones que se llevan a cabo posterior al impacto de un fenómeno perturbador (Tabla 5.7).

Tabla 5.7. Indicadores de capacidad de transformación del sistema de infraestructura de agua potable.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN (P)	Z*P
Mejoras en el sistema de gobernanza	Entrevista CAPA y CONAGUA, 2018	+	0	100	15	0.15	0.20	0.03
Desarrollo de capacidades de nuevos dominios de estabilidad en el sistema	Entrevista CAPA y CONAGUA, 2018	+	0	100	40	0.40	0.20	0.08
Propuestas de nuevas trayectorias de desarrollo del sistema	Entrevista CAPA y CONAGUA, 2018	+	0	100	30	0.30	0.20	0.06
Construcción de obras para un nuevo sistema	Entrevista CAPA y CONAGUA, 2018	+	0	100	15	0.15	0.20	0.03
								0.20

Fuente: elaborado con base a encuesta y entrevista, 2018.

Si bien, en la tabla anterior se muestra que al paso del huracán Dean el componente de transformación tuvo un valor de 0.20, este no se asoció al cambio fundamental de las características físicas del sistema sino a la mejora en la gobernanza y desarrollo de capacidades. Puesto la experiencia del huracán Dean les permitió actualizar su plano de zonas inundables y realizar ajustes en su plan estratégico ante huracanes en el cual se establecen roles y funciones del personal que opera ante las contingencias.

Para Gallego y Essex (2016) y Moor et al. (2015) establecer roles y responsabilidades en organizaciones contribuye para que las funciones no se superpongan, no exista competencia por recursos financieros y humanos, lo cual caracteriza a una buena gobernanza. Tomando esto en consideración se puede

decir que las particularidades de una buena gobernanza se hacen presentes al interior de la dependencia ejecutora y normativa.

En síntesis, los seis componentes se integraron para obtener el índice de resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable.

5.1.3. Índice de Resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable

Para la construcción del índice del sistema de infraestructura de agua potable se utilizó un total de 55 indicadores de resiliencia, distribuidos de manera variable en los componentes de robustez, recursos, funcionalidad, redundancia, rapidez, y transformación (Tabla 5.8).

Tabla 5.8. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable.

COMPONENTE	NÚMERO DE INDICADORES	FACTOR DEL INDICADOR	PONDERACIÓN	FIP
Robustez	12	0.66	0.20	0.132
Recursos	11	0.96	0.10	0.096
Funcionalidad	11	0.53	0.20	0.106
Redundancia	13	0.29	0.30	0.086
Rapidez	4	0.42	0.10	0.042
Transformación	4	0.20	0.10	0.190
	55			0.65

Fuente: elaborado con base a entrevistas y encuestas, 2018.

El valor de **0.65** del índice de resiliencia del sistema de infraestructura de agua potable indicó una resiliencia alta. Por lo tanto, se puede inferir que a pesar de que diversos indicadores no cumplen con el enfoque de resiliencia, si existe coherencia e integración de acciones por parte de las instituciones gubernamentales (ejecutora y normativa), que contribuyeron al desarrollo de capacidades de respuesta ante un fenómeno en cada uno de los componentes que integraron el índice de resiliencia. Esto coincide con Moor et al. (2015) quienes externan que las acciones por parte de las instituciones gubernamentales se asocian con una buena gobernanza, por lo que constan de la responsabilidad pública, la transparencia, las medidas anticorrupción y comprender e involucrarse con las perspectivas de resiliencia.

Sin embargo, a pesar de presentar resiliencia alta, aún existe trabajo por hacer para fortalecer las capacidades de aquellos componentes que no representaron factores

con incidencia alta en la resiliencia del sistema, como es la redundancia con un valor de 0.29, lo que hace evidente que el sistema de infraestructura de agua potable requiere fortalecer las capacidades de opciones alternativas, elecciones y sustituciones bajo estrés.

Para Moor et al. (2014) la redundancia puede ayudar a minimizar la vulnerabilidad, la exposición a los peligros y minimizar la gravedad de las consecuencias cuando se producen daños o fallas asociados a diversos fenómenos, además, contribuye para que el personal de emergencia pueda acceder a las áreas en un desastre y a que el sistema se recupere más rápidamente. Tomando esto en cuenta, se puede inferir que la redundancia es uno de los componentes más relevantes de los sistemas de infraestructura, por tanto, es necesario que los tomadores de decisiones se enfoquen en fortalecer la capacidad de redundancia del sistema de infraestructura de agua potable ante huracanes.

Por otra parte, los componentes con mayor incidencia en la resiliencia del sistema fueron: robustez y recursos. En relación al primero, a pesar haber tenido un valor alto, se identificó que los indicadores que no han permitido el logro total de la resiliencia se asociaron con la débil gobernabilidad.

Además, que en dicha etapa se integra el factor “falla segura”, lo cual permite que cuando un componente falla, lo haga progresivamente con una interrupción mínima en otras partes de la infraestructura y la red, para que el sistema no colapse y afecte la robustez del mismo (Bruneau et al. 2003). Esto coincide con Park et al. (2013) quienes indican que el fallo seguro implica aceptar el cambio, la imprevisibilidad y "controlar los modos de fallo" para minimizar las consecuencias más catastróficas.

En relación al componente “recursos” se puede inferir que el sistema contó con una adecuada capacidad de respuesta técnica, social y financiera; al paso de Dean, dado que tuvo el factor más alto de los seis componentes. En opinión de O’Rourke (2007) los recursos financieros son necesarios para la construcción y mantenimiento de la infraestructura. A diferencia de Bruneau et al. (2003) quienes definen a los recursos como la capacidad para identificar problemas, establecer prioridades y movilizarlos cuando existen condiciones que amenazan con alterar algún elemento,

sistema u otra unidad de análisis. Mientras que el ingenio lo conceptualizan como la capacidad de aplicar material (es decir, monetario, físico, tecnológico e informativo) y recursos humanos para cumplir con las prioridades establecidas y alcanzar los objetivos en caso de desastre.

5.2. EL SISTEMA DE INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE PLUVIAL

La presente sección corresponde a los resultados relacionados con el sistema de infraestructura pluvial.

5.2.1. Caracterización del sistema de infraestructura de drenaje pluvial

El sistema de infraestructura de drenaje pluvial inició su construcción en el año 1998, posterior a las inundaciones ocasionadas por el huracán Mitch; dentro de sus primeras obras que se realizaron estuvo el canal a cielo abierto de concreto armado de 2.0 kilómetros de longitud, que denominaron “el gran canal”. Su función fue y es actualmente, el desalojo de aguas pluviales a su destino final, que es a la llamada “Bahía de Chetumal” ubicada en la periferia de la traza urbana (Figura 5.3).

Figura 5.3. Primer colector de drenaje pluvial a cielo abierto.



Fuente: trabajo de campo.

Más adelante, dado las dinámicas de crecimiento y a la ausente conciencia de la población con respecto al destino final de los desechos sólidos; se plantearon estrategias para evitar la acumulación de basura proveniente de la vía pública al interior del canal, en la que estuvo, la construcción de 800 metros del área superior del mismo. Por lo tanto, actualmente solo tiene 1.2 kilómetros a cielo abierto.

Para el año 2002, ocurrió una inundación (asociada a lluvias atípicas) que afectó principalmente la zona urbana denominada “la Charca” ubicada en la colonia Framboyanes al oeste de la ciudad. Escenario que nuevamente puso a prueba la capacidad de desalojo de aguas pluviales de la capital. No obstante, el evento fue sobrellevado, sin existir ninguna transformación en el sistema de infraestructura pluvial.

Fue cuatro años después, para el 2004 que se realizó la construcción del primer colector cerrado de 5.0 km de longitud. Consecutivamente, en los años 2005, 2006 y 2007, se continuó con la ejecución de obras nuevas y de ampliaciones correspondientes al sistema de infraestructura de drenaje pluvial, y la ciudad llegó a tener un total de 30 000 kilómetros de colectores. Además, en ese mismo periodo, se ejecutó la construcción de 338 pozos de absorción, con la finalidad de complementar la infraestructura de colectores, para con ello tener una mejor capacidad de desalojo de aguas pluviales.

Seguidamente, para el año 2007, posterior al impacto del huracán Dean, se ejecutaron cuatro obras de ampliaciones, las cuales correspondieron a 10, 000 kilómetros de colectores cerrados y 400 pozos de absorción.

Más tarde, en el año 2012, se tuvo otra inundación asociada a las altas precipitaciones de 50 mm por hora en la ciudad capital (IMTA-CAPA, 2013). Dicho evento afectó el polígono del súper mercado de nombre “Soriana” ubicado al este del área urbana sobre la Avenida Constituyentes con Erick Paolo (Russel, comunicación personal, marzo 2018). Si bien, las afectaciones fueron relevantes, no provocó ninguna transformación en el sistema de infraestructura pluvial, pero, sí se implementaron medidas adaptativas que permitieron sobrellevar la inundación, en las que se puede mencionar el desazolve de colectores y pozos de absorción (IMTA-CAPA, 2013).

En octubre del 2015, se presentó otra inundación en la misma zona. Sin embargo, ese evento sí ocasionó cambios en la red del sistema de infraestructura de drenaje pluvial, pues se inició con la construcción de obras de ampliación de colectores

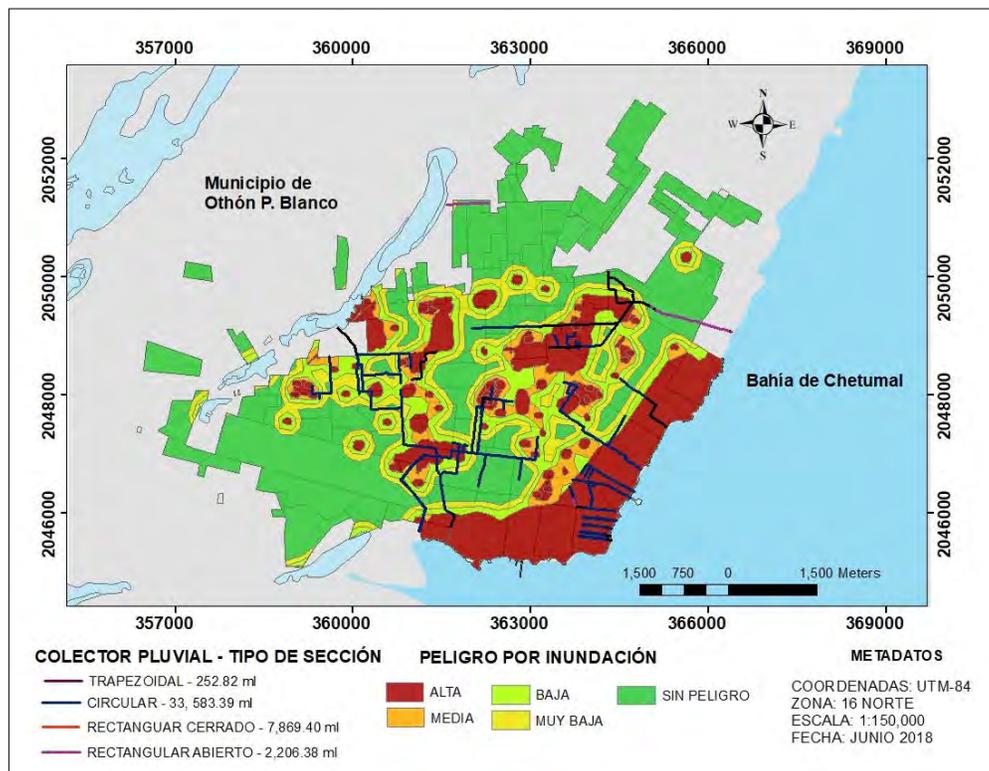
cerrados al norte y oeste de la traza urbana, donde se han ubicado los nuevos asentamientos humanos.

Derivado de las experiencias vividas asociadas a inundaciones, los siguientes años: 2016, 2017 y 2018, se continuó con la ejecución de obras de ampliación del sistema de infraestructura de drenaje pluvial, con la finalidad de dotar del mismo a todas las zonas del área urbana donde se demandó su construcción. Sin embargo, es relevante hacer mención que la ciudad capital no cuenta con un análisis de inundaciones de toda la mancha urbana en el cual se consideren factores geográficos, hidrológicos e hidráulicos, sociales, políticos y económicos para la creación de un plan de contingencia.

En resumen, el sistema de infraestructura de drenaje pluvial se conforma por 43,911.99 km de colectores (Figura 5.4); los cuales están distribuidos de la siguiente manera: 33,583.39 km son de forma circular y se encuentran ubicados geográficamente en la zona costera, centro y oeste del área urbana; 7,869.40 km corresponden a colectores rectangulares cerrados, ubicados al noreste. Mientras que 2,206.3 km son igual de forma rectangular abiertos, localizados en el área costera y norte de la ciudad, y por último, se tienen 252.82 km de colectores de forma trapezoidal (IMTA-CAPA, 2016).

Con relación a la disposición final de las aguas pluviales, la localidad urbana de Chetumal cuenta con dos zonas. La primera es el cuerpo de agua proveniente del Mar Caribe denominado “Bahía de Chetumal”. Mientras que la segunda es conocida por el nombre de “los humedales”.

Figura 5.4. Sistema de drenaje pluvial



Fuente: Tomado de Altas de riesgo de la ciudad de Chetumal (2011); INEGI (2016); CAPA, (2016; 2013).

Por otra parte, con base en estudios realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en conjunto con la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado; dio a conocer que la ciudad capital tiene una cobertura del 75% en el sistema de infraestructura urbana de drenaje pluvial; donde los colectores representan el 35% (CAPA, 2013: 34) y los pozos de absorción un 40% (IMTA-CAPA, 2013; IMTA-CAPA, 2016; Conagua, 2018; CAPA, 2018).

5.2.2. Percepción sobre la resiliencia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial ante el impacto del huracán Dean.

En esta sección se muestra los resultados obtenidos de la percepción de los entrevistados y encuestados sobre la resiliencia del sistema pluvial.

5.2.1.1. Robustez

La robustez buscó conocer el nivel de resistencia que presentó el sistema al paso del huracán Dean. Por ello, el componente fue integrado por nueve indicadores que

tienen incidencia en el logro de la robustez del sistema, los cuales estuvieron relacionados con la existencia y aplicación de normativas, planificación y diseño acorde al contexto urbano y años de vida útil de la infraestructura (Tabla 5.9).

Tabla 5.9. Indicadores de robustez del sistema de infraestructura pluvial.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Normativas y códigos de construcción actualizados a nivel local para zonas costeras (leyes, reglamentos y manuales)	Entrevista, 2018	+	0	2	1	0.50	0.20	0.10
Planificación y diseño de sistemas de infraestructura con falla segura.	Entrevista, 2018	+	0	2	1	0.50	0.03	0.02
Años de vida del sistema de infraestructura de drenaje pluvial	Entrevista, 2018	-	1	300	20	0.94	0.30	0.28
Kilómetros de de colectores del sistema de infraestructura pluvial	Entrevista, 2018	+	0	43911	43911	1.00	0.01	0.01
Sitios de destino final de aguas pluviales	Entrevista, 2018	+	0	2	2	1.00	0.03	0.03
Número de pozos	Entrevista, 2018	+	0	800	800	1.00	0.03	0.03
Plan de mantenimiento	Entrevista, 2018	+	0	3	2	0.67	0.30	0.20
Análisis de riesgo de los proyectos para la construcción	Entrevista, 2018	+	0	1	0	0.00	0.10	0.00
Cobertura de servicio del sistema de infraestructura pluvial en estado normal	Entrevista, 2018 ; INEGI, 2015	+	0	75	35	0.47	0.01	0.00
Total robustez							0.67	

Fuente: elaborado con base en entrevista, 2018.

De los nueve indicadores, se encontró que el correspondiente a “Normativas y códigos de construcción” presentó una situación similar a la que se expuso en el sistema de infraestructura de agua potable, puesto que también son implementados de manera parcial. Al respecto, los entrevistados mencionaron que como ejemplo de ello, se encuentra el caso de los pozos de absorción de aguas pluviales, puesto que se construyen bajo condiciones que no permiten su adecuado funcionamiento. Ante ello, expresaron:

“para la construcción de pozos no hay un análisis como tal, o sea, alguien hizo un pozo que se va el agua, lo replicamos.... por ejemplo, el otro día nos llegó una solicitud de autorización de un proyecto de esos, para el caso muy particular de Cozumel, el que no tenía un análisis del área de influencia, hasta donde pretende captar, cuál es la micro cuenca que va a captar, entonces, cómo sabe que ese diámetro va a ser capaz de absorber o al menos en cuánto tiempo está pretendiendo absorberla, ¿verdad?...como sabe que no necesita dos, tres... así, entonces, bajo esa descripción lamentablemente todos o la

gran mayoría de los pozos están hechos así, en esas mismas condiciones” (Bardales, comunicación personal, febrero 2018).

Lo anterior coincide con lo manifestado por los usuarios puesto que el 68% mencionó que el sistema de drenaje pluvial no funciona adecuadamente, ya que la ciudad a pesar de contar con dicho sistema, presenta inundaciones en la temporada de lluvias cada año. En contraste, el IMTA-CAPA (2016) indicaron que las principales causas que provocan inundaciones en Chetumal, están asociadas a la falta de mantenimiento del sistema pluvial, puesto que existe obstrucciones en los colectores ocasionadas por: grasas, trapos, plásticos, vidrios, raíces, arenas y piedras; lo cual impide el proceso de desalojo del agua pluvial (Figura 5.5).

Figura 5.5. Colector pluvial azolvado



Fuente: Trabajo de campo.

Al respecto, el Gobierno de Reino Unido (2016) ha señalado que el “mantenimiento deficiente” es un factor clave que contribuye a crear sistemas de infraestructura frágiles ante diversos tipos de amenazas.

Por otro lado, en relación al indicador “años de vida” se halló que al paso del huracán Dean, la infraestructura pluvial de la capital aún se encontraba en el rango de años de vida útil, pues para entonces la más antigua tenía nueve años de uso. Al respecto, Hallegatte (2009) y Shalizi y Lecocq (2009) sostienen que el rango de años de vida útil de los sistemas de infraestructura pluvial se encuentran entre 20 y 50 años; lo cual coincide con lo establecido en los manuales de construcción de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado, donde se establecen la misma cantidad de años de vida para colectores pluviales. No obstante, cabe señalar que también se plantean otros rangos de años de vida que van de acuerdo a las características particulares de cada elemento.

Tomando en cuenta lo señalado, se puede inferir que el inadecuado funcionamiento del sistema ante la afectación de Dean, no estuvo asociado al indicador “años de vida”, puesto que para el año 2007 el sistema se encontraba dentro del rango establecido por los autores referidos, además, que existen estudios realizados por el Instituto de Tecnología del Agua en coordinación con la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado, que han evidenciado que la acumulación de residuos sólidos en alcantarillas y colectores son una de las principales causas del inadecuado funcionamiento del sistema.

Por otro lado, con relación al indicador “plan de mantenimiento” el sistema de infraestructura de drenaje pluvial cuenta con el mismo; pero, dada las limitaciones de recursos económicos destinados cada año no se consigue proporcionarlo a todos los elementos que lo integran (Entrevistado 1, comunicación personal, marzo 2018). Situación que coincide con lo señalado por el Gobierno de Reino Unido (2016), pues relaciona el “mantenimiento deficiente” con la falta de recursos humanos, financieros o técnicos, y agregan que como consecuencias se pueden presentar fallas con efecto cascada en los sistemas de infraestructura, interrupciones diarias de un servicio o una significativa en caso de desastre.

Por su parte, Price Wáter House Coopers, (2010) y Cabinet Office (2011) afirman que es primordial la intervención de los reguladores económicos para la ejecución del mantenimiento en las infraestructuras, puesto que deben coordinar oportunamente para poder garantizar que los desafíos de adaptación al clima se tomen en cuenta en los planes de inversión y mantenimiento de los servicios públicos regulados. Mientras que Moor et al. (2015) enfatizan que los procesos de mantenimiento son esenciales para garantizar la robustez de la infraestructura. Además, los consideran útiles para recopilar y almacenar información sobre el rendimiento de la infraestructura, que a su vez proporciona la capacidad de aprender de fallas pasadas y la posibilidad de detectar deterioros tempranos.

5.2.1.2. Recursos

El componente recursos permite establecer prioridades y movilizar recursos cuando existen condiciones que amenazan con alterar algún elemento, sistema u otra unidad de análisis. Al considerar esto, el componente se integró por 11 indicadores relacionados con el plano de ubicación de zonas inundables y los componentes que integran el sistema de infraestructura de drenaje pluvial (Tabla 5.10).

Tabla 5.10. Indicadores de recursos del sistema de infraestructura pluvial.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Observatorios urbanos (Carrillo y Chetumal)	Entrevista, 2018	+	0	2	2	1.00	0.10	0.10
Estaciones meteorológicas (convencionales)	Entrevista, 2018	+	0	40	40	1.00	0.10	0.10
Monitoreo de trayectoria de huracanes (Plan de contingencia)	Entrevista, 2018	+	0	11	1	0.09	0.20	0.02
Mapa de localización de zonas inundables (Plan de contingencia)	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.30	0.30
Número de personal capacitado para actuar ante una contingencia	Entrevista, 2018	+	0	3500	85	0.02	0.10	0.00
Plan de emergencias ante desastres	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.02	0.02
Sistema de alerta temprana	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.03	0.03
Bombas sumergibles	Entrevista, 2018	+	0	15	15	1.00	0.07	0.07
Cantidad de vehículos	Entrevista, 2018	+	0	150	30	0.20	0.05	0.01
Fondos para programas de prevención (federal, estatal y municipal)	PEF, 2018;Entrevista, 2018	+	0	1	0	0.00	0.02	0.00
Fondos para atención a emergencias (federal, estatal y municipal)	PEF, 2018;Entrevista, 2018	+	0	1	0	0.00	0.01	0.00
Total recursos							0.65	

Fuente: elaborado con base a entrevista, 2018.

Como puede observarse el valor del factor recursos fue 0.65, del cual los indicadores con mayor incidencia fueron: plano de localización de zonas inundables y el monitoreo de la trayectoria de huracanes. El primero es de utilidad para ubicar

de manera oportuna las zonas que se inundan en caso de desastre, mientras que el monitoreo del fenómeno contribuye para conocer el grado de precipitación pluvial que trae consigo, para con ello poder tomar las medidas oportunas que contribuyan para mitigar daños.

Con relación al indicador “plano de localización de zonas inundables” se encontró que ante la afectación de Dean se contó tres, los cuales fueron elaborados por los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal. Al respecto, los entrevistados mencionaron que los planos fueron elaborados por personal de las mismas dependencias con base en el Plan de Desarrollo Urbano, puesto que les permitió identificar las zonas con suelo con mal drenaje y aquellas con pendientes pronunciadas; así como de acuerdo con la experiencia que se ha tenido sobre inundaciones al paso de los años.

Es conveniente señalar, que actualmente la localidad urbana de Chetumal sigue contando con tres: el primero forma parte del atlas de riesgo de Chetumal, el segundo elaborado por la dependencia normativa y el tercero realizado por el Instituto de Tecnología del Agua en coordinación con la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado; de los tres, el primero ya no es considerado una referencia para las dependencias encargadas de proporcionar atención a emergencias, puesto que no se ha actualizado desde hace ocho años; mientras que el segundo y el tercero son los que se ocupan como referencia en caso de desastre, puesto que son los más recientes y se continúan actualizando con base en el crecimiento urbano y a las afectaciones de los eventos hidrometeorológicos que se van presentando en los diferentes periodos de cada año.

Por su parte, el 55% de los usuarios manifestaron que desde hace 12 años tienen conocimiento acerca de que sus viviendas se ubican en zonas inundables, puesto que lo han corroborado con la experiencia de inundaciones.

En relación al indicador “monitoreo de huracanes” como ya se mencionó en el apartado del sistema de infraestructura de agua potable, es realizado de manera oportuna por parte de la Comisión Nacional del Agua y Protección Civil Municipal.

En síntesis, se puede decir que al paso del huracán Dean, el sistema de infraestructura pluvial contó con recursos tanto físicos, técnicos y sociales para dar atención oportuna, incluso la ciudad no tuvo zonas inundadas por más de tres horas (Russel, comunicación personal, junio 2018).

5.2.1.3. Funcionalidad

El componente funcionalidad buscó conocer el nivel de funcionamiento del sistema pluvial ante el impacto del huracán Dean y la influencia que tuvo en la resiliencia del mismo. Para ello, el componente se integró por 12 indicadores asociados a las características del fenómeno, al servicio del sistema y a la cultura de limpieza en vías públicas por parte de los usuarios (Tabla 5.11).

Tabla 5.11. Indicadores de funcionalidad del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Velocidad del viento	CONAGUA, 2018	-	100	250	130	0.80	0.02	0.016
Presión central	CONAGUA, 2018	-	800	920	905	0.13	0.01	0.001
Amplitud de oleaje	CONAGUA, 2018	-	0	30	1.5	0.95	0.01	0.010
Altura de oleaje	CONAGUA, 2018	-	0	5.5	4	0.27	0.02	0.005
Marejada	CONAGUA, 2018	-	0.5	6	2.44	0.65	0.02	0.013
Intensidad de lluvia	CONAGUA, 2018	-	1	5	2	0.75	0.04	0.030
Duración de lluvia	CONAGUA, 2018	-	0	24	21	0.13	0.30	0.038
Altura	CONAGUA, 2018	-	1	500	168.9	0.66	0.02	0.013
Frecuencia de la precipitación	CONAGUA, 2018	-	5	500	155	0.70	0.30	0.209
Porcentaje de servicio ante el impacto	CAPA, 2018;	+	0	100	10	0.10	0.01	0.00
Calidad del servicio ante un impacto	Entrevista, 2018; Encuesta, 2018	+	0	3	1	0.33	0.01	0.00
Cultura de limpieza en vías públicas (frentes-participación comunitaria)	Encuesta, 2018; Entrevista, 2018	+	0	100	10	0.10	0.05	0.01
Total de funcionalidad								0.36

Fuente: elaborado con base en datos de CONAGUA, 2018; entrevista, 2018 y encuesta, 2018.

En la tabla anterior se muestra que el valor del factor de la funcionalidad del sistema fue 0.36, y los indicadores que tuvieron mayor incidencia en el mismo estuvieron asociados a la duración y frecuencia de la precipitación. Al respecto, los entrevistados indicaron que el fenómeno no dejó notar el nivel de funcionalidad del todo, pues fue un huracán que no tuvo altas precipitaciones, además, dadas las características del evento (categoría 5), se realizaron los preparativos de emergencia por parte de la Comisión Nacional del Agua, la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado y Gobierno Municipal. Por tanto, se tuvo una respuesta oportuna ante la contingencia. En relación a ello, Russel expresó:

“En la ciudad si se tuvo inundaciones, quizá...la ciudad hubiera tardado inundada considerando la categoría del huracán, pero ayudo mucho que no

trajo mucha agua, aparte todo nuestro personal y el de la CAPA, nos coordinamos y nos encargamos de desalojar las zonas inundadas lo más rápido posible, pues ya las tenemos identificadas... más o menos como en tres horas ya habíamos retirado el agua” (Russel, comunicación personal, febrero 2018).

Ese contexto, hace evidente que el sistema de infraestructura pluvial requiere de factores externos para poder desalojar las aguas pluviales, pues si el huracán Dean tuvo precipitaciones considerablemente bajas (81 mm) y aun así se presentaron zonas inundadas, eso indicó que el funcionamiento del sistema no es el adecuado para el caso de un desastre provocado por un fenómeno con las características de Dean. En ese sentido, para González (2017), no existe un dato preciso que indique el nivel de servicio (funcionalidad) que logra tener el sistema de infraestructura pluvial ante un evento, pues diversos factores inciden en el mismo, como ejemplo se puede mencionar la “cultura de la población” con respecto al destino final de los desechos sólidos. En tal sentido, los entrevistados hicieron alusión que:

“la población...por más que ha visto que la basura es un problema que no permite que el agua de lluvia fluya en los pozos o en los colectores, no toma conciencia, y eso que en Chetumal hemos tenido ya varias experiencias de inundaciones” (Ángel, comunicación personal, noviembre 2017).

Desde otra perspectiva, señalaron:

“la población confunde el drenaje pluvial con el sanitario, destapan una alcantarilla o una coladera, piensan ellos que es de agua pluvial, pero son de aguas negras.... hay que saber identificar y hacer conciencia a la población que ellos mismos pueden contribuir a generar inundaciones, pues se les ha explicado en diferentes ocasiones, la diferencia...sin embargo, cuando llegamos a la verificación de zonas inundadas ya ocurrió nuevamente lo mismo” (Russel, comunicación personal, marzo 2018).

Lo anterior, concuerda con O’Rourke (2007) quien argumenta que la conciencia de la población es un factor que tiene repercusiones significativas en la recuperación

ante desastres, así como en la construcción de resiliencia en las infraestructuras, dado que en algunos casos, la población tiene alta incidencia en el logro de los objetivos para los que son diseñados los sistemas de infraestructura, como es el caso del sistema de infraestructura pluvial de la localidad urbana de Chetumal.

Además, que la conciencia y comprensión sobre la reducción del riesgo de desastres y la resiliencia como parte del diseño, operación y funcionamiento de las infraestructuras contribuye a disminuir su vulnerabilidad.

Por otra parte, Entrevistado 3 (2018) enfatizó que el inadecuado funcionamiento del sistema de infraestructura de drenaje pluvial, se debe a las características topográficas de la zona de estudio, y externó lo siguiente:

“la ciudad es prácticamente plana, las pendientes son mínimas, las diferencias de altura entre el punto de captación y el de descarga es muy leve, entonces, cuando el mar crece nos tapa lo que llamamos boca de tormenta o salidas de drenaje pluvial y si bien es cierto alcanza a salir, no alcanza a salir con la velocidad que se requiere, pues el agua es un impedimento... es un choque... es una barrera.... y colapsa los sistemas de drenaje pluvial o al menos disminuye su capacidad de desalojo” (Entrevistado 3, comunicación personal, marzo 2018).

Para Diez et al. (2011) la permeabilidad, las pendientes graduales o negativas, así como la acumulación de agua en las superficies libres, favorecen la infiltración del suelo y provocan, cuando la cantidad de agua es mayor que su capacidad de drenaje, su acumulación que puede considerarse una forma de inundación.

Por su parte, el personal del organismo operador de la infraestructura de colectores (CAPA) asocia el inadecuado funcionamiento del sistema a la capacidad del mismo, puesto que a su criterio se requiere ampliarlo, toda vez que el crecimiento de la ciudad ha superado su capacidad, situación que ha generado zonas con carencia de infraestructura y por ende vulnerables a inundaciones. Esto concuerda con lo externado por Diez et al. (2011), quienes consideran que las ciudades no han limitado su crecimiento, y los sistemas de protección contra inundaciones no se han

mantenido al mismo ritmo de desarrollo. Al respecto, autores como Baker (2012); Durand (2014); Russell y Obermaier (2014) deducen que dicha carencia, puede deberse a factores como: la falta de recursos, la falta de capacidad de los gobiernos locales, la urbanización bajo escalas informales y a la poca confiabilidad de gobiernos, organizaciones no gubernamentales y el sector privado para apostar sus inversiones en zonas de escasos recursos y donde se carece de una tenencia segura.

5.2.1.4. Redundancia

La redundancia permitió identificar la capacidad de alternativas que tienen el sistema pluvial para no interrumpir su funcionamiento ante las precipitaciones derivadas del huracán Dean.

El componente se integró por 13 indicadores asociados a la capacidad de sustituciones técnicas, buena gobernanza, alianzas y el conocimiento de servidores públicos y usuarios en relación a huracanes y al paradigma de resiliencia (Tabla 5.12).

Tabla 5.12. Indicadores de redundancia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Capacidad de sustituciones técnicas	Entrevista, 2018	+	0	3	1	0.33	0.20	0.07
Energías alternas (Plantas de energía)	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.10	0.10
Capacidad de soluciones temporales	Entrevista, 2018	+	0	2	1	0.50	0.10	0.05
Sitios alternativos para el desalojo de aguas pluviales	Entrevista, 2018	+	0	2	0	0.00	0.05	0.00
Seguros de la infraestructura	Entrevista, 2018	+	0	1	0	0.00	0.10	0.00
Alianzas de cooperación con otros estados	Entrevista, 2018	+	0	32	3	0.09	0.05	0.00
Buena gobernanza		+	0	100	70	0.70	0.05	0.04
Liderazgo	Entrevista, 2018	+	0	100	50.48	0.50	0.05	0.03
Flujos de información	Entrevista, 2018	+	0	100	30	0.30	0.05	0.02
Participación comunitaria	Encuesta, 2018	+	0	100	2	0.02	0.05	0.00
Población con experiencia de inundación asociada a huracanes.	Encuesta, 2018	+	0	100	88	0.88	0.05	0.04
Población que ha recibido capacitación sobre huracanes	Encuesta, 2018	+	0	100	32	0.32	0.05	0.02
Población que tienen conocimiento que es resiliencia en infraestructura	Encuesta, 2018	+	0	100	3	0.03	0.05	0.00
Servidores públicos que tienen conocimiento de resiliencia en infraestructura	Encuesta, 2018	+	0	100	15	0.15	0.05	0.01
Total de redundancia							0.37	

Fuente: elaborado con base en datos de entrevista y encuesta, 2018.

De los 13 indicadores aquellos con mayor incidencia en la resiliencia fueron: capacidad de sustituciones técnicas, energías alternas y seguros en la infraestructura.

En relación al indicador “capacidad de sustituciones técnicas” se halló que el sistema cuenta con una capacidad media de sustituciones técnicas. Sin embargo, al paso del huracán no se requirieron de las mismas, debido a que el sistema funciona por gravedad, además, que las afectaciones en el sistema estuvieron relacionadas con la obstrucción de rejillas por la acumulación de basura y la saturación de pozos. (Russel, comunicación personal, marzo 2018).

La saturación de pozos, se deriva del azolve de los mismos y de su funcionamiento de manera inversa, puesto que las aguas pluviales emergen a las vialidades y contribuyen en las inundaciones. En ese sentido, Diez et al. (2011) relaciona las inundaciones a una inadecuada planeación, pues enfatizan que no son considerados factores como la variabilidad del nivel del mar y el conocimiento de los territorios, los cuales pueden contribuir al diseño de sistemas de drenaje más holísticos de mitigación a inundaciones.

Po su parte, los usuarios coinciden con lo externado en el párrafo anterior, puesto que mencionaron que el mal funcionamiento del sistema pluvial se asocia al azolve de pozos y colectores (Tabla 5.13).

Tabla 5.13. Tipo de afectaciones al sistema de drenaje pluvial de Chetumal, México.

Tipo de afectaciones	Frecuencia	Porcentaje
Azolve de colectores	103	35.27
Azolve de pozos de absorción	77	26.36
Azolve de rejillas (bocas de tormenta)	112	38.35
Total	292	100

Fuente: información obtenida de encuestas, 2018.

Estos datos hacen evidente que los usuarios no tienen conciencia sobre la incidencia que tienen en el funcionamiento del sistema de infraestructura de drenaje pluvial, pues a pesar de identificar las problemáticas que se dieron ante la afectación del huracán Dean, no lograron asociar que las inundaciones no solo se deben a los

criterios de diseño del sistema pluvial, sino también a factores como son la recolección y destino final de los residuos sólidos. En contraste el 6% de usuarios responsabiliza al gobierno municipal de los residuos en las vías públicas, puesto que consideran de mala calidad el servicio de recolección de basura. En tal sentido un usuario, expresó:

“Nosotros sacamos la basura los días que pasa el camión recolector, creo...son dos o tres días a la semana, pero no la recolectan toda, o en ocasiones no pasa el camión y ahí se queda la basura por días, a veces con suerte pasa al siguiente día y sino los animales callejeros...los gatos, los perros, destruyen las bolsas y dejan la basura regada en las calles y no todos los vecinos la vuelven a recoger (encuestado 1, comunicación personal, mayo 2018)”

Ese contexto hace evidente, la falta de participación ciudadana e involucramiento en las mejoras de su espacio urbano. Al respecto, la participación ciudadana ha sido reconocida como un factor clave para el logro de la resiliencia de los sistemas de infraestructuras (O’Rourke, 2007).

De igual manera, se identificó, que si bien la población no puede intervenir directamente en la sustitución de capacidades técnicas del sistema de drenaje pluvial, pueden intervenir indirectamente por medio de acciones que contribuyan a no interrumpir el funcionamiento y evitar que el sistema colapse (Tabla 5.14).

Tabla 5.14. Acciones implementadas por la población.

Acciones	Frecuencia	%
Limpieza de frente de vivienda	77	28.08
Limpieza de colonia	13	4.45
Captación de agua pluvial	6	0.34
Ninguna	196	67.12
Total	292	100

Fuente: elaborado con base a encuestas.

Los resultados de la tabla anterior corroboran la falta de conciencia ciudadana sobre su incidencia en el funcionamiento del sistema de infraestructura pluvial, pues un

67% del total de encuestados no realizan ninguna acción para contribuir al adecuado funcionamiento del sistema de infraestructura pluvial.

En relación al indicador “energías alternas” se encontró que el sistema de infraestructura de drenaje pluvial funciona por gravedad, por tanto, no requiere de energía alterna para operar. Sin embargo, cabe mencionar que dado el nivel de funcionamiento del sistema ante el desastre, demandó factores externos como son equipos de bombeo para ayudar a drenar el agua pluvial hacia los colectores, los cuales funcionan con energía eléctrica; entonces, se puede decir que existe una interdependencia indirecta con el sistema eléctrico.

Por otra parte, el sistema de infraestructura pluvial no cuenta con “seguros de protección ante desastres”, en relación a ello los entrevistados señalaron que:

“...sería de gran ayuda contar con seguros en los sistemas de infraestructura, pues se daría una atención de manera oportuna cuando afectan huracanes o lluvias, además, que se podría evitar dar soluciones provisionales a las fallas del sistema, porque luego se convierten en soluciones definitivas (entrevistado 7, comunicación personal, junio 2018)”.

En relación a los seguros, se han reconocido como una posible oportunidad económica para adaptar la infraestructura al cambio climático; puesto que su provisión puede promover la resiliencia climática, reduciendo el riesgo de daños y asegurando tasas de retorno (HMGovernment, 2011). Al respecto, se puede mencionar que en países como Canadá, Australia, Estados Unidos y Reino Unido es requisito que en sus planes de protección de infraestructuras justifiquen y comprueben las acciones que implementarán ante los efectos ocasionados por el cambio climático, dentro de las cuales se encuentran “los seguros en la infraestructura” (Gallego y Essex, 2016).

En cuanto al indicador “flujos de información”, O’Rourke (2007) y Gallego y Essex (2016) lo mencionan como principio de relevancia para el logro de sistemas de infraestructura resiliente; sin embargo, presentó un valor bajo de incidencia en la resiliencia del sistema pluvial, lo cual indica que el intercambio de información entre

los involucrados en el diseño, construcción y operación del sistema no se realizó de manera oportuna.

Por su parte, Moor et al. (2015) lo reconoce como una propiedad de resiliencia, pues consideran que debe existir el intercambio de información entre los administradores de los sistemas de infraestructura, el personal y los usuarios; así como a través de múltiples agencias y sistemas de infraestructura; con la finalidad de contar con el conocimiento sobre las fortalezas y vulnerabilidades que posee el sistema.

En particular en la zona de estudio, para el diseño del sistema de drenaje pluvial, se toman en cuenta los históricos de precipitaciones obtenidos de las estaciones meteorológicas de la Conagua, los estudios hidrológicos realizados por IMTA-CAPA sobre periodos de retorno y las especificaciones establecidas en los Manuales de Agua Potable y Saneamiento emitidos por la Conagua, los cuales son actualizados cada año.

Rapidez

La rapidez se integró por cuatro indicadores asociados a los tiempos de recuperación del sistema de infraestructura (Tabla 5.15).

Tabla 5.15. Indicadores de rapidez del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Tiempo de inactividad del sistema (horas)	Entrevista, 2018	-	0	72	8	0.89	0.20	0.18
Tiempo entre el impacto y la recuperación temprana	Entrevista, 2018	-	0	24	3	0.88	0.20	0.18
Tiempo de restauración total del sistema	Entrevista, 2018	-	0	24	3	0.88	0.20	0.18
Interdependencia del sistema	Entrevista, 2018	-	0	5	1	0.80	0.30	0.24
							Total rapidez	0.77

Fuente: elaborado con información de entrevista, 2018.

En el componente rapidez, el indicador considerado con más incidencia en la resiliencia; fue la interdependencia del sistema, dicho indicador ha sido señalado como aquel, que puede ocasionar la interrupción de un sistema y fallas con efecto cascada con otros sistemas. Al respecto, los entrevistados señalaron que consideran que al momento de un desastre el sistema de electricidad es importante pues no cuentan con suficientes plantas de energía eléctrica y para realizar el

desalojo de aguas por medio de bombeo se requiere de electricidad (Russel, comunicación personal, junio 2018).

Sin embargo, se encontró que el sistema de infraestructura de drenaje pluvial no tiene interdependencia directa con ningún otro sistema, pues las aguas negras y pluviales son desalojadas en sistemas independientes, además el desalojo de aguas pluviales es por medio de gravedad, por lo tanto, no requiere de energía eléctrica para operar, es decir, no tiene interdependencia directa con el sistema de infraestructura eléctrica. En contraste Ness (2006) sostiene que los recursos clave y los servicios de agua, electrónica y telecomunicaciones presentan interdependencia con la infraestructura energética, además de ser esenciales para sostener el desarrollo de una sociedad moderna.

En opinión de Yusta, Correa y Lacal (2011) destacan que ante una emergencia, los responsables de la toma de decisiones deben comprender las interdependencias en y de la infraestructura; pues la falta de conocimiento conducirá a respuestas ineficaces y falta de coordinación entre las organizaciones que toman decisiones y los grupos responsables de rescate, recuperación y restauración.

Ahora, con respecto al tiempo de recuperación ante el impacto del huracán Dean; se halló que el sistema de infraestructura pluvial tuvo una recuperación temprana de aproximadamente tres horas (Russel, comunicación personal, junio 2018). En contraste, el 73% de los encuestados manifestaron que el sistema pluvial se recupera en menos de un día y el 22% de la población indicó que de uno a dos días (Tabla 5.16); estos resultados pueden estar asociados a las características de cada zona en las que se presentó la inundación, pues en algunas de ellas el funcionamiento de la infraestructura pluvial es óptimo, es decir, no requiere de desalojo de agua por bombeo.

Tabla 5.16. Tiempo de recuperación del sistema.

Tiempo en días	Frecuencia	%
Menos de 1	214	73.28
1	57	19.52
2	16	5.47
3	5	1.71
5	0	0
Total	292	100

Fuente: elaborado con información de encuestas

A criterio de Brenau et al. (2003) y Gay (2016) los sistemas de infraestructura tienen una adecuada capacidad de recuperación cuando el sistema vuelve a operar en el menor tiempo posible, sin embargo, no lo especifican en horas, días, semanas u otros.

Asimismo, es conveniente señalar que la rapidez de recuperación del sistema, está asociada de manera directa con las habilidades de gestión de los encargados de realizar las tareas para la pronta recuperación del mismo; lo que forma parte de la buena gobernanza, pues es la que implica definir responsabilidades con la finalidad que se realicen de manera oportuna, no se dupliquen y se ocupen los recursos humanos y financieros de manera eficiente (Moor *et al.*, 2015).

Transformación

Un sistema tiene una transformación cuando se vuelve insostenible en caso de desastre. El componente de transformación se conformó por cuatro indicadores (Tabla 5.17).

Tabla 5.17. Indicadores de transformación del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Mejoras en el sistema de gobernanza	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	0	0.00	0.20	0.00
Desarrollo de capacidades de nuevos dominios de estabilidad en el sistema	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	10	0.10	0.20	0.02
Propuestas de nuevas trayectorias de desarrollo del sistema	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	0	0.00	0.20	0.00
Construcción de obras para un nuevo sistema	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	0	0.00	0.20	0.00
Total transformación							0.02	

Fuente: elaborado con base en información de entrevista, 2018.

Como se puede ver en la tabla anterior, solo el indicador relacionado con el desarrollo de capacidades, tuvo modificaciones posteriores a Dean. Al respecto, se encontró que se realizaron adecuaciones al plan de acción ante desastres, debido a que se detectó que el sistema requirió de apoyo por bombeo para concluir con el desalojo del agua pluvial en las zonas con mayor afectación; por ello se actualizó en dicho plan el número de personal para atender inundaciones.

Lo anterior coincide con lo planteado por Walker et al. (2004) quienes enfatizan que la capacidad de transformación tiene que ver con las acciones que se modifiquen posterior al paso de un fenómeno perturbador.

5.2.2. Índice de Resiliencia del Sistema de infraestructura de Drenaje Pluvial

El índice de resiliencia del sistema pluvial se conformó por 53 indicadores distribuidos de manera variable en los componentes de robustez, recursos, funcionalidad, redundancia, rapidez, y transformación (Tabla 5.18).

Tabla 5.18. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial.

COMPONENTE	NÚMERO DE INDICADORES	FACTOR DEL INDICADOR	PONDERACIÓN	ID*P
Robustez	9	0.67	0.25	0.17
Recursos	11	0.65	0.20	0.13
Funcionalidad	12	0.36	0.10	0.04
Redundancia	13	0.37	0.25	0.09
Rapidez	4	0.77	0.10	0.08
Transformación	4	0.00	0.10	0.00
	53			0.50

Fuente: elaborado con información de entrevistas y encuestas, 2018.

El valor (0.50) del índice indica baja resiliencia en el sistema de infraestructura de drenaje pluvial; estuvo asociado a los indicadores: años de vida, normativas, manuales y a la intervención tanto de la población como de los servidores públicos

con injerencia en el sistema, los cuales forman parte de los componentes: robustez, recursos y redundancia.

El resultado obtenido hizo evidente que es necesario fortalecer las capacidades físicas y sociales del sistema e integrar la participación gobierno-sociedad, para que la intervención y el fortalecimiento de la resiliencia sean constante en el tiempo; toda vez que las perturbaciones que afectan a las ciudades se manifiestan de distintas formas, de acuerdo a los contextos y el tiempo, por tanto, se considera que la resiliencia es un concepto evolutivo, es decir, se requiere una construcción continua, no única ni fragmentada. Además, se hace necesario el estudio de manera continua de los factores que tienen injerencia en el sistema del drenaje pluvial, con el objetivo de contar con elementos para fortalecer las capacidades de resiliencia acordes a los contextos que se vayan presentando a través del tiempo.

5.3. EL SISTEMA DE INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE SANITARIO

En esta sección se exponen los resultados referentes al sistema de infraestructura de drenaje sanitario.

5.3.1. Caracterización del sistema de infraestructura de drenaje sanitario

En las primeras áreas de crecimiento de la localidad urbana de Chetumal, el desalojo de aguas negras inicio y continúa realizándose por medio de fosas sépticas y pozos negros. En ese sentido, de acuerdo a la investigación realizada por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos y con base en estimaciones de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (1998) solo el 5% del total de las viviendas con ese sistema de desalojo cuentan con una fosa séptica diseñada de acuerdo a las especificaciones de manuales de construcción.

En cuanto al sistema de infraestructura de drenaje sanitario inició su construcción a mediados de los años noventa con la propuesta del proyecto ejecutivo para el emisor y el sistema de tratamiento de la ciudad de Chetumal, Edo. de Quintana Roo.

Posteriormente, para el año 1998 se efectuó la dotación de infraestructura sanitaria (conexiones domiciliarias y planta de tratamiento) en la colonia FOVISSTE VI, la cual representó un 2.75% y el resto de la población continuó con el sistema de

desalojo de aguas negras a través de fosas sépticas y pozos negros (CEPEP, 1998).

Los avances en la construcción de infraestructura sanitaria, corresponden aproximadamente a dos décadas, en las cuales únicamente se ha dado atención a las nuevas zonas urbanizadas, mientras que las áreas creadas previas a los años noventa continúan con el desalojo por medio de fosas sépticas y pozos negros.

Actualmente, el sistema de alcantarillado de la capital se conforma por dos tipos: el convencional y por vacío. El primero cuenta con un registro menor del 50% de la infraestructura de la red sanitaria. Se conforma por un total de 210.05 km de colectores, 803 pozos de visita y 16 cárcamos de aguas residuales que conducen las aguas negras entre ellos por medio de gravedad, y tienen como punto final la planta Centenario.

Por su parte, el sistema de infraestructura de drenaje sanitario por vacío se conforma por la planta A y B. La primera se ubica en la colonia centro, Av. Francisco I. Madero entre las calles Carmen Ocho de Merino y 22 de enero. Dicha planta recolecta las aguas residuales por medio de tuberías de PVC de 10" de diámetro de la parte este y oeste de la zona baja de ciudad. Asimismo, cuenta con infraestructura de dos tanques colectores de 12.5 m³, que tienen como función recolectar el agua residual para posteriormente ser desalojadas por medio de 4 bombas de descarga al drenaje.

Mientras que la planta de vacío B se localiza en la Av. Reforma, entre Álvaro Obregón e Ignacio Zaragoza en la colonia Plutarco Elías Calles, la cual tiene como función recibir tres líneas de vacío de 10" de diámetro de Policloruro de Vinilo (PVC). Se conforma por seis equipos de bombeo de capacidad de 15 hp y cuatro bombas de descarga de 20 hp. El sistema opera con base en energía eléctrica de un transformador de 150 KVA.

5.3.2. Percepción de la resiliencia del sistema de infraestructura urbana de drenaje sanitario ante el huracán Dean

En este apartado con base en las entrevistas y encuestas se expone la percepción de los servidores públicos y usuarios sobre la resiliencia del sistema de infraestructura sanitaria ante el impacto del huracán Dean.

5.3.2.1. Robustez

Para conocer la capacidad de resistencia del sistema de infraestructura sanitaria el componente de robustez se integró por 10 indicadores relacionados con normativas, infraestructura del sistema, análisis de riesgo, mantenimiento y cobertura del servicio (5.19).

Tabla 5.19. Indicadores de robustez del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.

INDICADORES	FUENTE	CATEGORIA/ NIDAD	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Normativas y códigos de construcción	Entrevista, 2018	0: No existe	+	0	2	1	0.50	0.20	0.10
Planificación y diseño con falla segura	Entrevista, 2018	0: No aplica	+	0	2	1	0.50	0.04	0.02
Años de vida del sistema	Entrevista, 2018	Años	-	1	300	16	0.95	0.20	0.19
Kilómetros de colectores	Entrevista, 2018	km	+	0	210.05	210.05	1.00	0.01	0.01
Cárcamos de aguas residuales	Entrevista, 2018	Cantidad	+	0	16	16	1.00	0.03	0.03
Plantas de vacío	Entrevista, 2018	Cantidad	+	0	2	2	1.00	0.01	0.01
Plantas de tratamiento de aguas	Entrevista, 2018		+	0	2	2	1.00	0.20	0.20
Plan de mantenimiento	Entrevista, 2018	0: No existe	+	0	3	2	0.67	0.20	0.13
Análisis de riesgo del sistema	Entrevista, 2018	0: No se realiza	+	0	1	0	0.00	0.10	0.00
Cobertura de servicio del sistema en estado normal	Entrevista, 2018 ; INEGI, 2015	Porcentaje	+	0	45	20	0.44	0.01	0.00
Total de robustez								0.70	

Fuente: elaborado con información de entrevista, 2018.

En relación a los indicadores, se observó que aquellos con mayor incidencia en la resiliencia coincidieron con los del sistema de infraestructura de agua potable y drenaje pluvial (normativas, códigos de construcción, diseño con falla segura y plan de mantenimiento).

En el indicador “normativas y códigos de construcción” se encontró que dado la implementación parcial de los instrumentos que guían la adecuada ejecución de los proyectos; el sistema de infraestructura sanitaria presenta inconvenientes en su funcionamiento como es el rebosamiento de cárcamos y plantas de tratamiento. Situación que pueda estar asociada a los inadecuados métodos constructivos y al

diseño no acorde al crecimiento de la población. En ese sentido, los entrevistados señalaron que debido a que las aguas negras son rebombeadas a una sola planta de tratamiento, ocasiona problemas de operatividad en la misma, puesto que el agua proveniente de los cárcamos supera su capacidad (Bardales, comunicación personal, marzo 2018).

Por tanto, al superar su capacidad se presenta el rebosamiento de aguas negras, las cuales cuando existen inundaciones se mezclan con las pluviales sin el previo tratamiento, y son desalojadas por el sistema de infraestructura pluvial (colectores y pozos de absorción). Escenario que conlleva a tener probabilidades de contaminación del subsuelo y sin duda contribuye en la salud de los habitantes. Al respecto, la CEPEP (1998) ha reconocido que en la capital existen problemas de rebosamiento de aguas residuales en casas-habitación.

Lo anterior es ratificado por Romero (2012) y Castillo (2006) quienes han enfatizado que la falta de cobertura de infraestructura sanitaria conlleva a la contaminación del manto freático y del cuerpo de agua denominado “Bahía de Chetumal”.

Además, el 86% de los usuarios señaló que los cárcamos de bombeo de aguas negras tienen un mal funcionamiento que en ocasiones llega a ocasionarles malestares de salud como son dolores de cabeza, puesto que la mayoría de los días generan malos olores. Añaden, que el sistema sanitario ante el paso del huracán Dean operó de la misma manera, pues por lo general los malos olores permanecen en la mayoría de los meses del año.

Ahora, en relación al indicador “plantas de tratamiento”, la localidad urbana de Chetumal cuenta con dos. Ante ello, los entrevistados expresaron que es urgente dar atención a las problemáticas del sistema de infraestructura de drenaje sanitario, puesto que los rebosamientos en las plantas de tratamiento son actualmente una problemática. Situación que puede empeorar puesto que dichos rebosamientos se presentan con mayor frecuencia; lo cual lo relacionan con el crecimiento constante de la población y la falta de mantenimiento oportuno que sin duda influye en su operatividad. Al respecto, señalaron:

“la planta tiene problemas con su operatividad, falta de mantenimiento, los equipos están malos, están asentados en una zona inundable, se echan a perder los equipos eléctricos, se dañan todas las infraestructuras, o sea, está mal en verdad, se le está invirtiendo recursos a la planta, este... pero, tenemos además bajos niveles de cobertura, tenemos excesivos bombeos, excesivos bombeos de todos lados para una sola planta (Entrevistado 3, comunicación personal, marzo 2018)”.

Lo anterior muestra que el sistema de infraestructura sanitaria carece de mantenimiento; diversos autores (por ejemplo: Moor et al., 2015 y Gallego y Essex, 2016) lo han reconocido como un factor que contribuye en los años de vida útil y operatividad de los sistemas de infraestructura. Esto concuerda con lo planteado por Labaka, Hernantes y Sarriegi (2016) quienes sostienen que no es suficiente con que una infraestructura este bien diseñada y construida, sino también debe realizarse periódicamente actividades de mantenimiento de alta calidad para garantizar un alto nivel de fiabilidad. Añaden que tener un buen nivel de mantenimiento ayuda a resistir los incidentes y también reduce la magnitud del impacto y el tiempo de recuperación de los sistemas de infraestructura.

En cuanto al indicador “años de vida” se halló que la red más antigua del sistema de infraestructura sanitaria al paso del huracán Dean, tenía nueve años de uso, y en la literatura se establece de 20 a 300 años (Giordano, 2012); de acuerdo con esto se puede decir que la infraestructura sanitaria se encontraba dentro del rango de años de vida útil cuando sufrió el impacto de Dean.

A criterio de Hallegatte, Shalizi y Lecocq (2009; citados por Giordano, 2012) conocer la capacidad de años de vida útil es un factor relevante para construir infraestructuras resilientes; además, que es de utilidad para la toma de decisiones de inversión, diseño, operación, fortalecimiento y mantenimiento de los mismos.

5.3.2.2. Recursos

Con este componente se buscó identificar los recursos físicos, humanos y financiero con los que conto el sistema de infraestructura sanitaria ente el paso de Dean. Por

ello, el componente recursos se conformó por 10 indicadores relacionados con observatorios, estaciones meteorológicas, monitoreo de huracanes, entre otros (Tabla 5.20).

Tabla 5.20. Indicadores de recursos del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Observatorios urbanos (Carrillo y Chetumal)	Entrevista, 2018	+	0	2	2	1.00	0.10	0.10
Estaciones meteorológicas (convencionales)	Entrevista, 2018	+	0	40	40	1.00	0.10	0.10
Monitoreo de trayectoria de huracanes (Plan de contingencia)	Entrevista, 2018	+	0	120	50	0.42	0.20	0.08
Mapa de localización de infraestructura	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.30	0.30
Personal capacitado para actuar ante una contingencia	Entrevista, 2018	+	0	15	15	1.00	0.10	0.10
Plan de emergencias ante desastres	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.04	0.04
Sistema de alerta temprana	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.03	0.03
Número de vehículos	Entrevista, 2018	+	0	8	8	1.00	0.05	0.05
Fondos para programas de prevención (federal, estatal y municipal)	PEF, 2018;Entrevista, 2018	+	0	1	0	0.00	0.05	0.00
Fondos para atención a emergencias (federal, estatal y municipal)	PEF, 2018;Entrevista, 2018	+	0	1	0	0.00	0.03	0.00
Total recursos							0.80	

Fuente: elaborado con información de entrevista, 2018.

Del total de indicadores que integraron el componente los de mayor incidencia en la resiliencia, concuerdan con los sistemas descritos anteriormente, pues el mayor valor ponderado recae en el monitoreo de huracanes y plano de localización de la infraestructura, posteriormente, se encuentran los observatorios urbanos, estaciones meteorológicas y personal capacitado.

En cuanto al indicador “monitoreo de huracanes” como ya se mencionó fue realizado de manera oportuna y se proporcionó la información a las instancias pertinentes.

Ahora, en relación al plano del sistema de infraestructura de drenaje sanitario, se encontró que se contó con el mismo. Sin embargo, no está actualizado, puesto que cuando se construyen nuevas zonas de infraestructura de drenaje no se realiza inmediatamente la actualización en el plano general. Al respecto, los entrevistados señalaron que esa situación sucede con frecuencia, puesto que no cuentan con personal para realizar ese tipo de funciones, y son los ingenieros que se encargan de verificar la ejecución de trabajos los quienes también se encargan de la actualización del plano general (Entrevistado 6, comunicación personal, junio 2018).

En opinión de Turoff et al. (2009) la falta de información o de planes previamente establecidos cuando ocurre un evento inesperado, ocasiona inconvenientes para el manejo de la situación, puesto que las decisiones tomadas por los gerentes de crisis son subjetivas e involucran un número limitado de alternativas que dependen del conocimiento del experto y de las experiencias pasadas.

5.3.2.3. Funcionalidad

El componente de funcionalidad se conformó por 11 indicadores relacionados con las características particulares de un fenómeno, con su calidad y nivel de funcionamiento (5.21).

Tabla 5.21. Indicadores de funcionalidad del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Velocidad del viento	CONAGUA, 2018	-	100	300	150	0.75	0.08	0.060
Presión central	CONAGUA, 2018	-	800	920	905	0.13	0.01	0.001
Amplitud de oleaje	CONAGUA, 2018	-	0	30	1.5	0.95	0.01	0.010
Altura de oleaje	CONAGUA, 2018	-	0	5.5	4	0.27	0.02	0.005
Marejada	CONAGUA, 2018	-	0.5	6	2.44	0.65	0.02	0.013
Intensidad de lluvia	CONAGUA, 2018	-	1	5	2	0.75	0.04	0.030
Duración de lluvia	CONAGUA, 2018	-	0	24	21	0.13	0.30	0.038
Altura	CONAGUA, 2018	-	1	500	168.9	0.66	0.02	0.013
Frecuencia de la precipitación	CONAGUA, 2018	-	5	500	155	0.70	0.30	0.209
Porcentaje de servicio ante el impacto	CAPA, 2018;	+	0	45	30	0.67	0.10	0.07
Calidad del servicio ante un impacto	Entrevista, 2018 Encuesta, 2018	+	0	3	1	0.33	0.10	0.03
Total funcionalidad							0.48	

Fuente: elaborado con información de entrevista, 2018.

Del total de indicadores igual que en los sistemas anteriores los de más peso se asocian a las características del evento (frecuencia y duración de la lluvia), lo que puede deberse a que de ellos depende el porcentaje y la calidad del servicio.

En relación a los indicadores “intensidad de la lluvia, duración y frecuencia” como se ha mencionado a lo largo del trabajo el huracán Dean no tuvo una intensidad alta, por tanto, no tuvo afectaciones en el sistema. Sin embargo, cabe señalar que el sistema presentó inconvenientes pero relacionadas a su capacidad con respecto a la población, lo cual a su vez provoco que las aguas negras se mezclen con las pluviales y contaminen el cuerpo de agua de la bahía. Al respecto, los entrevistados señalaron:

“...ya es frecuente la mezcla de aguas negras y pluviales, y no necesariamente cuando ocurre una inundación o huracán...ya que existe la posibilidad que haya conexiones domiciliarias a colectores de drenaje pluvial, si vas a verificar las salidas pluviales de la bahía... puedes comprobarlo... (Entrevistado 8, comunicación personal, junio 2018).

Lo expuesto en los párrafos anteriores reafirma que el funcionamiento del sistema de infraestructura sanitaria, estuvo relacionado con el diseño del mismo y no con las características del evento.

5.3.2.4. Redundancia

El componente redundancia busco conocer la capacidad de adaptación del sistema ante el impacto de huracanes, por tanto se integró por 14 indicadores asociados a las capacidades de adaptación física y social del sistema.

Tabla 5.22. Indicadores de redundancia del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Capacidad de sustituciones técnicas	Entrevista, 2018	+	0	3	1	0.33	0.20	0.07
Energías alternas (Plantas de energía)	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.10	0.10
Capacidad de soluciones temporales	Entrevista, 2018	+	0	2	1	0.50	0.10	0.05
Sitios alternativos para el desalojo de aguas sanitarias	Entrevista, 2018	+	0	2	0	0.00	0.05	0.00
Seguro de la infraestructura	Entrevista, 2018	+	0	1	0	0.00	0.10	0.00
Alianzas de cooperación con otros estados	Entrevista, 2018	+	0	32	3	0.09	0.05	0.00
Buena gobernanza	Entrevista, 2018	+	0	100	20	0.20	0.05	0.01
Liderazgo	Entrevista, 2018	+	0	100	40	0.40	0.05	0.02
Flujos de información	Entrevista, 2018	+	0	100	30	0.30	0.05	0.02
Participación comunitaria	Encuesta, 2018	+	0	100	2	0.02	0.05	0.00
Población con experiencia asociada a huracanes	Encuesta, 2018	+	0	100	88	0.88	0.05	0.04
Población que ha recibido capacitación acerca de huracanes	Encuesta, 2018	+	0	100	32	0.32	0.05	0.02
Población con conocimiento del paradigma "resiliencia"	Encuesta, 2018	+	0	100	3	0.03	0.05	0.00
Servidores públicos con conocimiento sobre resiliencia en infraestructura	Encuesta, 2018	+	0	100	5	0.05	0.05	0.00
Total redundancia							0.33	

Fuente: elaborado con información de entrevista, 2018.

Como se puede apreciar en la tabla el valor del factor de redundancia fue bajo (0.33), mismo que indica que el sistema sanitario no cuenta con las suficientes capacidades de adaptación física, falta de gobernanza, conciencia y conocimiento sobre el paradigma de resiliencia.

En relación a la fila de ponderación de la tabla 5.22, se puede observar que los valores más altos recaen en los indicadores que tienen relación directa con la parte física del sistema sanitario, mientras que los indicadores relacionados con el estado y la sociedad presentan valores bajos. Esto hace evidente que los gestores de los sistemas de infraestructura apuestan la capacidad de adaptación del sistema de sanitario a los elementos físicos y no a los sociales; sin embargo, para la construcción de infraestructura resiliente ambos elementos son de importancia.

En ese sentido Rourke (2007) menciona que la integración de variables físicas y sociales permitirá comprender la “resiliencia” y construir infraestructuras con enfoque resiliente.

5.3.2.5. Rapidez

El componente de rapidez busco conocer el tiempo de recuperación del sistema ante el paso del huracán Dean. Por ello, se integró con cuatro indicadores afines al tiempo de recuperación del sistema (Tabla 5.23).

Tabla 5.23. Indicadores de rapidez del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Tiempo de inactividad del sistema (horas)	Entrevista, 2018	-	0	120	5	0.96	0.20	0.19
Tiempo entre el impacto y la recuperación temprana	Entrevista, 2018	-	0	48	48	0.00	0.20	0.00
Tiempo de restauración total del sistema	Entrevista, 2018	-	0	120	24	0.80	0.20	0.16
Interdependencia del sistema	Entrevista, 2018	-	0	4	1	0.75	0.30	0.23
Total rapidez								0.58

Fuente: elaborado con información de entrevista, 2018.

El valor del factor de rapidez (0.58), indicó una capacidad media de recuperación del sistema. Mientras que los indicadores tuvieron incidencia similar para la resiliencia, sobresaliendo la interdependencia del sistema y el tiempo de inactividad del mismo.

El sistema de infraestructura sanitaria ante el paso de Dean tuvo y continúa teniendo interdependencia directa con el sistema de energía eléctrica, puesto que

el funcionamiento de cárcamos y plantas de tratamiento es a través de energía eléctrica.

Ante lo señalado, los servidores públicos expresaron que si bien el sistema depende de energía eléctrica para funcionar, ante el paso de Dean la interrupción duro aproximadamente dos horas, por tanto no afectó la infraestructura sanitaria, pues la reactivación de la operación de los componentes, se dio a la par de la energía eléctrica. En ese sentido Rourke (2007) relaciona el buen funcionamiento de los sistemas de infraestructura ante un desastre con un buen suministro de energía eléctrica, enfatizando que los sistemas de infraestructura requieren de la misma para su buena operación.

5.3.2.6. Transformación

El componente transformación se integró por cuatro componentes (Tabla 5.24).

Tabla 5.24. Indicadores de transformación del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Actualización en el sistema de gobernanza	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	5	0.05	0.20	0.01
Capacidades de nuevos dominios de estabilidad en el sistema	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	0	0.00	0.20	0.00
Nuevas trayectorias de desarrollo del sistema	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	0	0.00	0.20	0.00
Obras para un nuevo sistema	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	0	0.00	0.20	0.00
Total transformación								0.01

Fuente: elaborado con información de entrevista, 2018.

En relación a los indicadores de transformación, se encontró que no se realizó ninguna modificación ni física ni documental en el sistema de infraestructura urbana.

5.3.3. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura urbana de drenaje sanitario

El índice del sistema de infraestructura sanitaria e conforme por 53 indicadores, distribuidos de manera variable en los seis componentes de resiliencia (5.25).

Tabla 5.25. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura de drenaje sanitario.

COMPONENTE	NÚMERO DE INDICADORES	FACTOR DEL INDICADOR	PONDERACIÓN	ID*P
Robustez	10	0.70	0.25	0.17
Recursos	10	0.80	0.20	0.16
Funcionalidad	11	0.48	0.10	0.05
Redundancia	14	0.37	0.25	0.09
Rapidez	4	0.58	0.10	0.06
Transformación	4	0.01	0.10	0.00
	53			0.53

Fuente: elaborado con información de entrevista, 2018.

El valor del índice (0.53) indica una resiliencia media en el sistema de infraestructura de drenaje sanitario. Los resultados estuvieron asociados al inadecuado funcionamiento y capacidad de los componentes del sistema, mismos que se relacionan con la inadecua planeación y diseño acorde al contexto social, físico y geográfico de la zona de estudio.

5.4. EL SISTEMA DE INFRAESTRUCTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En esta sección se presenta los resultados de manera particular del sistema de infraestructura eléctrica.

5.4.1. Caracterización del sistema de infraestructura eléctrica

En la localidad urbana de Chetumal, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), comienza a operar en el año 1959 con dos unidades y una capacidad total de 680 Kw. Para 1981 se logró instalar 52 generadores de combustión interna y un año más tarde se registraron ocho turbogas con los cuales se abasteció a la entidad (Sierra, 1993:292).

Para el año 1999, se tuvo 68,407 de usuarios, de los cuales el 87.2% eran de tipo residencial e ingresó el 30.2% de las ventas de energía eléctrica en la ciudad (Castillo, 2006).

En el 2005 se tuvo un total de 68,407 usuarios, de los cuales 362 son de tipo industrial, 59,677 de tipo residencial, 7,568 de tipo comercial, 239 de tipo agrícola, 353 para alumbrado público, 194 para bombeo de agua potable y aguas negras, y 14 para riego de temporal (INEGI, 2000; PDU, 2018).

Actualmente el sistema de infraestructura eléctrica se conforma por una subestación ubicada al sur en la localidad de Xul-Há; de ahí parten dos líneas de alta tensión, con dirección general al este, hacia Chetumal, pasando al norte de la localidad de Huay-Pix, y del Parque Industrial; las cuales llegan a las alrededores del cuerpo de agua denominado “La Sabana”; de ahí el trazo se divide, y una línea continua rectilínea, cruza La Sabana para llegar a la subestación situada al poniente de la Col. Lagunitas. Mientras que la segunda línea de alta tensión, continua hacia el noreste, formando una diagonal paralela a La Sabana, aproximadamente a una distancia de 1 Km del punto donde cambia de dirección, parte un ramal, que atravesando La Sabana, se dirige también hacia la subestación antes mencionada; para posteriormente cambiar de dirección y pasar lateralmente al norte de las colonias Nueva Progreso y Tamalcab, y al sur de los fraccionamientos Bicentenario y Nueva Generación, punto a partir del cual ingresa definitivamente dentro del área urbana.

Posteriormente, en el ángulo suroeste del Fracc. Sian Ka'an I, por detrás del supermercado Chedraui Multiplaza, la línea de alta tensión cambia de rumbo hacia el sur, hasta alcanzar las instalaciones de la subestación eléctrica norte, situada en Av. Machuxac, casi esquina Av. Constituyentes del 74.

5.4.2. Percepción de la resiliencia del sistema de infraestructura urbana de electricidad ante el huracán Dean

Este apartado corresponde a la percepción de los usuarios con respecto a la resiliencia del sistema de infraestructura eléctrica.

5.4.2.1. Robustez

El componente de robustez se integró por ocho indicadores relacionados con normativas y los componentes físicos del sistema (Tabla 5.26).

Tabla 5.26. Indicadores de robustez del sistema de infraestructura eléctrica.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Normativas y códigos de construcción	PDU, 2018	+	0	5	5	1.00	0.20	0.20
Planificación y diseño con falla segura	Entrevista, 2018	+	0	2	2	1.00	0.10	0.10
Años de vida del sistema	Sierra, 1993	-	1	200	25	0.88	0.20	0.18
Subestaciones eléctricas	PDU, 2018	+	0	4	4	1.00	0.10	0.10
Transformadores	PDU, 2018	+	0	16	16	1.00	0.10	0.10
Red eléctrica	Entrevista, 2018	+	0	4750	4750	1.00	0.10	0.10
Análisis de riesgo del sistema	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.10	0.10
Cobertura de servicio del sistema en estado normal	INEGI, 2015	+	0	100	98	0.98	0.10	0.10
Total de robustez								0.97

Fuente: elaborado con información documental, 2018 y entrevista, 2018.

Los indicadores de mayor relevancia fueron normativas y códigos de construcción y los años de vida útil del sistema. En relación al primero se encontró que existen normativas actualizadas y apego a las mismas, puesto que existen informes que evidencian su cumplimiento. En tal sentido autores como O'Rourke (2007), señala como indicador relevante las normativas y códigos de construcción en sistemas de infraestructura.

Por su parte, en relación a los años de vida del sistema se encontró que se realiza el cambio de componentes de manera oportuna, cuando estos ya han cumplido sus años de vida útil, además, que el mantenimiento se lleva a cabo frecuentemente. Al respecto, los entrevistados señalaron que se tienen un control de los componentes del sistema con la finalidad de que no se sobrepase el uso de su vida útil, añaden, que la vida útil de los proyectos de infraestructura eléctrica es de 30 años, después de ese tiempo se considera que la infraestructura no aporta beneficios. Por lo tanto, se realiza la sustitución de los mismos (CFE, 2019).

5.4.2.2. Recursos

Este componente tuvo como objetivo identificar los diversos recursos con los que cuenta el sistema. Para ello, se integró por 10 indicadores (Tabla 5.27).

Tabla 5.27. Indicadores de recursos del sistema de infraestructura eléctrica.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	PONDERACIÓN	Z*P
Observatorios urbanos (Carrillo y Chetumal)	Entrevista, 2018	+	0	2	2	1.00	0.10	0.10
Estaciones meteorológicas (convencionales)	Entrevista, 2018	+	0	40	40	1.00	0.10	0.10
Monitoreo de trayectoria de huracanes (Plan de contingencia)	Entrevista, 2018	+	0	11	11	1.00	0.20	0.20
Mapa de localización de infraestructura	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.30	0.30
Personal capacitado para actuar ante una contingencia	Entrevista, 2018	+	0	40	40	1.00	0.10	0.10
Plan de emergencias ante desastres	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.04	0.04
Sistema de alerta temprana	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.03	0.03
Número de vehículos	Entrevista, 2018	+	0	20	20	1.00	0.05	0.05
Fondos para prevención	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.05	0.05
Fondos para atención a emergencias	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.03	0.03
Total recursos							1.00	

Fuente: elaborado con información documental, 2018 y entrevista, 2018.

En relación al componente recursos se encontró que en la ciudad de Chetumal la CFE cuenta con los apropiados para dar atención ante desastres. Además, al ser una empresa de propiedad del Gobierno Federal tiene el apoyo de otros estados en caso que la catástrofe supere los recursos de la capital. Para Gallego y Essex (2016) los recursos permiten agilizar la atención en caso de desastre, añaden que garantizan una recuperación oportuna.

5.4.2.3. Funcionalidad

El componente funcionalidad se integró por 11 indicadores (Tabla 5.28).

Tabla 5.28. Indicadores de funcionalidad del sistema de infraestructura eléctrica.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Velocidad del viento	CONAGUA, 2018	-	100	250	130	0.80	0.20	0.160
Presión central	CONAGUA, 2018	-	800	920	905	0.13	0.03	0.004
Amplitud de oleaje	CONAGUA, 2018	-	0	30	1.5	0.95	0.01	0.010
Altura de oleaje	CONAGUA, 2018	-	0	5.5	4	0.27	0.02	0.005
Marejada	CONAGUA, 2018	-	0.5	6	2.44	0.65	0.02	0.013
Intensidad de lluvia	CONAGUA, 2018	-	1	5	2	0.75	0.10	0.075
Duración de lluvia	CONAGUA, 2018	-	0	24	21	0.13	0.20	0.025
Altura	CONAGUA, 2018	-	1	500	168.9	0.66	0.02	0.013
Frecuencia de la precipitación	CONAGUA, 2018	-	5	500	155	0.70	0.20	0.139
Porcentaje de servicio ante el impacto	Entrevista, 2018; Encuesta, 2018	+	0	100	98	0.98	0.10	0.10
Calidad del servicio ante un impacto	Entrevista, 2018; Encuesta, 2018	+	0	3	3	1.00	0.10	0.10
Total funcionalidad							0.67	

Fuente: elaborado con información documental, 2018 y entrevista, 2018.

En relación a los indicadores el de mayor impacto en el sistema fue la velocidad del viento, puesto que en la mayor parte de la ciudad el sistema eléctrico es aéreo, y la mayor afectación se ve en los postes de concreto y cableado. Sin embargo, en

opinión de los entrevistados y usuarios, los daños físicos de la red eléctrica ante desastres es mínima, dado que en su mayoría el impacto en la misma está relacionado con cortos en el sistema. Al respecto, O'Rourke (2007) señala que los cortos en el sistema eléctrico tienen incidencia en otros sistemas de las ciudades como es el sistema de agua potable.

5.4.2.4. Redundancia

El componente redundancia estuvo conformado por 13 indicadores (Tabla 5.29).

Tabla 5.29. Indicadores de redundancia del sistema de infraestructura eléctrica.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Capacidad de sustituciones técnicas	Entrevista, 2018	+	0	3	3	1.00	0.20	0.20
Energías alternas (Plantas de energía)	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.10	0.10
Capacidad de soluciones temporales	Entrevista, 2018	+	0	2	2	1.00	0.10	0.10
Sitios alternativos para abastecerse de energía	Entrevista, 2018	+	0	2	2	1.00	0.10	0.10
Seguro de la infraestructura	Entrevista, 2018	+	0	1	1	1.00	0.10	0.10
Alianzas de cooperación con otros estados	Entrevista, 2018	+	0	32	32	1.00	0.05	0.05
Buena gobernanza	Entrevista, 2018	+	0	100	70	0.70	0.05	0.04
Liderazgo	Entrevista, 2018	+	0	100	95	0.95	0.05	0.05
Flujos de información	Entrevista, 2018	+	0	100	100	1.00	0.05	0.05
Participación comunitaria	Encuesta, 2018	+	0	100	0	0.00	0.05	0.00
Población con experiencia asociada a huracanes	Encuesta, 2018	+	0	100	88	0.88	0.05	0.04
Población que ha recibido capacitación acerca de huracanes	Encuesta, 2018	+	0	100	32	0.32	0.05	0.02
Población con conocimiento del paradigma "resiliencia"	Encuesta, 2018	+	0	100	3	0.03	0.05	0.00
Total redundancia							0.84	

Fuente: elaborado con información documental, 2018 y entrevista, 2018.

El indicador de mayor relevancia estuvo asociado a la capacidad de sustituciones técnicas. Al respecto, en opinión de los entrevistados se cuenta con los reemplazos suficientes para dar atención ante un desastre. Incluso, los usuarios señalaron que la reactivación del servicio eléctrico no tarda más de una hora cuando se presenta una catástrofe.

Autores como Labaka et al. (2016) han revelado que contar con la capacidad de sustituciones técnicas en el sistema eléctrico es considerado estratégico puesto que coinciden con lo que señala O' Rourke (2007), que es un sistema con interdependencia directa con otros sistemas.

5.4.2.5. Rapidez

El componente de rapidez se integró por cuatro indicadores relacionados con el tiempo de recuperación del sistema eléctrico y la interdependencia del mismo (tabla 5.30).

Tabla 5.30. Indicadores de rapidez del sistema de infraestructura eléctrica.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Tiempo de inactividad del sistema (horas)	Entrevista, 2018	-	0	24	5	0.79	0.25	0.20
Tiempo entre el impacto y la recuperación temprana	Entrevista, 2018	+	0	24	4	0.83	0.20	0.17
Tiempo de restauración total del sistema	Entrevista, 2018	+	0	24	24	0.00	0.25	0.00
Interdependencia del sistema	Entrevista, 2018	-	0	4	4	0.00	0.30	0.00
Total rapidez								0.36

Fuente: elaborado con información documental, 2018 y entrevista, 2018.

En relación a los indicadores de rapidez, si bien, la CFE establece un periodo de tiempo de recuperación ante un desastre en promedio de 24 horas. El sistema de la capital se logra recuperar en menos del tiempo establecido. Ante ello, los entrevistados y usuarios coinciden que el tiempo de recuperación del sistema es de 1 a 4 horas.

5.4.2.6. Transformación

Tabla 5.31. Indicadores de transformación del sistema de infraestructura eléctrica.

INDICADORES	FUENTE	RELACIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR (X)	VALOR (Z)	PONDERACIÓN	Z*P
Actualización en el sistema de gobernanza	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	50	0.50	0.30	0.15
Capacidades de nuevos dominios de estabilidad en el sistema	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	85	0.85	0.25	0.21
Nuevas trayectorias de desarrollo del sistema	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	75	0.75	0.20	0.15
Obras para un nuevo sistema	Entrevista, 2018	Positiva	0	100	15	0.15	0.25	0.04
Total transformación								0.55

Fuente: elaborado con información documental, 2018 y entrevista, 2018.

5.4.3. Índice de resiliencia del sistema de infraestructura eléctrica

El índice de eléctrico se conformó por 51 indicadores (Tabla 5.32).

Tabla 5.32. Indicadores de transformación del sistema de infraestructura eléctrica.

COMPONENTE	NÚMERO DE INDICADORES	FACTOR DEL INDICADOR	PONDERACIÓN	ID*P
Robustez	8	0.97	0.25	0.24
Recursos	10	1.00	0.20	0.20
Funcionalidad	11	0.67	0.10	0.07
Redundancia	14	0.37	0.25	0.09
Rapidez	4	0.36	0.10	0.04
Transformación	4	0.55	0.10	0.06
	51			0.69

Fuente: elaborado con información documental, 2018 y entrevista, 2018

VI. CONCLUSIONES

Lo expuesto en el desarrollo del trabajo permitió llegar a las siguientes conclusiones:

La planificación y diseño de sistemas de infraestructura en los espacios urbanos costeros requieren de un enfoque sistémico y deben gestionarse con vista a reducir el riesgo y promover la resiliencia ante los desastres.

La construcción de los sistemas de infraestructura urbana, si bien están relacionados con la demanda por servicios básicos, el contexto que ha influido en su evolución ha estado relacionado en cierta medida con las afectaciones de fenómenos hidrometeorológicos que han sucedido a lo largo de su historia; y esto a su vez a las características físico-geográficas de la urbe, puesto que en su planificación y diseño no han considerado del todo las características del espacio urbano en el cual se han construido. Incluso, no han sido proyectados de acuerdo al crecimiento de la población, muestra de ello es que se han sobrecargado afectando su funcionamiento ante desastres.

Por tanto, se puede decir que los sistemas de infraestructura de la localidad urbana de Chetumal carecen de un adecuada planeación y diseño acorde a sus características sociales, físicas y geográficas.

Por otra parte, existe una alta percepción de los encuestados y entrevistados sobre las afectaciones en los sistemas de infraestructura urbana asociadas a desastres por huracanes. Sin embargo, los usuarios a pesar de conocer las problemáticas que se presentan en los sistemas que están incidiendo en su respuesta ante desastres y por ende en su resiliencia, sus acciones no son acordes a su conocimiento sobre los riesgos, pues no consideran que sus intervenciones contribuyan para el logro de sistemas de infraestructura resilientes.

Entonces, en relación a los usuarios sus acciones no contribuyen a mitigar los riesgos ni a fortalecer la resiliencia. Mientras que la de los entrevistados se considera regular, debido a que se han realizado acciones de mejora en sus

instrumentos internos para dar atención oportuna a los sistemas de infraestructura urbana ante desastres.

Pero, la parte física de los sistemas de infraestructura no se les ha dado la atención oportuna por parte del estado, puesto que solo se les ha proporcionado soluciones temporales.

Por otra parte, con respecto a la discusión que existe en el ámbito científico para cuantificar y evaluar la resiliencia de sistemas de infraestructura, se centra en la falta de elementos que permitan la integración de variables cualitativas y cuantitativas para su cuantificación. Situación que se debe a que los métodos de cuantificación han sido abordados por el campo ingenieril, específicamente por ingenieros que se han centrado en los elementos físicos de los sistemas; en contraste las ciencias sociales han puntualizado los estudios como parte de la resiliencia urbana sin tomar en cuenta la parte física.

Existe un puente entre las ciencias exactas y sociales que se debe complementar para poder integrar las dimensiones o componentes que permitan la cuantificación de la resiliencia integrando la parte física y social que tienen injerencia en la construcción de la resiliencia. En relación a esto, en el presente trabajo se plantearon los componentes de robustez, recursos, funcionalidad, redundancia, rapidez y transformación; mismos que permitieron la integración de variables cuantitativas y cualitativas; cabe señalar que los componentes e indicadores definidos no pretenden ser limitativos puesto que para su implementación deberán realizar los ajustes pertinentes de acuerdo a los contextos de la zona donde se requiera implementar.

En cuanto a la resiliencia, esta se presenta en todos los sistemas de infraestructura urbana, pero en diferentes niveles; estos resultados evidenciaron en todos los sistemas la necesidad de realizar acciones para fortalecer las capacidades físicas y sociales e integrar la participación gobierno-sociedad de los sistemas.

La integración gobierno-sociedad es un factor determinante para el logro de la resiliencia en los sistemas de infraestructura, puesto que el fortalecimiento de la misma debe ser constante en el tiempo y acorde a los diferentes contextos que se presenten, esto al considerar que la resiliencia no sólo contempla resistir al fenómeno, sino también una transformación, un aprendizaje y un crecimiento; es decir, la resiliencia en un sistema es evolutiva. Por lo tanto, requiere una construcción continua, no única ni fragmentada.

El paradigma de resiliencia ha sido útil para identificar los componentes e indicadores que contribuyen a la creación de infraestructuras resilientes. Además, de conocer los beneficios que se puede tener en los sistemas de infraestructura si se considera la resiliencia ante eventos climáticos en el diseño, construcción y operación de los sistemas.

Por otra parte, cabe señalar que el estudio se centró en la evaluación de la resiliencia ante un fenómeno (Dean) con características particulares, y no ante diversos escenarios, lo cual es un factor relevante que contribuye para la construcción de infraestructuras resilientes.

Por último, la investigación se realizó considerando la injerencia que tiene el estado (políticas públicas e instituciones involucradas) y los usuarios en la construcción de la resiliencia de los sistemas, y no se abordó el papel de las empresas constructoras, a pesar de ser un factor fundamental para la integración del paradigma de resiliencia en los sistemas de infraestructura, pues ellos son los que se encargan del diseño y construcción de los mismos.

Referencias

- Adaszko, D., & Salvia, A. (2010). Déficit de acceso a servicios públicos domiciliarios y de infraestructura urbana. Situación habitacional en la Argentina (2004-2009). Observatorio de la Deuda Social Argentina, Pontificia Universidad Católica Argentina, Buenos Aires.
- Adger, W. N. (2000). Social and ecological resilience: are they related?. *Progress in human geography*, 24(3), 347-364.
- Ahern, N. R., Kiehl, E. M., Sole, M. L., & Byers, J. (2006). A Review of Instruments Measuring Resilience. *Issues In Comprehensive Pediatric Nursing*, 29(2), 103-125. doi:10.1080/01460860600677643
- Alexander, D. (2011). Resilience against earthquakes: some practical suggestions for planners and managers. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 13(2), 109-115.
- Alexander, D. E. (2013). Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey. *Natural hazards and earth system sciences*, 13(11), 2707-2716.
- Álvarez de la Torre, G. (2010). El crecimiento urbano y estructura urbana en las ciudades medias mexicanas. *Quivera*, 12 (2), 94-114.
- Álvarez S.R., (2012). Paraíso Protegido hacia una cultura de mitigación. México D.F. Porrúa.
- An introduction to general systems thinking, silver anniversary edition, : By gerald M. weinberg. new york: Dorset house publishing, 2001. 279p. \$39.45. ISBN 0-932633-49-8 (paper). LC 00-052289. (2001). *The Journal of Academic Librarianship*, 27(6), 485-485. doi:10.1016/S0099-1333(01)00272-5
- Assembly, U. G. 2015," Acclis Ababa Action Agenda Of the Third International Conference On Financing for Development"(La Agenda ce ACCiÓN de Acis Abeba de la Tercera Conferencia Internacional sobre el Financiamiento para el Desarrollo) Addis Ababa Action Agenda. Resolution A/RES/69/375, undocs. org/A/RES/69/373/2 June 20767.

- Azpurua, F. (2005). La Escuela de Chicago. Sus aportes para la investigación en ciencias sociales. *Sapiens*, 6(2), 25-36.
- Azuz Adeath, I.A. (ed), 2008. *Infraestructura y Desarrollo Sustentable. Una visión centrada en la zona costera*. Centro de Enseñanza Técnica y Superior, CETYS-Universidad.
- Azuz, I., Arredondo, M., Espejel, I., Rivera, E., Seingier, G. & Ferman, J. (2010) Propuesta de indicadores de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino. En E. Rivera, I. Azuz, L. Alpuche & G. Villalobos. (Eds). *Cambio climático en México un enfoque costero y marino* (pp. 901-939). Campeche: Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad y Gobierno del Estado de Campeche.
- Balcázar, C. (2012). *Infraestructura segura y servicios sostenibles Incorporación de la gestión de riesgos de desastres en el sector agua y saneamiento en América Latina*. Lima, Perú.
- Barajas Bustillos, H A; Gutiérrez Flores, L; (2012). La importancia de la infraestructura física en el crecimiento económico de los municipios de la frontera norte. *Estudios Fronterizos*, 13() 57-88.
- Bitrán D. (2018). *Prevención y resiliencia de la infraestructura crítica frente a desastres en México*. En Puente y Aguilar. *La gestión integral del riesgo de desastres en las metrópolis* (pp. 216-235). México. Siglo XXI editores, S.A. de C.V.
- Borja, J., & Drnda, M. (2003). *La ciudad conquistada* (pp. pp-111). Alianza. Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2014). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2012* (14).
- Boullosa, N. (2012). *10 Tecnologías para evitar la crisis del agua potable*. Fair Companies, 10.
- Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A.

- M. & Von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake spectra*, 19(4), 733-752.
- Castillo V.L., (2009). Urbanización, problemas ambientales y calidad de vida urbana. México, D.F. Plaza y Valdés, S.A. de C.V.
- Castillo-Villanueva, L., & Velázquez-Torres, D. (2015). Sistemas complejos adaptativos, sistemas socio-ecológicos y resiliencia. *Quivera*, 17(2), 11-32.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2013). Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2013 (14).
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2014). Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2012 (14).
- Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA). (2015). Informe anual de actividades. Gobierno del estado de Quintana Roo.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe, 2017 (LC/PUB.2018/2-P), Santiago, 2018.
- CONAGUA. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Comisión Nacional del Agua, 6.
- Correa G. y Yusta, J. (2013). Seguridad Energética y Protección de Infraestructuras Críticas. *Lámpsakos*, N° 10, pp. 92-108.
- Cretney, R. (2014). Resilience for whom? Emerging critical geographies of socio-ecological resilience. *Geography Compass*, 8(9), 627-640.
- Cumming, G. S., Barnes, G., Perz, S., Schmink, M., Sieving, K. E., Southworth, J., & Van Holt, T. (2005). An exploratory framework for the empirical measurement of resilience. *Ecosystems*, 8(8), 975-987.

- Cutter, S., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E. & Webb, J. (2008b). Community and regional resilience: Perspectives from hazards, disasters and emergency management. CARRI Research Report 1. Oak Ridge, Tennessee: Community & Regional Resilience Initiative.
- De la Peña, G. (2003). Simmel y la Escuela de Chicago en torno a los espacios públicos en la ciudad. *Quaderns-e de l'Institut Català d'Antropologia*, (1).
- De la Unión Europea, C. (2017). Acuerdo de París sobre el cambio climático. Obtenido de Consilium Europa: <https://www.consilium.europa.eu/es/politicas/climate-change/timeline>.
- Domínguez Serrano, Judith. (2010). El acceso al agua y saneamiento: Un problema de capacidad institucional local. Análisis en el estado de Veracruz. *Gestión y política pública*, 19(2), 311-350.
- Ducci, M. (2003). Introducción al urbanismo: conceptos básicos. Ed. Trillas.
- Eichhorst, U. (2010). Adaptación del Transporte Urbano al Cambio Climático. Transporte Sostenible: Texto de Referencia para formuladores de políticas públicas en ciudades de desarrollo. (GTZ, Ed., & A. Hurtado-Tarazona, Trad.) Eschborn, Alemania: Daniel Bongardt.
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488-494.
- ENCC 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40. Gobierno de la República
- ENCC. 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40. Gobierno de la República.
- Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres. (2014). Terminología sobre la Reducción de Riesgo de Desastres, Ginebra: ONU.

- Farhad, S. (2012). Los sistemas socio-ecológicos una aproximación conceptual y metodológica. XII Jornadas de economía crítica, 265-280.
- Fiering, M. B., & Holling, C. S. (1974). Management and standards for perturbed ecosystems. *Agro-ecosystems*, 1, 301-321.
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global environmental change*, 16(3), 253-267.
- Folke, C., S. R. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Chapin, and J. Rockström. 2010. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society* 15(4): 20.
- Frankenberg, E., Sikoki, B., Sumantri, C., Suriastini, W., & Thomas, D. (2013). Education, vulnerability, and resilience after a natural disaster. *Ecology and society: a journal of integrative science for resilience and sustainability*, 18(2), 16.
- Gallego-López, C.; Essex, J. (with input from DFID) Designing for infrastructure resilience. Evidence on Demand, UK (2016) 22p.
- Gay, A.L. (2016). Infraestructura resiliente: desempeño sostenido en un mundo siempre cambiante. *Entretextos*, 8/24.
- Giordano, T. (2012). Adaptive planning for climate resilient long-lived infrastructures. *Utilities Policy*, 23, 80-89.
- Gobierno de la república (2014). Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018.
- Gobierno de la república (2014). Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018.
- Goble, G., Business, R., Solutions, I., & Fields, H. (2002). Resilient infrastructure: Improving your business resilience.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 1-23.
- Holling, C. S. (1996). Engineering resilience versus ecological resilience. *Engineering within ecological constraints*, 31(1996), 32.

- Holling, C. S., & Goldberg, M. A. (1971). Ecology and planning. *Journal of the American Institute of Planners*, 37(4), 221-230.
- Holling, C. S., & Orians, G. (1971). Toward an urban ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 52(2), 2-6.
- Holling, C. S., Bell, D. E., Clark, W. C., Dantzig, G. B., Fiering, M. B., Jones, D. D., ... & Winkler, C. (1974). Project status report: ecology and environment project.
- Ilaya, A. (2015). Análisis de la reducción de la capacidad de la red y su relación con el suministro intermitente de agua. Los servicios de agua y drenaje con una visión integral. Guanajuato, Gto. México. Universidad de Guanajuato. (pp. 348-361)
- INEGI. (2010). Porcentaje de viviendas particulares habitadas con disponibilidad de agua por entidad federativa, 1990 a 2010. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México.
- INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Johnson J.H., (1987). Geografía Urbana. Barcelona, España: Oikos-tau, S.A.
- Kunz, B.I. (2003). Uso del suelo y territorio. Ed. Plaza y Valdés, S.A. de C.V. 206 p.
- La Porte, T. R. (2007). Critical infrastructure in the face of a predatory future: Preparing for untoward surprise. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 15(1), 60-64
- Labaka, L., Hernantes, J., & Sarriegi, J. M. (2016). A holistic framework for building critical infrastructure resilience. *Technological Forecasting and Social Change*, 103, 21-33. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.11.005>
- Lavell, A. (1996). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. *Ciudades en riesgo*.

- Leichenko, R. (2011). Climate change and urban resilience. *Current opinion in environmental sustainability*, 3(3), 164-168.
- Lindseth, B. (2011). The Pre-History of Resilience in Ecological Research. *Limn*, 1(1).
- Lomelí S. y Ríos R.A. (2008). *Infraestructura y Desarrollo Sustentable*. Baja California: Azuz A.I.
- López Levi, L. (2011). Geografía humana y ciencias sociales: Una relación reexaminada. *Política y Cultura*, (36), 309-313.
- Ludwig, D., Jones, D. D., & Holling, C. S. (1978). Qualitative analysis of insect outbreak systems: the spruce budworm and forest. *Journal of animal ecology*, 47(1), 315-332.
- Metzger, P. y Robert, J. (2013). Elementos de reflexión sobre la resiliencia urbana: usos criticables y aportes potenciales. *Territorios*, 28, 21-40.
- Moteff, J., & Parfomak, P. (2004). *Critical infrastructure and key assets: definition and identification*. Library Of Congress Washington Dc Congressional Research Service.
- Naciones Unidas (2018). Libro de bolsillo de las estadísticas Mundiales. Recuperado de <https://unstats.un.org/unsd/publications/pocketbook/files/ES-world-stats-pocketbook-2018.pdf>
- National Institute of Standards and Technology. (2016). *Community Resilience Planning Guide for Buildings and Infrastructure Systems*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1190v1>
- O'Rourke, T. D., Jeon, S. S., Eguchi, R. T., & Huyck, C. K. (2001). Advanced GIS for loss estimation and rapid post-earthquake assessment of building damage. *Research Progress and Accomplishment*, 157-164
- ONU, U. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Recuperado el, 26 septiembre de 2016.

- ONU/EIRD. (2015). Conferencia Mundial de las Naciones Unidas: Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Sendai, Japón, 18 de marzo de 2015.
- O'Rourke, T. D. (2007). Critical infrastructure, interdependencies, and resilience. *Bridge-Washington-National Academy Of Engineering-*, 37(1), 22.
- Ossandón, J. (2010). La Escuela de Chicago-una mirada histórica a 50 años del convenio Chicago/Universidad Católica: ensayos en honor a Arnold C. Harbeger. *Universum (Talca)*, 25(2), 217-220.
- Ouyang, M., Dueñas-Osorio, L., & Min, X. (2012). A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems. *Structural safety*, 36, 23-31.
- Peña, L. C., Miranda Velázquez, A., & Gómez Torres, M. (2015). IDEAL 2014. La infraestructura en el desarrollo de América Latina. *Infraestructura y cambio climático*.
- ProDUS - UCR. (2014). Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de infraestructura ante el cambio climático. Costa Rica.
- Rinaldi, S. M. (2004, January). Modeling and simulating critical infrastructures and their interdependencies. In *System sciences, 2004. Proceedings of the 37th annual Hawaii international conference on* (pp. 8-pp). IEEE.
- Sara Meerow & Joshua P. Newell (2016). Urban resilience for whom, what, when, where, and why?, *Urban Geography*, DOI: 10.1080/02723638.2016.1206395
- Schjetnan M., Calvillo J., & Peniche M. (1997). Principios de diseño urbano/ambiental. México. Ed. Arbol.
- Schultz, M. T., & Smith, E. R. (2016). Assessing the Resilience of Coastal Systems: A Probabilistic Approach. *Journal Of Coastal Research*, 32(5), 1032-1050. doi:10.2112/JCOASTRES-D-15-00170.1
- Secretaría de Gobierno. (2013). Programa Sectorial de Gobernación 2013-2018.

- Seingier, G., Espejel, I., Fermán, J. & Delgado, O. (2010). Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal. En E. Rivera, I. Azuz, L. Alpuche & G. Villalobos. (Eds). Cambio climático en México un enfoque costero y marino (pp. 669-688). Campeche: Universidad Autónoma de Campeche, CETYSUniversidad y Gobierno del Estado de Campeche.
- Shinozuka, M., Chang, S. E., Cheng, T. C., Feng, M., O'Rourke, T. D., Saadeghvaziri, M. A. & Shi, P. (2004). Resilience of integrated power and water systems. *Seismic Evaluation and Retrofit of Lifeline Systems, Articles from MCEER's Research Progress and Accomplishments Volumes*, 65-86.
- Sierra, ligia (1993). Servicios e Infraestructura Social en Estudio Integral de la Frontera México-Belice. Análisis Socioeconómico. Tomo I. Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México.
- Steele W. & Legacy C. (2017) Critical Urban Infrastructure, Urban Policy and Research, 35:1, 1-6, DOI: 10.1080/08111146.2017.1283751
- Stephen Tyler & Marcus Moench (2012) A framework for urban climate resilience, *Climate and Development*, 4:4, 311-326. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1080/17565529.2012.745389>
- Tamvakis, P., & Xenidis, Y. (2013). Comparative evaluation of resilience quantification methods for infrastructure systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 74, 339-348. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.03.030>
- Timmerman P (1981) Vulnerability, resilience and the collapse of society: a review of models and posible climatic applications. Institute for Environmental Studies, University of Toronto, Canada.
- Tobin, G. A. (1999). Sustainability and community resilience: the holy grail of hazards planning?. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 1(1), 13-25.
- UNISDR. (2009). Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: UNISDR.

- UNISDR. (2014). Annual Report. Geneva, Switzerland: UNISDR
- UNISDR. (s/f) Documento de apoyo Infraestructura. Recuperado de: <http://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/Publicacionesrelevantes/Recuperacion/6-Infraestructura.pdf>
- UNOPUS y ONU-Hábitat. (2015). Infraestructura urbana y servicios básicos, incluida la energía. Hábitat III. Nueva York del 26 al 29 de mayo 2015.
- USAID. (2013). Medidas para abordar el impacto del cambio climático en la infraestructura preparándose para el cambio.
- Vázquez Sánchez, Martín; Méndez Ramírez, José Juan y Mastachi Loza, Carlos Alberto (2016): *índice de resiliencia urbana en el abastecimiento del agua potable en Lerma y San Mateo Atenco, estado de México*. In: El desarrollo regional frente al cambio ambiental global y la transición hacia la sustentabilidad. Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C., México. ISBN AMECIDER: 978-607-96649-2-3 UNAM: 978-607-02-8564.
- Velázquez, T., et al. (2007). Huracanes y turismo en Quintana Roo. Ed. Pomares S.A. y Grupo Edición, S.A. de C.V., Urbanización y turismo (pag. 121 - 140). México, D.F.
- Ventura, C. E., García, H. J., & Martí, J. M. (s/f). Interdependencias De Infraestructura Crítica durante Terremotos y otros Desastres.
- Von Bertalanffy, L. (2008). An outline of general system theory. Emergence: Complexity and Organization, 10(2), 103
- Walker, B. H., L. H. Gunderson, A. P. Kinzig, C. Folke, S. R. Carpenter, and L. Schultz. 2006. A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. Ecology and Society 11(1): 13. [
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. Ecology and society, 9(2).

- Weichselgartner, J., & Kelman, I. (2015). Geographies of resilience: Challenges and opportunities of a descriptive concept. *Progress in Human Geography*, 39(3), 249-267.
- Windle, G., Bennett, K. M., & Noyes, J. (2011). A methodological review of resilience measurement scales. *Health & Quality Of Life Outcomes*, 9(1), 8-25. doi:10.1186/1477-7525-9-8
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.
- Yáñez, A., Way, J., Jacob, J., Ibáñez, C., Martínez, A., Miranda, A., Tejeda, A., Welsh, C. & Carranza, A. (2010). Panel INECOL 2008 -Conclusiones- La zona costera y sus impactos ecológicos, económicos y sociales. En A. Yáñez (Ed). *Impactos del cambio climático sobre la zona costera* (pp. 173-179). México: Instituto Nacional de Ecología INE-SEMARNAT e Instituto de Ecología A. C. INECOL.
- Zárate M.A., (1999). *Ciudad Transporte y Territorio*. Madrid, España: Cuadernos Uned.
- Zhou, H., Wan, J., & Jia, H. (2010). Resilience to natural hazards: a geographic perspective. *Natural Hazards*, 53(1), 21-41.
- Zoido, F., De la Vega, S., Morales G., Mas R., y C. Lois, R. (2000). *Diccionario de geografía urbana, urbanismo y ordenación del territorio*. Editorial Ariel, S. A. pp. 406.

ANEXOS

6.- ¿Aproximadamente cuántos litros de agua consume al día?

Litros: _____

7.- ¿La dotación de agua potable que se les brinda, es suficiente para abastecer sus necesidades?

1) Sí

2) No

Sí la respuesta es No, especificar por qué:

8.- El servicio de agua potable que se le otorga es:

1) Excelente

2) Bueno

3) Regular

4) Malo

5) No sabe

9.- En caso del impacto de huracanes ¿Qué nivel de afectación se presenta en el servicio de agua potable de esta vivienda?

1) Muy alto

2) Alto

3) Medio

4) Bajo

5) Muy bajo

10.- En caso del impacto huracanes ¿Qué tipo de afectaciones se presentan en el servicio de agua potable de su colonia?

1) Interrupción del servicio por falta de electricidad

2) Contaminación del agua

3) Fugas de agua potable

4) Fallas en tuberías

5) Ninguna

6) Otra: _____

11.- ¿Cada cuándo se les proporciona mantenimiento (cambios de tubería, reparación de fugas, reparación de algún daño) al servicio de agua potable?

1) 1 vez al año

2) 2 veces al año

3) 3 veces al año

4) Únicamente cuando se presentan afectaciones de un huracán.

5) Desconoce

6) Otro: _____

12.- En caso de falla del sistema con el impacto de huracanes ¿Cuánto tiempo tardan en reactivarles el servicio?

1) 1 a 2 días

2) 3 a 4 días

3) Más de 5 días

4) Otro: _____

13.- ¿Conoce si se han realizado obras para disminuir el riesgo ante huracanes en el servicio de agua potable?

1) Sí

2) No

Sí la respuesta es sí, especificar cuál:

14. En caso de presentarse un huracán ¿Cuenta con algún método para poder disminuir las afectaciones del servicio agua potable de su vivienda?

1) Cisterna propia para almacenamiento de agua

2) Recipientes de almacenamiento de agua

3) Los vecinos les proporcionan el servicio de agua potable

4) Sistema de para descontaminar el agua

5) Ninguno

15.- En caso de una emergencia ocasionada por un huracán o inundación ¿Participaría en ayudar a solucionar las problemáticas generadas en el servicio de agua potable. En caso de que la respuesta sea positiva, indicar de qué manera.

1) Sí

2) No

b) Participaría apoyando a las instituciones encargadas de la reactivación del servicio.

c) Proporcionando ayuda a los vecinos que hayan sido afectados.

Otro (especifique): _____

16.- En caso de presentarse un huracán o inundación ¿Conoce qué medidas tomar para disminuir los posibles daños en el servicio de agua potable?

- 1) Sí
a) Almacenar agua potable
b) Asegurar los recipientes de almacenamiento de agua.
c) Tomar medidas para evitar la contaminación del agua
Otro (especifique): _____

2) No

17.- ¿Conoce si existen programas de gobierno o de otras instituciones que promuevan la prevención, disminución y rehabilitación del riesgo en las infraestructuras de agua potable ante el riesgo por huracanes?

- 1) Sí Cuál: _____
2) No

18.- ¿Alguno de los integrantes de su familia han recibido capacitación sobre lo que deben hacer antes, durante y después de un huracán para prevenir y disminuir los posibles daños en el servicio de agua potable?

- 1) Sí
a) Gobierno
c) Organizaciones privadas
b) Organizaciones sociales
d) Otros (especifique): _____
3) No

SECCIÓN D. SANEAMIENTO

19.- En esta vivienda ¿Cuentan con excusado, retrete, sanitario, letrina u hoyo negro?

- 1) Sí Cuál: _____
2) No

20.- ¿Qué tipo de descarga tiene el servicio sanitario?

- 1) Descarga directa de agua
2) Le echan agua con una cubeta
3) No le pueden echar agua

21.- ¿El servicio sanitario lo comparten con otra vivienda?

- 1) Sí
2) No

22.- ¿Cuántos baños tienen en esta vivienda?

- 1) Con excusado y regadera _____
2) Sólo con excusado _____
3) Sólo con regadera _____

23.- ¿Dónde desechan las aguas residuales (sucia-usada)?

- 1) Red pública
2) Biodigestor
3) Fosa séptica
4) Desagüe al suelo
5) Fosa séptica con drenaje
6) Tubería que va a dar a una grieta
7) Tubería que va a dar a un río, lago o mar
8) Otro: _____

24.- El servicio de drenaje que se le otorga es:

- 1) Excelente 2) Bueno 3) Regular 4) Malo 5) No sabe

❖ 25.- En caso de impacto de un huracán ¿Qué nivel de afectación presenta el servicio de drenaje de esta vivienda?

- 1) Muy alto
2) Alto
3) Medio
4) Bajo
5) Muy bajo

❖ 26.- En caso de impacto de huracanes ¿Qué tipo de afectaciones se presentan en el servicio de drenaje de su vivienda?

- 1) Obstrucción de tuberías por basura
2) Desborde de fosa séptica
3) Desborde en desagües internos de la vivienda.
4) Fallas en tuberías
5) Otra: _____

27.- En caso de presentarse un huracán ¿Cuenta con algún método para poder disminuir las afectaciones del servicio de drenaje de su vivienda?

- 1) Canal de desagüe
2) Fosa séptica
3) Hoyo negro
4) Ninguno
5) Otro: _____

❖ 28.- En caso de daños al sistema de drenaje con el impacto de huracanes ¿Cuánto tiempo tardan en reactivarles el servicio?

- 1) 1 a 2 días
2) 3 a 4 días
3) más de 5 días
4) Otro: _____

39.- En caso de falla del sistema de eléctrico con el impacto de huracanes ¿Cuánto tiempo tardan en reactivarles el servicio?

- 1) 1 a 2 días
- 2) 3 a 4 días
- 3) más de 5 días
- 4) Otro: _____

40.- ¿Conoce si se han realizado obras para disminuir el riesgo de huracanes en el servicio de electricidad?

- 1) Sí
 - 2) No
- Sí la respuesta es sí, especificar cuál:

41.- En caso de una emergencia ocasionada por un huracán o inundación ¿Participaría en ayudar a solucionar las problemáticas en el sistema eléctrico. En caso de que la respuesta sea Sí, indicar de qué manera.

- 1) Sí
 - 2) No
- a) Apoyando a protección civil
 - b) Participaría apoyando a las instituciones (brigadas) encargadas de la reparación de daños.
 - c) Otro (especifique): _____

42.- En caso de presentarse un huracán o inundación ¿Conoce qué medidas tomar para disminuir los posibles daños en el servicio de electricidad?

- 1) Sí
 - 2) No
- a) Proteger la infraestructura del servicio eléctrico de la vivienda.
 - b) Cargar lámpara de emergencia
 - c) Preparar el uso de energías alternas
 - d) Otro (especifique): _____

43.- ¿Conoce si existen programas de gobierno o de otras instituciones que promuevan la prevención, disminución y rehabilitación del riesgo de desastre en las infraestructuras de electricidad ante huracanes?

- 1) Sí
 - 2) No
- Cuál: _____

44.- ¿Alguno de los integrantes de su familia han recibido capacitación sobre lo que deben hacer antes, durante y después de un huracán para prevenir y disminuir los daños en el servicio eléctrico?

- Sí
 - No
- 1) Gobierno
 - 2) Organizaciones sociales
 - 3) Organizaciones privadas
 - 4) Otros (especifique): _____

SECCIÓN F. VIALIDADES

45.- ¿Cómo considera el estado de las vialidades de su colonia?

- 1) Excelente
- 2) Bueno
- 3) Regular
- 4) Malo
- 5) Muy malo
- 6) No sabe

46.- ¿Conoce las rutas de evacuación ante la emergencia de un huracán o inundación? En caso de que la respuesta sea Sí, mencionar cuántas conoce y cómo se enteró de ellas.

- 1) Sí
 - 2) No
- Cuántas: _____
- a) Televisión
 - b) Radio
 - c) Carteles
 - d) Panfletos
 - e) Talleres
 - f) Reuniones en escuelas
 - g) Publicidad en domicilio
 - h) Publicidad en el trabajo
 - i) Otros (especifique): _____

47.- ¿Considera que las vialidades existentes son un medio eficiente de conexión hacia una ruta de evacuación en caso de huracanes o inundaciones? En caso de que la respuesta sea no, seleccionar o mencionar los motivos por los cuales no son eficientes:

- 1) Sí
 - 2) No
- a) Se inundan
 - b) Se congestionan
 - d) Tienen baches
 - e) Otros (especifique): _____

48.- ¿Considera que las vialidades existentes son un medio eficiente de conexión hacia los refugios en caso de huracanes o inundaciones? En caso de que la respuesta sea no, seleccionar o mencionar los motivos por los cuales no son eficientes:

- 1) Sí
 - 2) No
- a) Se inundan
 - b) Se congestionan
 - d) Tienen baches
 - e) Otros (especifique): _____

49.- ¿Cada cuándo se les proporciona mantenimiento a las vialidades?

- 1) 3 veces al año
- 2) 2 veces al año
- 3) 1 vez al año
- 4) Únicamente cuando se presenta el impacto de un huracán
- 5) No realiza mantenimiento

50.- En caso de presentarse un huracán o inundación ¿Conoce qué medidas tomar para disminuir los posibles daños en las vialidades de la colonia?

- 1) Sí
 - 2) No
- a) Realizar limpieza de vialidades
 - b) Solicitar la reparación de baches
 - c) Podar cualquier árbol que pueda ocasionar la obstrucción de vialidades.
 - d) Otro (especifique): _____

51.- En caso del impacto de huracán ¿Qué nivel de afectación presentan las calles de su colonia?

- 1) Muy alto
- 2) Alto
- 3) Medio
- 4) Bajo
- 5) Muy bajo

52.- En el caso de huracanes ¿Qué tipo de afectaciones se presentan en las vialidades de su colonia?

- 1) Hundimientos
- 2) Desprendimiento de carpeta
- 3) Baches
- 4) Ninguna
- 5) Otro (especifique): _____

53.- En caso de presentarse un huracán y verse dañadas las rutas de evacuación ¿usted conoce alguna otra ruta alternativa para poder evacuar?

- 1) No
 - 2) Sí
- a) En caso de que su respuesta sea SÍ, indicar cual:
- _____

54.- En caso de evacuación por emergencia de huracán o inundación ¿Qué tan rápido sería el desplazamiento en las vialidades de su colonia hacia zonas seguras o refugios?

- 1) Totalmente Rápido
- 2) Rápido
- 3) Ni rápido ni lento
- 4) Lento
- 5) Totalmente lento

55.- En caso de daños a sus vialidades por el impacto de huracanes ¿Cuánto tiempo tardan en atender los daños?

- 1) 1 a 2 días
- 2) 3 a 4 días
- 3) más de 5 días
- 4) Otro: _____

56.- ¿Se han realizado obras para disminuir el riesgo y afectaciones de las vialidades ante huracanes?

- 1) Sí
 - 2) No
- Sí la respuesta es sí, especificar cuál:
- _____

57.- ¿Conoce si existen programas de gobierno o de otras instituciones que promuevan la prevención, disminución y rehabilitación del riesgo de desastre en las vialidades ante huracanes?

- 1) Sí
 - 2) No
- Cuál: _____

58.- En caso de una emergencia ocasionada por un huracán o inundación ¿Participaría en ayudar a solucionar las problemáticas en las vialidades. En caso de que la respuesta sea Sí, indicar de qué manera.

- 1) Sí
 - 2) No
- a) Apoyando a protección civil
 - b) Participaría apoyando a las instituciones (brigadas) encargadas de la reparación de daños.
 - c) Otro (especifique): _____

59.- ¿Alguno de los integrantes de su familia han recibido capacitación sobre lo que deben hacer antes, durante y después de un huracán para prevenir y disminuir los daños en el sistema de vialidades?

- 1) Sí
 - 2) No
- a) Gobierno
 - b) Organizaciones sociales
 - c) Organizaciones privadas
 - d) Otros (especifique): _____