

PROPUESTA PRELIMINAR RESILIENTE EN EL ÁMBITO DEL DESARROLLO COSTERO ANTE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EXTREMAS

América Anaid Monreal Lazarín¹

RESUMEN

La evolución de la raza humana con sus múltiples necesidades cada vez más sofisticadas, ha reflejado diversos procesos de desajuste medioambiental donde los efectos climáticos se ven alterados y se manifiestan de diferentes maneras de acuerdo a la zona geográfica donde se propician y donde se desenvuelven.

Una de las zonas más vulnerables a los efectos del calentamiento global son las costas, sitios que son polos de desarrollo por la comercialización marítima y la riqueza ecológica y cultural que ofrece. El proteger éstas áreas debiera ser de importancia global, ya que representa una amplia gama de beneficios que no solo se ven reflejados en actividades de diversos sectores como la pesca, el transporte marítimo, el desarrollo turístico y el intercambio comercial, sino como una propuesta para contrarrestar y/o mitigar el impacto negativo que se ha producido por las actividades antropogénicas.

Tomando en cuenta lo anterior, se destaca la importancia del término de **resiliencia** en los sistemas de protección costera y marítima, con la intención de desarrollar la capacidad de generar las condiciones o medidas que le permitirían funcionar, recuperar su operación eficiente y adaptarse al impacto de futuros peligros climáticos en lapsos de tiempo relativamente cortos, y con ello impulsar el desarrollo sustentable de éstas regiones.

Para lograr el objetivo se plantea una metodología preliminar que incluye identificar y analizar los factores que permitan la evaluación de causas, efectos y posibles soluciones para mejorar e incluir en el marco técnico y normativo de la planeación, construcción, diseño y mantenimiento de las obras portuarias y costeras, medidas sustentables como primer instancia tanto para las obras existentes, como para el diseño de las obras futuras y así aumentar el nivel de preparación y acción de las regiones en cuestión de seguridad y prevención desastres por fenómenos climáticos.

Palabras clave: Resiliencia, desarrollo portuario y costero, variaciones climáticas.

INTRODUCCIÓN

Debido a su ubicación geográfica, México resulta ser una de las zonas más vulnerables a nivel mundial ante los fenómenos hidrometeorológicos extremos. Asociando esta condición con los cambios derivados a partir del calentamiento global, aumentan las afectaciones que se presentan principalmente en las regiones ubicadas a lo largo de la línea de costa.

La infraestructura se ve afectada continua y directamente por los eventos climatológicos y al estar asentada en zonas costeras incrementa su vulnerabilidad ya que se presentan ciertos desastres extremos

¹Ingeniera desarrollando tema de tesis en IPN SEPI ESIA ZACATENCO, america_070192@hotmail.com

como inundaciones y destrucción por impacto directo de huracanes y éstas acciones se ven reflejadas en pérdidas humanas, económicas, sociales y medioambientales.

Gran parte de la infraestructura de protección costera y portuaria mexicana sigue funcionando bajo condiciones críticas aún después de haber cumplido con su vida útil. Ante esta situación, surge la necesidad de generar la capacidad de resiliencia de las obras existentes que permita adaptarse a las nuevas condiciones, continuar con su operación y estar prevenida para los eventos futuros, además de integrar los factores oportunos para el diseño de las nuevas dentro del marco normativo y político de regulación, diseño, construcción, planeación y operación portuaria con el objetivo de impulsar la prevención de desastres, disminuir las pérdidas y promover el desarrollo integral y sustentable.

GÉNESIS DE LA RESILIENCIA

El concepto de resiliencia presenta diversos significados ya que se ha desarrollado en diversas ciencias y bajo diversas condiciones (Woods, 2015). Su primera aparición se da en la Ley de Hooke (1678) donde se define como la capacidad que los materiales tienen de acumular energía elástica antes de volverse viscosos o entrar en régimen de fluencia, sin embargo éste término vuelve a emerger en ingeniería hasta la década de los 70s refiriéndose a la capacidad que tiene un cuerpo para recuperarse después de ser deformado por la acción de un esfuerzo (Paredes, 2016).

Con los aportes de Casagrande (1965), se involucraron conceptos e ideas como la incertidumbre en las estructuras y su comportamiento, la confiabilidad, las fallas y el riesgo, deduciéndose el objetivo principal como el estudio y relación entre estos términos para evitar los colapsos de la infraestructura.

De acuerdo con Trujillo (2006), en psicología la resiliencia surge para identificar los factores que faciliten a las personas recuperarse de dificultades emocionales y circunstancias adversas, mientras que dentro del ámbito ecológico se concibe como una forma de comprender cómo los ecosistemas se automantienen ante cambios y situaciones perturbadoras (Susuki, 2010).

Como se puede percibir, es un concepto que puede ser visto desde diversos enfoques y sin embargo comparte una misma idea: superar la adversidad. Cada región tiene condiciones específicas, hechos, riesgos y exposiciones particulares, sin embargo el objetivo de impulsar el desarrollo en las mejores condiciones considerando los peligros recurrentes es general.

EL ORIGEN DEL PROBLEMA Y LOS PRINCIPALES ELEMENTOS A SER CONSIDERADOS

Los problemas que se presentan para el desarrollo de una región tienen múltiples frentes de acción. Uno de ellos se refiere al estudio y propuestas de solución ante la variación de efectos climáticos extremos que afectan la infraestructura, por lo que se vuelve necesario comprender cuáles son las causas del problema, desde cuando han empezado y que pronósticos se tienen referentes a la evolución en su magnitud y recurrencia para poder implementar medidas preventivas y correctivas. Tomando en cuenta que el origen del problema presentado se realiza una reseña que facilita el entendimiento de los cambios.

En relación con los tiempos preindustriales, se está produciendo una alteración climática debido al aumento del promedio global de la temperatura de la superficie terrestre generada por el incremento de la concentración de ciertos gases en el ambiente. Éstos son emanados principalmente por las actividades antropogénicas como lo es la quema de combustibles fósiles.

El sistema climático depende del equilibrio de varios factores externos como la radiación solar, e internos como la composición química de la atmósfera. Los gases que alteran la constitución de ésta, se conocen como Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Greenpeace, 2010).

La energía solar llega a la Tierra en forma de rayos de onda corta donde una parte de esta energía es absorbida por la superficie terrestre y otra, los rayos de onda larga, son redirigidos al espacio.

Debido a la opacidad que algunos GEI poseen, los rayos infrarrojos no pueden ser redirigidos al espacio, lo que genera un fenómeno conocido como Efecto Invernadero (EI), en el cual estas ondas revotan y aumentan la temperatura, provocando el calentamiento global (IPCC, 2014), mostrado en la ilustración 1.

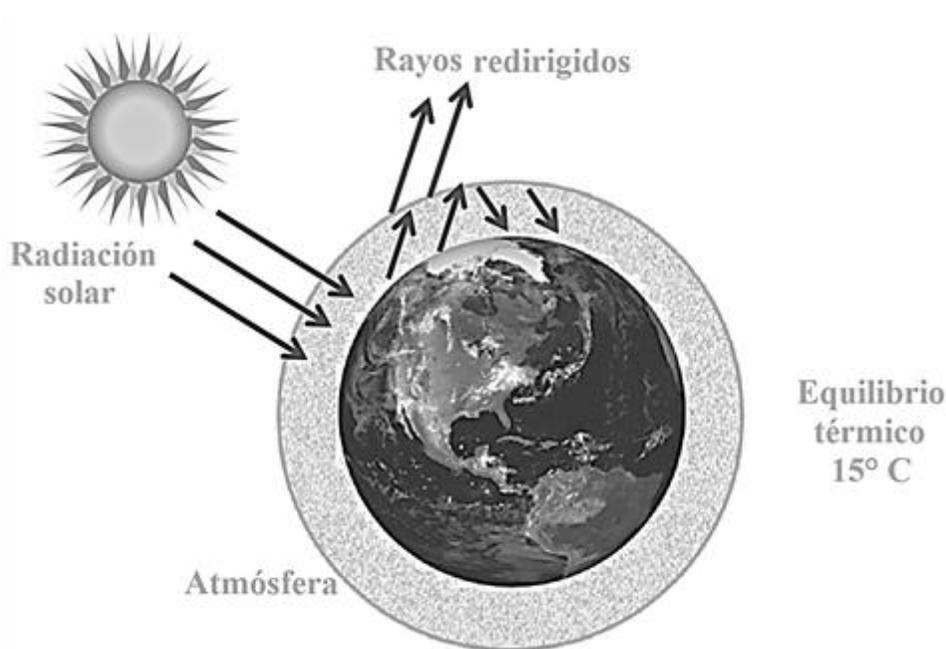


Ilustración 1: El efecto invernadero. Elaboración propia.

A nivel internacional el sistema climático está siendo estudiado y sus cambios están científicamente fundamentados, de acuerdo con el IPCC en todos los escenarios de emisiones evaluados, las proyecciones señalan que la temperatura en superficie continuará aumentando a lo largo del siglo XXI (INECC, 2012).

Aun manteniendo el límite acordado del incremento de la temperatura, el cambio climático representa cambios en los impactos, e incluso algunas regiones y poblaciones están ya siendo afectadas debido a una mayor incidencia de tormentas extremas. Si bien son numerosos los eventos que se ven afectados por el cambio climático, se consideran solamente los fenómenos hidrometeorológicos de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que sean relevantes por su acción sobre la infraestructura portuaria y costera.

Las costas son áreas de congregación social, económica y ambiental. Es el sitio donde se encuentran el medio marino y el medio terrestre, es donde están presentes e interactúan en distintas escalas espaciales y temporales: variables ecológicas, fuerzas físicas locales y globales, fenómenos periódicos y episódicos, sistemas con alta variabilidad y procesos complejos (Rivera et al., 2004).

Uno de los principales fenómenos climáticos extremos que se presentan en las zonas costeras son los huracanes, mismos que ocurren en periodos de tiempo cortos que pueden ocasionar cambios abruptos que afectan la estructura, equilibrio, funcionamiento de la costa y que han ido aumentando en las últimas temporadas. El registro del Servicio Meteorológico Nacional desde el año 1997 manifiesta incrementos en el número de eventos y el aumento en su intensidad.

Debido a que las trayectorias e intensidades no tienen un patrón repetible ni una duración predecible, es conveniente obtener periodicidades comparables a nivel regional generando mapas de las condiciones promedio de alturas de oleaje, vientos ciclostroáficos y presiones mínimas para todos los huracanes que afectan una región (Rivera et al., 2004).

Un problema derivado de las precipitaciones intensas es la erosión y el arrastre de sedimentos, mientras que el oleaje originado por los vientos huracanados podría modificar el régimen del oleaje, la altura de las olas e incluso la dirección y la magnitud del flujo de energía.

Es prácticamente seguro que la elevación del nivel medio global del mar continuará durante muchos siglos después de 2100; la magnitud de la elevación dependerá de las futuras emisiones de GEI. La elevación del nivel del mar de hasta 7 m asociada a la pérdida de hielo se deberá a la reducción de la extensión del permafrost con el aumento continuo de las temperaturas globales [IPCC, 2014]. Las inundaciones provocadas por esta situación podrían verse en las zonas de tierra de un puerto bajo y los muelles queden sumergidos.

Las herramientas que serán indispensables para determinar los eventos representativos pueden clasificarse en registros históricos, de obtención numérica y una combinación de los dos donde por medio de los registros sean modelados y calculados por medio del uso de la tecnología como fotos de satélite y software permita realizar simulaciones y presentaciones reales de los cambios a través de los años, e incluso proyecciones futuras.

Existen diversas dependencias, secretarías u organizaciones nacionales e internacionales que se encargan de realizar mediciones de diversos eventos (por ejemplo la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Sistema Meteorológico Nacional (SMN) registran los eventos hidrometeorológicos a nivel nacional). Los registros históricos generados por estas dependencias son los antecedentes documentados de los eventos presentes, y es mediante el tratamiento de esta información que se pueden realizar predicciones de acontecimientos futuros.

De acuerdo con el IPCC, la vulnerabilidad se refiere a las condiciones por las que un sistema es susceptible a los adversos climáticos y al ser multifactorial y dinámica requiere ser monitoreada y proyectada. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la acción de los eventos climatológicos a los que se encuentra expuesta la infraestructura, así como su capacidad de adaptación (López, 2009).

En el planeta existen zonas más vulnerables que otras, sin embargo los países en vías de desarrollo con costas amplias y bajas serán los más afectados pues ya se presentan efectos como inundaciones y daños en el entorno marítimo costero. La falta de información certera y confiable aumenta la vulnerabilidad de estas áreas.

Para poder determinar si un sitio está siendo afectado por los cambios que se generan a raíz del calentamiento global y la modificación de los eventos hidrometeorológicos, es necesario realizar una evaluación de la vulnerabilidad donde se plantee cuáles son las áreas más expuestas, a qué y por qué mediante la integración de las características geomorfológicas y climáticas de la región con las condiciones que se presentan en la infraestructura del sitio (López, 2009), el análisis de daños y fallas existentes en las estructuras, el aumento en los niveles del mar, pérdida de terrenos, exposición de la comunidad, etc.

Algunas de las causas de la vulnerabilidad hacen referencia a la incertidumbre, información insuficiente de los eventos hidrometeorológicos, características insuficientes estructurales de las obras y falta de impulso en la cultura de la prevención en vez de la corrección.

Existen acuerdos globales entre los gobiernos para reducir la vulnerabilidad mediante políticas y medidas de acción referentes a gestión de riesgos, seguridad social y económica y a la implementación de programas que impulsen las adecuaciones en la infraestructura y servicios que afronten los impactos de los fenómenos presentados (López, 2009).

En el objetivo 11 del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (México), se menciona que para enfrentar de forma óptima los efectos del cambio climático será necesario desarrollar capacidades preventivas y de respuesta ante los impactos adversos previstos.

Es importante resaltar que los estudios de vulnerabilidad deben reflejarse en 2 periodos, uno de los sucesos pasados y la condición actual, y otro referente a la que la infraestructura podría presentar con las condiciones esperadas y así establecer los puntos críticos que requerirán de un mayor enfoque al momento de la toma de decisiones.

El IPCC define la adaptación como el ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a las consecuencias climáticas esperadas o reales, para moderar los riesgos o aprovechar las oportunidades que representan estos cambios. La mayoría de los proyectos de adaptación aportan beneficios locales tangibles, en tiempos reducidos.

La mejor visión que los gobiernos pueden adoptar para promover la adaptación es mediante el desarrollo sustentable. En la Estrategia Nacional del Cambio Climático Visión 10-20-40 (México), se manifiestan criterios para las medidas de adaptación, y en documentos como en el Quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático se estipulan compromisos del país para cuidar el medio ambiente y buscar disminuir los daños.

La integración de la adaptación dentro del marco político y normativo puede impulsar al desarrollo y sobre todo buscar la reducción de los riesgos, sin embargo su eficacia es limitada, debido al ritmo del cambio climático, por esto la importancia de realizar diversos análisis que permitan mejorar la toma de decisiones.

Si bien es necesaria la implementación de nueva infraestructura como parte de la adaptación, se recomienda iniciar con propuestas amigables con el ambiente mediante la restauración de los hábitats naturales como lo es la conservación o restauración de las dunas, humedales y deltas que permiten amortiguar o disipar la energía de ciertos eventos hidrometeorológicos. Si estas medidas no son suficientes, se deberá entonces contemplar la adaptación artificial por medio de obras de protección o la reubicación del sistema (Farrag – Thibault, 2014).

Para lograr la sustentabilidad es importante analizar, comprender y evaluar los cambios que sufre la morfología litoral como resultado de las fuerzas y procesos ambientales y las acciones humanas que afectan su actividad natural (Rivera et al., 2004), y proponer soluciones que permitan el cuidado del ambiente.

La experiencia ante los fenómenos pasados permitirá mejorar las propuestas de adaptación con base en criterios de vivencias particulares a cada región.

PLANTEANDO LÍNEAS DE ACCIÓN

Actualmente existen ya tanto a nivel nacional como internacional planes de acción para la prevención de desastres con enfoques aplicados principalmente en ciudades y dirigido a la población, sin embargo surge la inquietud de qué pasa con la infraestructura. Las obras civiles reflejan grandes inversiones monetarias, en tiempo, empleos y alteraciones ambientales para edificar alguna estructura o sistema que prestará el servicio con el que se satisface una necesidad.

Para impulsar el desarrollo de las regiones de forma integral y sustentable es indispensable contar con un plan de acción basado en una metodología dinámica, flexible y multidisciplinaria que permita establecer pasos sencillos y cuantificables que ayuden en la toma de decisiones. Ésta propuesta representa un primer acercamiento a una metodología que puede aplicarse ante cualquier situación o sistema aplicable, sin embargo por ser parte del avance de una investigación específica, se hace el ejemplo de la aplicación en los sistemas de protección costera y portuaria.

ESTRUCTURACIÓN GENERAL

Para el dimensionamiento y el diseño de una nueva obra de protección se requieren realizar diversos estudios, siendo los principales los referentes a los vientos, el oleaje y el análisis específico de la zona de la costa donde estará emplazada dicha estructura, pero para adaptarla después de su construcción el procedimiento cambia, ya que las condiciones climáticas presentadas en ese momento son diferentes a las que se tomaron en cuenta para el diseño original, por lo que se deben considerar otros factores.

Para tener una idea de la variación que se presenta en los eventos hidrometeorológicos se realizan proyecciones de los fenómenos con base del registro de información histórica, así como de las repercusiones que estos han tenido en el pasado.

Sin embargo, por alteraciones mayormente antropogénicas, las condiciones extremas han sufrido incrementos en duración, intensidad y violencia en los efectos negativos que éstas generan en diferentes regiones. El cambio climático representa no solo una amenaza, sino una oportunidad para impulsar e innovar en diferentes procesos del desarrollo sustentable, y para disminuir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia de cualquier sistema, en este caso, el referente a las obras de protección portuaria.

Debido a lo descrito anteriormente, resulta de gran importancia establecer una guía dinámica y multidisciplinaria que permita guiar el proceso para generar la capacidad de resiliencia del sistema de protección portuaria. Para ello se presenta una metodología que se apoya en el proceso de generación de indicadores para determinar cuáles son los principales factores que generan la causa del problema y así presentar las posibles soluciones específicas a éstos. Cabe señalarse que a pesar de que los

componentes y procesos de ésta propuesta se representan mediante un diagrama, no se puede decir que dicha metodología es un algoritmo², ya que la incertidumbre está presente durante todo el proceso.

Se pretende ésta metodología sea dinámica ya que las condiciones hidrometeorológicas varían constantemente, por lo que se requiere de un modelo que posea flexibilidad para hacer los cambios necesarios que permitan reflejar lo más parecido a la realidad, de mismo modo el que sea multidisciplinaria ya que para poder dar solución al sistema en conjunto se requiere hacer el análisis de cada parte involucrada, del análisis de la infraestructura *per se*, de la gestión en la planeación y en la toma de decisiones, e incluso se deben analizar las repercusiones ambientales, sociales y económicas que se derivan de la aplicación de esta investigación.

Nivel 1: Reconocimiento de las partes

Si bien las variaciones hidrometeorológicas representan tanto amenazas como oportunidades, la presente propuesta las tomará como un problema al que se busca generar la mejor solución posible, es decir, generar la capacidad de resiliencia de un sistema en funcionamiento que resulta afectado, por lo tanto se requiere desde analizar el por qué se genera el problema, hasta la evaluación de las soluciones. Para ello, ésta metodología se divide en 2 niveles: Reconocimiento y desarrollo de las secciones como se esquematiza en la ilustración 2.

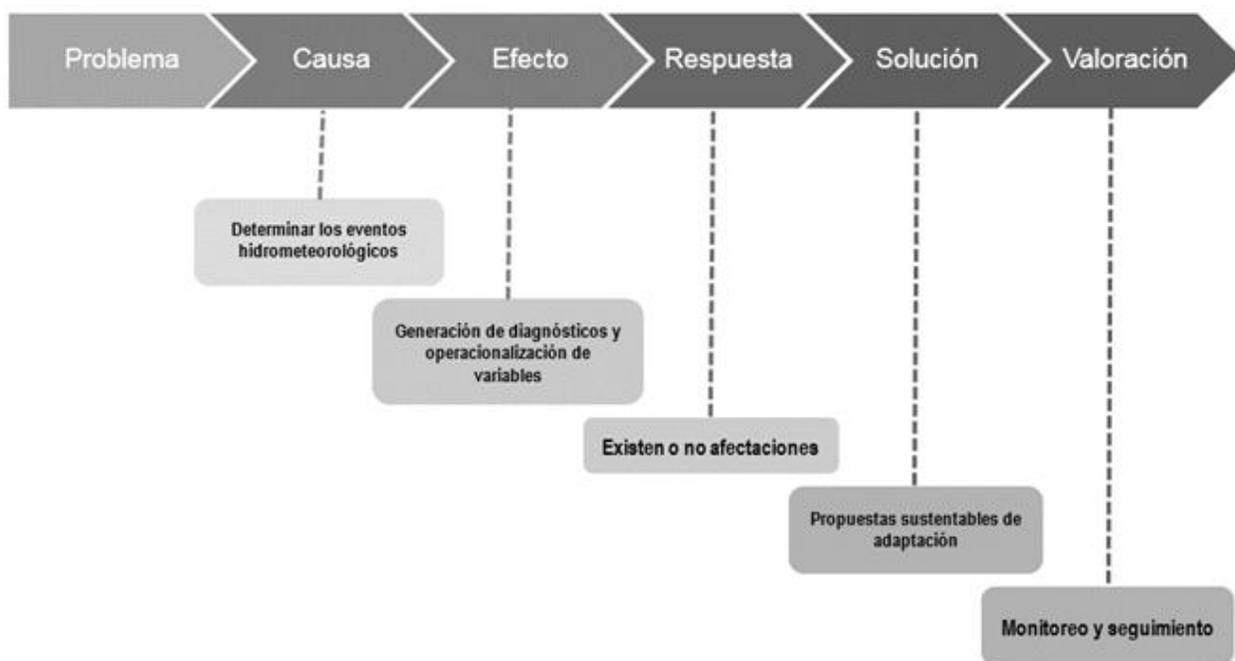


Ilustración 2: Nivel 1 Reconocimiento de las partes. Elaboración propia.

Una vez determinada la situación en conflicto, se establecen las causas del problema, los efectos que las causas generan, la respuesta del sistema bajo las condiciones actuales, las propuestas de solución con el

²Se entiende algoritmo como un conjunto preescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quién deba realizar dicha actividad.

enfoque de sustentabilidad y por último la valoración que permita monitorear tanto la evolución de las causas como la respuesta producto de la decisión tomada.

Es conveniente seguir la secuencia presentada, sin embargo si el proceso de análisis requiere regresar a alguna sección previa ante alguna modificación es posible y recomendado hacerlo, ya que entre mayor cantidad de variables, de información verídica y de detalle de análisis se tenga y se obtenga, el resultado será más apegado a la realidad.

Nivel 2: Desarrollo de las secciones

Para cada sección del Nivel 1 se establece un conjunto de actividades a realizar buscando llegar al objetivo. Este segundo nivel se denomina desarrollo de las partes y se representa en la ilustración 3. Para determinar la causa de éste problema se deben de determinar los eventos hidrometeorológicos que actúan y sobre todo aquellos que repercuten en la infraestructura de protección costera y portuaria.

Si bien se ha mencionado que se considera como un sistema de protección portuaria, el hacer énfasis en la infraestructura se debe a que si ésta falla repercute directamente en su condición física e indirectamente al verse interrumpido el servicio u objetivo para la que fue construida, lo que se traduce en posibles daños ambientales, sociales y económicos.

Como primera instancia, se recurre a la recopilación de información histórica del sitio de análisis mediante la consulta de fuentes reconocidas y por los diferentes medios existentes (reportes, estadísticas, artículos, etc.). Aunado a los métodos numéricos, modelaciones físicas y/o simulaciones se pueden integrar avances tecnológicos como el uso de equipo como los drones y vincularlos a métodos como los SIGs. Estas técnicas además de ubicar geográficamente una zona delimitada, permiten gráficamente reconocer ciertas condiciones y/o características.

Cada evento tiene efectos diferentes, por lo que mediante el procesamiento de la información antes obtenida se resaltarán los cambios que han sufrido durante el tiempo. Dichos efectos pueden ser medidos por las variaciones en la magnitud y frecuencia con que se han presentado. Para identificar que un fenómeno está cambiando se requiere de evidencia, misma que se genera a partir de la elaboración de los diagnósticos de la situación histórica y actual, mediante el procesamiento y análisis de la información recabada, además éstos datos sirven para realizar proyecciones que reflejen un probable futuro de la evolución de los eventos.

Un método que puede ser empleado para establecer las bases de un manejo ordenado e integral de un sistema costero partiendo de la identificación de sus características, formular un diagnóstico, proponer estrategias y formulación de planes de acciones para compensar efectos que modifiquen el equilibrio del mismo e incluso cuantificar costos y beneficios económicos de los proyectos es el método de sensibilidad de los sistemas costeros del Ingeniero Héctor López Gutiérrez (2009).

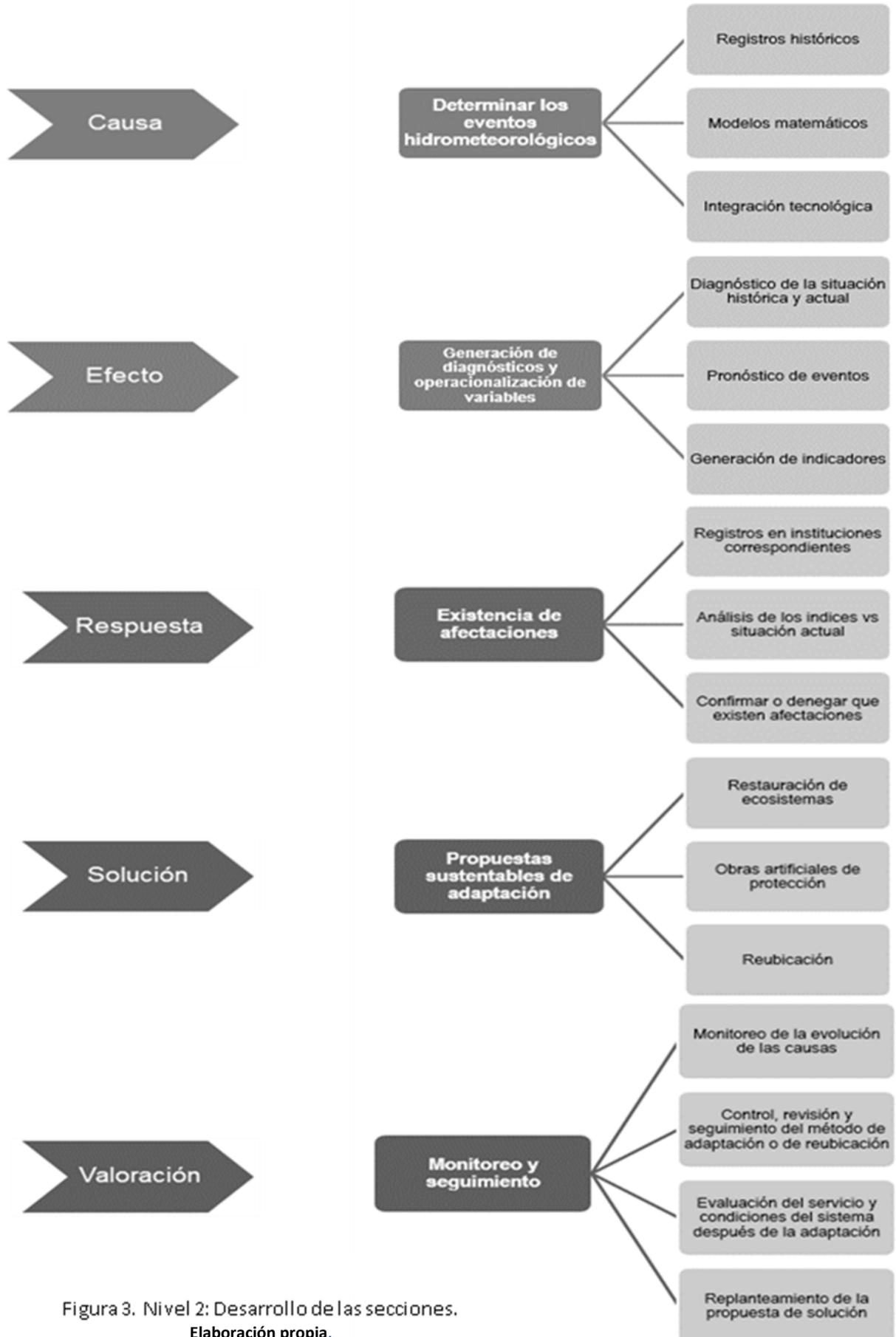


Figura 3. Nivel 2: Desarrollo de las secciones.
 Elaboración propia.

A continuación, se hace una descripción de ciertas partes de las nueve fases de las que consta el método de López (2009) que se pueden aplicar en ésta investigación:

1. Evaluar las condiciones iniciales del sistema.
2. Proponer posibilidades de uso, formular escenarios de largo plazo a partir de las condiciones iniciales del sistema identificando las opciones correspondientes.
3. Formular un diagnóstico para establecer las características del desarrollo, aprovechamientos y preservación sustentable del sistema a distintos plazos: identificar y jerarquizar las distintas posibilidades de aprovechamiento del sistema, establecer la compatibilidad desde el punto de vista del equilibrio natural y modificado del sistema con más de una forma de uso y aprovechamiento y medir el impacto sobre el equilibrio del sistema tanto en los ecosistemas contenidos como en las formas de su aprovechamiento o utilización.
4. Proponer estrategias alternativas de instrumentación del plan y hacer su evaluación.
5. Formular el plan general de largo plazo, con etapas intermedias, programas específicos y estudios de campo que permitirá su aplicación en los procesos de análisis teórico o experimental previas a la ejecución del plan de desarrollo correspondiente.
6. Proporcionar las bases para establecer los umbrales críticos de calidad y existencia de los recursos del sistema.
7. Identificar las acciones preventivas o correctivas para compensar los efectos de cualquier índole derivados de la modificación al equilibrio del sistema costero y obtener nuevas condiciones de funcionamiento con un nivel razonable de equilibrio.
8. Dar las bases para cuantificar costos y beneficios económicos y financieros de los proyectos.
9. Identificar las modalidades de instrumentación y administración del plan y sus componentes.

Además del método de sensibilidad de los sistemas costeros antes descrito, se pueden emplear otros métodos de análisis de información y procesamiento de datos aplicables a éste tema, se puede mencionar la generación de indicadores, conocida como operacionalización de variables que permite procesar la información histórica registrada de diversos eventos, de forma que es posible cuantificar y justificar que dentro de éstos, uno o algunos fenómenos son más relevantes que otros ya que los efectos provocados por las relaciones dadas lo reflejan. De acuerdo a la interpretación de los indicadores se pueden implementar medidas preventivas y correctivas.

Una variable se define como las características o atributos que admiten diferentes valores, es una propiedad que es susceptible de medirse y observarse y constituyen elementos fundamentales en las hipótesis, ya que en éstas se establecen relaciones entre las variables que se refieren a las unidades de análisis. En los procesos de investigación siempre se opera con ellas: en la observación se les describe y mide, en el manejo de datos se les ordena y agrupa, en el análisis se les relaciona y en la interpretación se les asigna el significado a estas relaciones.

Una variable es una característica, cualidad o propiedad de un hecho o fenómeno que tiende a cambiar, los valores de esta deben de poder ser medidos o evaluados (Gutiérrez, 2016), y si bien pueden ser cualitativas o cuantitativas, existe una estrecha relación de una con otra pues al final se debe justificar una propiedad cualitativa en un análisis cuantitativo y establecer una relación.

La operacionalización de las variables es un proceso que se inicia con la definición de las variables en función de factores medibles (indicadores), que representen bajo una misma escala rangos de información con características que pueden ser analizadas, comparadas y relacionadas de diversas formas. Por medio de diversos instrumentos y operaciones de probabilidad y estadística es posible generar indicadores tanto de las causas como de las soluciones. En general, el número obtenido por sí solo no significa nada, es de acuerdo a la información y de la interpretación del investigador reconocer, proyectar e incluso representar de forma gráfica la relación existente entre cada uno de los términos utilizados y de los resultados obtenidos.

Al recopilar información es necesario unificar el periodo de tiempo durante el que los fenómenos serán estudiados, la representación de las variables (porcentajes o variaciones) y sentido de la información haciendo referencia a beneficios o afectaciones. Dentro de este análisis es importante integrar las escalas temporales y espaciales tanto de la región o sistema afectado como de las acciones hidrometeorológicas extremas que repercuten sobre estos, ya que cada una tiene su tiempo y extensión y al no existir homogeneidad no sería posible una interpretación lógica y real de lo esperado.

Usualmente en una sola investigación no es posible incorporar todos los indicadores, por lo que es necesario elegir aquellos que reflejen de mejor manera el concepto que se requiera analizar y que además resulten más accesibles a los medios que se disponen para su medición. Para ello es necesario definir las dimensiones en que se puede descomponer la variable si es compleja y después de analizar el concepto que se va a desarrollar se puede encontrar el conjunto de indicadores que representan el comportamiento de la variable estudiada. Este proceso se denomina definición operacional.

En ciertas ocasiones existen muchos indicadores posibles para una misma variable por lo que resulta complicado definir cuáles son los más adecuados para describirla, o los encontrados no son fáciles de medir y deben ser reemplazados por otros menos confiables pero alcanzables a los medios por los cuales serán investigados, e incluso hay ocasiones en los que algunos indicadores no miden exactamente la variable sino alguna característica menos relevante.

Del mismo modo en que las variables pueden ser operacionalizadas a través de los indicadores correspondientes, las hipótesis elaboradas teóricamente como relaciones entre variables pueden pasar por el mismo proceso llamado hipótesis operacional, donde se definen los indicadores de cada variable que interviene en la hipótesis planteada.

La medición de variables no físicas resulta un tanto difícil ya que estas variables no pueden medirse en escalas lineales como las variables físicas y no existen para su comparación patrones de medida universalmente definidos y aceptados, ni unidades reconocidas por lo que cada investigador deduce las dimensiones y la escala apropiada para cada investigación.

Una escala se entiende como un continuo de valores ordenados correlativamente que admite un punto inicial y otro final. Debe ser confiable (se refiere a la consistencia interior de la misma y discriminar entre un valor y otro) y válida (indica la capacidad para medir las cualidades para las cuales ha sido construida, cuando en realidad mide lo que afirma medir).

Los indicadores muestran información fragmentaria que debe ser integrada o sintetizada para llegar a un valor único que exprese lo que en realidad ocurre con la variable, y éste valor total se denomina índice. Es la combinación de valores obtenidos por un individuo o elemento en cada uno de los indicadores propuestos para medir la variable. Un índice es el complejo de indicadores de dimensiones de una variable, el indicador total de una variable compleja.

Aunque se desarrollen repetidamente los procesos y métodos de análisis, no significa que la realidad se presentará de la misma forma, sin embargo es una forma de prever posibles sucesos, poder calibrar los modelos y redirigir las líneas de acción por lo que es necesario implementar el monitoreo constante de lo que ocurre en el entorno ambiental y en la infraestructura con la finalidad de crear una base de datos que sirva como antecedente a las primeras decisiones tomadas y puestas en acción en el ámbito de la resiliencia.

La respuesta que cada sistema tiene ante los eventos es diferente y su variación depende de factores como la intensidad y periodicidad con que cada fenómeno actúa y la vulnerabilidad que la infraestructura presenta bajo esas nuevas condiciones. No todos los fenómenos representan una amenaza, pero en caso de que su vulnerabilidad vaya incrementándose con el tiempo, es necesario tomar acciones antes de que el sistema se vea afectado por completo, por lo que la respuesta refleja la capacidad que éste tiene de afrontar una situación de riesgo.

Un método de conocer, revisar y evaluar los daños que los fenómenos han provocado es mediante el registro que ciertas instituciones se encargan de hacer, así que es conveniente consultar información que detalle dichas repercusiones tanto físicas sobre la infraestructura y en el medio ambiente, como social y económica en las actividades que han sido detenidas por estos efectos negativos.

Una vez conociendo los eventos a los que se ha enfrentado en el pasado y las repercusiones que han tenido, es conveniente hacer un análisis de su historia, los indicadores generados con los registros y las proyecciones con los modelos. Si de antemano se tiene el conocimiento de que después de un fenómeno han existido daños, puede que ésta parte de análisis parezca innecesaria, sin embargo es la forma de comprobar o validar que los indicadores generados reflejan la realidad de los eventos pasados y con ello, es más probable justificar lo que se espera en el futuro.

Se pueden proponer diversas alternativas de solución, las cuales estarán basadas en el estudio de las causas, los efectos y la respuesta actual del sistema de acuerdo a cada caso. Se busca como primera instancia que éstas disminuyan o erradiquen los efectos negativos y que sean sustentables, por lo que es importante analizar, comprender y evaluar los cambios que sufre tanto la infraestructura como la morfología litoral como resultado de las fuerzas y procesos ambientales y de las acciones humanas que afectan su actividad natural (Rivera et al., 2004), y así proponer medidas que permitan el cuidado del ambiente.

Es de gran importancia sugerir en primera instancia soluciones sustentables, por lo que de acuerdo con López G. (2009), se puede realizar una tipificación desde el punto de vista de los ecosistemas donde se agrupan los sistemas costeros y se toma en cuenta la influencia que tienen sobre los ecosistemas comprendidos en cada caso, los factores oceanográficos (particularmente el oleaje y las mareas) y otros factores físico-químicos como son la salinidad, el oxígeno disuelto y la temperatura del agua del mar.

Los ecosistemas físicamente expuestos son aquellos en los que se tiene presente uno o más de los siguientes elementos: oleaje de gran energía, corrientes de marea acentuadas, severos cambios de temperatura o salinidad, escasa disposición de oxígeno nocturno o procesos de sedimentación intensos. Este grupo ofrece reducidas posibilidades de uso, principalmente por la inversión que puede representar la defensa en contra de la acción agresiva de los elementos mencionados. Esta defensa involucra no sólo obras, que inicialmente propician condiciones aceptables de operación del desarrollo, sino también labores de mantenimiento cuyo costo puede incidir desfavorablemente en las bondades económicas del proyecto.

En el grupo de los ecosistemas con acción moderada de factores oceanográficos se encuentran bahías, estuarios, zonas de manglar y de arrecifes coralinos. Se observan en general condiciones de profundidad y protección contra acciones erosivas que otorgan un mayor grado de estabilidad del conjunto por el efecto moderado a débil del oleaje.

Cuando se presentan fenómenos extraordinarios como huracanes, la acción violenta de vientos y oleaje se suma el efecto de la marea de tormenta, que por el efecto de sobre elevación del nivel del mar, provoca ataques de olas, que si bien no son de gran altura, al incidir en la zona de dunas, habitualmente libres de tal acción, provocan severas erosiones que al volver a su nivel normal del agua del mar, arrastra mar adentro ese material.

El efecto positivo de las comunidades de manglares es retener buena parte de este material, tanto porque fijan la duna y reducen el efecto erosivo del oleaje, como porque la arena que se llega a poner en suspensión vuelve sedimentarse durante el proceso de reflujos de la marea de tormenta. Las formaciones arrecifales reducen la capacidad erosiva del oleaje al actuar como rompeolas sumergidos, no obstante, la sobre elevación del nivel del mar.

La participación de agentes sobre un ecosistema está asociada principalmente con el impacto que tienen sobre el sistema costero y dicha productividad. El nivel de actividad presupone que mientras mayor sea este, las variaciones cíclicas o accidentales que puedan tener los factores físicos involucrados podrán modificar la estructura del ecosistema, también en forma cíclica o accidental.

El estudio y caracterización de un sistema costero equivale a definir la relevancia de cada uno de sus componentes y la manera como está organizado el equilibrio de ellos y en consecuencia, será viable identificar los efectos que se tendrán al modificarlos con las distintas acciones contenidas en un cierto plan de desarrollo que se propongan para el sistema.

En caso de que la restauración o implementación de un ecosistema por sí sola no fuera suficiente para amortiguar los efectos de ciertos eventos, se deberá recurrir al diseño de nuevas obras artificiales o bien, a la adaptación de las existentes. Un proceso de adaptación, puede ser el equipamiento o la rehabilitación de sistemas naturales.

La decisión de que modificaciones habrá que realizar al sistema de protección existente dependerá de las amenazas y vulnerabilidades que éste posea. En conjunto con esta primera alternativa de adaptación es conveniente tomar como base las propuestas sustentables de rehabilitación o desarrollo de ecosistemas.

Como paso final se encuentra la valoración, la cual consiste en el monitoreo y el seguimiento tanto de la evolución de las causas como del proceso de adaptación a ejecutarse. Dentro de éste de llevará a cabo un control, la revisión y seguimiento del método de elegido. Además, se valorará y/o evaluará el servicio y condiciones del sistema después de haberse sometido a algún proceso adaptativo. En caso de que la respuesta no fuera satisfactoria dentro de cierto margen acordado se recomienda reiniciar el método presentado para integrar los cambios en las variables y con ello generar nuevas propuestas de solución.

Dentro de la valoración de las opciones se debe de tomar en cuenta el factor sorpresa, ya que generalmente los planes de acción cuentan con pasos consecutivos para irse desarrollando con forme a los pronósticos, pero al tratarse de un evento del cual no se puede controlar, el método y por ende la solución propuesta deben estar preparados para hacer modificaciones que al principio no se tenía en cuenta, por lo que el ingenio de los especialistas participantes en los proyectos será otra herramienta un tanto amena al método que puede ser la diferencia entre la prevención y la corrección.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Éste método pretende establecer las primeras bases de un proceso flexible y dinámico que permita hacer un análisis cualitativo y cuantitativo estableciendo las causas del problema, el diagnóstico de la situación actual del sistema, la respuesta y con ello las mejores propuestas de solución.

Sin embargo, para que se pueda considerar como una solución holística requiere de la integración y análisis de varios factores más. Al describir el concepto de resiliencia se desglosan de cierta forma los parámetros que se deben de ir cumpliendo para que la solución sea la mejor, y con el apoyo del método de sensibilidad de los sistemas costeros se abre la visión de que la propuesta elegida, aunque cumpla técnicamente con las solicitudes del problema no puede ejecutarse inmediatamente ya que entre otras cosas, ésta debe de ser analizada económicamente y aceptada mediante los diversos instrumentos normativos, aunque irónicamente, éstos se han vuelto un tanto obsoletos ya que muchos de los parámetros son establecidos con condiciones muy diferentes a las que se presentan en la actualidad, por lo que falta una actualización minuciosa de los mismos.

Una herramienta importante a realizarse es la matriz FODA, ya que en ella se reflejan las partes más resistentes y más vulnerables del sistema, además de plantear positivamente que se pueden explotar las oportunidades en vez de solo mostrar las amenazas y debilidades del mismo. Considero que este instrumento puede aplicarse en todos los ámbitos, es decir, en la infraestructura *per se*, en el ambiente en donde está emplazada la misma, desde el punto de vista social y del económico. Y a pesar de que éste es un análisis aparentemente cualitativo, está íntimamente relacionado con el análisis cuantitativo.

Otro método de uso interesante es la operacionalización de variables, ya que con ella se transforman los registros en relaciones que explican tanto variaciones como posibles afectaciones de forma numérica, analítica y gráfica por lo que su interpretación y entendimiento puede ser más digerible al presentarse de diversas formas. Es una forma de justificar que los cambios existen y las relaciones que tienen entre sí para con ello determinar y demostrar cuales son las condiciones más desfavorables tomando como base información verídica y particular para cada caso.

Aunque aparentemente el proceso se describa un tanto extenso, se plantea solo el principio donde se tratan de establecer los pasos más importantes para llegar a la propuesta que sea capaz de hacer el sistema en estudio resiliente. Sin embargo se hace la nota aclaratoria de que por mucho que se modele y de que se tengan cálculos aparentemente certeros, la naturaleza suele ser impredecible, así que esta herramienta no es la solución definitiva al problema. Se sabe de antemano que si no se trata el verdadero problema de raíz, es decir, las actividades antropogénicas causantes del calentamiento global y por ende del cambio climático, siempre se tendrá que estar recurriendo a la adaptación de los sistemas.

Un inconveniente es que el tiempo para ver mejor los resultados de una propuesta de adaptación es más lento comparado con el acelerado proceso con el que las condiciones climáticas cambian y se vuelven más agresivas, por lo que la incertidumbre estará siempre presente. Otro obstáculo a sortear es la falta y/o mala calidad de los registros y de información en general para poder generar la base de datos a procesar.

Si bien esta investigación plantea algunas fases y factores a tomarse en cuenta en el uso y la adaptación de la infraestructura, queda abierta a ser completada mediante análisis sociales, económicos y de ingeniería que estudien y den soluciones integrales para poder prever de forma más certera la evolución de los cambios, por lo que dada la complejidad de la obtención de registros suficientes, de factores que

podieran ser relevantes, del tiempo de investigación y del nivel multidisciplinario que requiere la conformación de un índice, ésta investigación se limita a la obtención de indicadores.

REFERENCIAS

D. D. Woods, Four concepts for resiliencie and the implications for the future of resilience engineering. Reliability Engineering and System Safety. United States, 2015.

J. Paredes, Resiliencia de la infraestructura. Colegio de Ingenieros Civiles. México, 2016.

A. Casagrande, Segunda conferencia Terzaghi. Estados Unidos de América, 1965.

M. A. Trujillo, La resiliencia en la psicología social. Facultad de estudios superiores Iztacala, 2006. Consultado en Abril del 2017. http://www.psicologia-online.com/articulos/2006/resiliencia_social.shtml

D. Susuki, ¿Qué es la resiliencia? PermaCultura-es, 2010. Consultado en Abril del 2017. <http://www.permacultura-es.org/permacultura/1992-que-es-la-resiliencia.html>

Greenpeace, México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. D.F., México, 2010.

Panel Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza, 2014.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). D.F., México, 2012.

Servicio Meteorológico Nacional, Ciclones tropicales, 2017. Consultado en Mayo de 2017. <http://smn.cna.gob.mx/es/ciclones-tropicales>

V.M. López L., Cambio climático y calentamiento global. Editorial Trillas. Capítulos varios. D.F., México, 2009.

Gobierno de la República, Diario Oficial de la Federación. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. México, 2013.

Gobierno de la República, Diario Oficial de la Federación. Estrategia Nacional del Cambio Climático Visión 10-20-40. México, 2013.

A. Farrag-Thibault, Cambio Climático: Implicaciones para el Transporte. Hallazgos Claves del Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Instituto de Liderazgo en Sostenibilidad de la Universidad de Cambridge (CISL, por sus siglas en inglés), 2014.

C.A. Gutiérrez V., Definición operacional de variables, 2016. Consultado del repositorio del Instituto Nacional de Salud. Perú. Consulta realizada en Febrero de 2017. <http://www.ins.gob.pe/repositorioaps>