



Capítulo 1

Fundamentos



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



1.1 Fundamentos básicos

El agua es un elemento de gran relevancia para la existencia del ser humano, constituye un factor de influencia clave en el desarrollo de cualquier civilización, de ahí la importancia de la hidrología, ciencia que estudia la ocurrencia, distribución y circulación superficial y subterránea, propiedades físicas y químicas del agua, así como su interacción con el medio ambiente y los seres vivos, en particular con los humanos. (Chow, et al., 1994). Como humanidad nos interesa principalmente su aprovechamiento de fuentes superficiales y subterráneas, su calidad, saneamiento y la reducción de afectaciones por fenómenos hidrometeorológicos (Campos Aranda, 1998).

Según el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), los fenómenos hidrometeorológicos se entienden como un agente perturbador que se genera por la acción de los agentes atmosféricos, y pueden ser: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas eléctricas, de nieve, granizo o polvo; heladas, sequías, tornados, ondas cálidas y gélidas; (Cenapred, 2016).

Uno de los fenómenos relacionados a eventos hidrometeorológicos de mayor importancia son las inundaciones. Esto debido a que existen una gran cantidad de afectaciones a la sociedad relacionadas con ellas, con tendencia a ir en aumento en un futuro próximo (Cenapred, 2016). Por lo que su estudio se ha incrementado para conocer más sobre su comportamiento, mejorar nuestra convivencia con ellas y mitigar sus afectaciones. Es en este sentido que las inundaciones son el tema central de este trabajo.

1.2 Ciclo urbano del agua

El ciclo del agua, o ciclo hidrológico, es el modelo conceptual básico que describe el almacenamiento y circulación del agua entre la biósfera, atmósfera, litósfera e hidrósfera (Campos Aranda, 2010). En éste se incluyen generalmente sólo conceptos y elementos de la naturaleza; sin embargo, debido la urbanización y sus efectos sobre este ciclo surge la definición de ciclo urbano del agua, el cual toma como sistema hidrológico de control una ciudad, y describe la manera cómo los procesos naturales y fases del ciclo hidrológico son



alterados por la urbanización. Las fases principales del ciclo urbano del agua son abastecimiento, uso, saneamiento, reutilización, disposición del agua de aprovechamiento y manejo del agua de lluvia (Blanco Sandoval, 2017; Campos Aranda, 2010).

Las principales entradas de agua a la ciudad son el abastecimiento local, precipitación, escurrimiento de cuencas de aportación y escurrimiento subterráneo (Campos Aranda, 2010). La precipitación en zonas urbanas interactúa con una gran cantidad de procesos y se presenta en forma de lluvia, granizo o nieve, principalmente. El agua se almacena en depresiones, es interceptada por vegetación y elementos urbanos, se infiltra y abastece los almacenamientos subterráneos, es evapotranspirada de regreso a la atmósfera o escurre superficialmente, conducida mediante sistemas de drenaje naturales o artificiales, ver **Figura 1**. A veces es tratada para su reúso o previo a su disposición en cuerpos receptores fuera o dentro del sistema hidrológico de control (Campos Aranda, 2010).

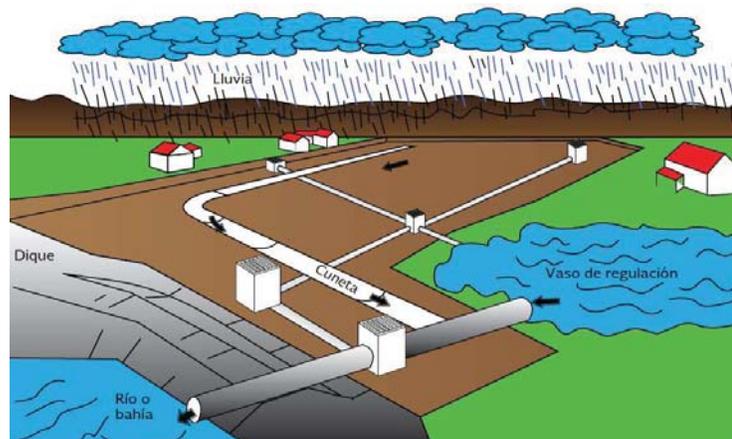


Figura 1.- Sistema de drenaje pluvial urbano. Fuente: (Conagua, 2015b).

1.3 Inundaciones

La definición de inundación varía según el autor y el contexto de la fuente, a continuación, se presentan algunas de las definiciones más comunes, además de su clasificación con base en características como su origen y naturaleza.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Algunos autores describen las inundaciones como un fenómeno hidrometeorológico (Cenapred, 2014), aun cuando puede también entenderse como la consecuencia de uno de ellos. Existen, sin embargo, inundaciones que no están directamente relacionadas con un evento de precipitación: como las inundaciones lacustres, las ocasionadas por falla de obras hidráulicas de control o almacenamiento como una presa, o inundaciones fluviales donde la precipitación se presentó sobre una zona diferente a la inundada (IMTA, 2015).

Por otro lado, en ciertas definiciones se incluye a las afectaciones como parte de las inundaciones (Viand & Silvia, s.f.); sin embargo, como se verá más adelante, a pesar de las afectaciones a los seres humanos las inundaciones forman parte de los procesos naturales del planeta, son una parte normal del ciclo hidrológico y han existido mucho antes que la humanidad misma (Bahena Ayala, 2017). Por lo que es apropiado mencionar que las inundaciones por sí mismas no generan afectaciones, por el contrario, se les asocia con varios beneficios, como la recarga de mantos acuíferos y transporte de nutrientes al suelo (Kuei-Hsien, et al., 2016; Salas Salinas, 1999; Ramírez Orozco, 2017).

Una definición amplia del concepto es la presentada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) definiendo las inundaciones como el rebase de los límites normales de confinamiento de una corriente u otro cuerpo de agua, o la acumulación de agua sobre áreas que normalmente no están sumergidas. El IPCC menciona que éstas pueden ser fluviales (asociadas con el desbordamiento de ríos), súbitas (*flash floods*), urbanas (provocadas, por ejemplo, por falla del sistema de alcantarillado), pluviales (caracterizadas porque el agua acumulada proviene de la precipitación sobre la misma zona afectada), costeras y asociadas con deslizamientos de tierra o glaciares (IPCC, 2012).

Para los objetivos de este trabajo, se adoptará la definición usada por (IMTA, 2015): *Ocupación temporal del agua sobre superficies donde comúnmente no lo está*, pueden ser pluviales (por precipitación local), fluviales (por escurrimiento), lacustres (desbordamiento de lagos y/o lagunas), costeras (por mareas altas y/o viento), por rotura de cortina de una presa, mal funcionamiento u operación de infraestructura



hidráulica. Haciendo énfasis que pueden o no ser debido a un fenómeno hidrometeorológico y generar o no afectaciones a la humanidad.

1.4 Clasificación de afectaciones por inundaciones

Las afectaciones generadas por inundaciones se clasifican en directas o indirectas, dependiendo si son causadas por contacto directo con el agua o no; y en tangibles o intangibles, según si pueden ser traducidas a valor monetario o no, incluyendo las que por ética no son traducidas a valor monetario (pérdidas humanas). La combinación de esta características permite clasificar las afectaciones en los cuatro grupos mostrados en la **Tabla 1** (Baró-Suarez, et al., 2011; IMTA, 2015; Conagua, 2015b; Jongman, et al., 2012):

Tabla 1.- Clasificación de afectaciones por inundaciones.

	Tangibles	Intangibles
Directas	Daños estructurales o pérdida total de bienes inmuebles (edificios, casas, escuelas, industrias, etc.), bienes muebles (Electrodomésticos, ropa, muebles, bienes personales, etc.), vehículos, infraestructura o cultivos.	Pérdida de vidas humanas, daños ambientales, sociales, estéticos; y ausencia escolar.
Indirectas	Daños por alteración de actividades económicas como turismo, actividad industrial y de prestación de servicio; costos de seguros, alteraciones al tráfico vehicular, pérdida de vuelos comerciales, ausencia laboral y/o pérdida de empleos.	Daños a la salud, afectaciones sociales o psicológicas: traumas y estrés postraumático.



1.5 Causas del aumento de las afectaciones por inundaciones

Las afectaciones por inundaciones tienen tendencia a ir aumentando en magnitud y frecuencia (Hammond, et al., 2015). Debido a que éstas son el resultado de la interacción de una gran cantidad de factores hidrológicos, meteorológicos y sociales, sus causas son igualmente multifactoriales, complejas y en algunos casos inciertas (Ramírez Orozco, 2017). Según lo descrito por (Bremer, 2009; IMTA, 2015; Vázquez Rodríguez, 2012; Alam, 2014; Hammond, et al., 2015; Rotimi, et al., 2015; Salas Salinas, 1999), las principales causas en el aumento de las afectaciones por inundaciones en zonas urbanas pueden englobarse en dos grandes categorías: Cambio climático y urbanización no planificada; y posteriormente subcategorizarse en otros factores, ver **Figura 2**:

- **Cambio climático:** Es provocado por los gases de efecto invernadero y causa alteraciones al ciclo hidrológico, generando en algunos sitios eventos de lluvia con mayor frecuencia, magnitud e intensidad (más precipitación en menos tiempo); y en otros el efecto inverso.
- **Urbanización no planificada:** Gran parte de la urbanización se ha llevado a cabo sin una adecuada planificación o ignorándola en caso de existir. Principalmente en países subdesarrollados o en vías de desarrollo, como es el caso de México. Esto ha provocado entre otras cosas un cambio de uso de suelo no controlado, asentamientos irregulares y especialmente que proyectos diseñados bajo ciertas condiciones pasadas queden rebasados por el comportamiento actual de la cuenca:
 - **Cambio de uso de suelo no controlado:** Genera alteraciones en el sistema hidrológico al cambiar los coeficientes de fricción provocando una mayor velocidad de escurrimiento y menor tiempo de respuesta de la cuenca; aumenta la superficie impermeable, disminuyendo la infiltración lo que aumenta el coeficiente de escurrimiento (CE) que a su vez incrementa el volumen de escurrimiento; y con la deforestación desmedida, disminuye la retención de agua en la vegetación lo que deriva igualmente en un mayor volumen de escurrimiento;



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

- **Asentamientos irregulares:** Son causados por la falta de planificación urbana, acentuada por la pobreza extrema y la migración forzada del campo a la ciudad, lo que provoca un crecimiento descontrolado de las ciudades, ocupando cada vez más los terrenos inundables que fueron evitados por los primeros asentamientos, invadiendo zonas de peligro, como llanuras de inundación. Asimismo, provocan la reducción de secciones transversales de arroyos y ríos.
- **Falta de planeación:** El escaso o nulo interés político en la prevención genera un déficit de obras pluviales y construcciones reactivas; más costosas y poco eficientes.

Estos factores propician un aumento del volumen de escurrimiento y mayores velocidades de escurrimiento lo que deriva en un menor tiempo de respuesta de la cuenca, ocasionando un mayor gasto máximo de desalojo, el cual llega a superar la capacidad de ríos, arroyos, canales, drenaje pluvial y otras obras hidráulicas.

Todo lo anterior se traduce en un aumento del tirante y tiempo de permanencia del agua; es decir, inundaciones de mayor magnitud, por ende, afectaciones más severas.

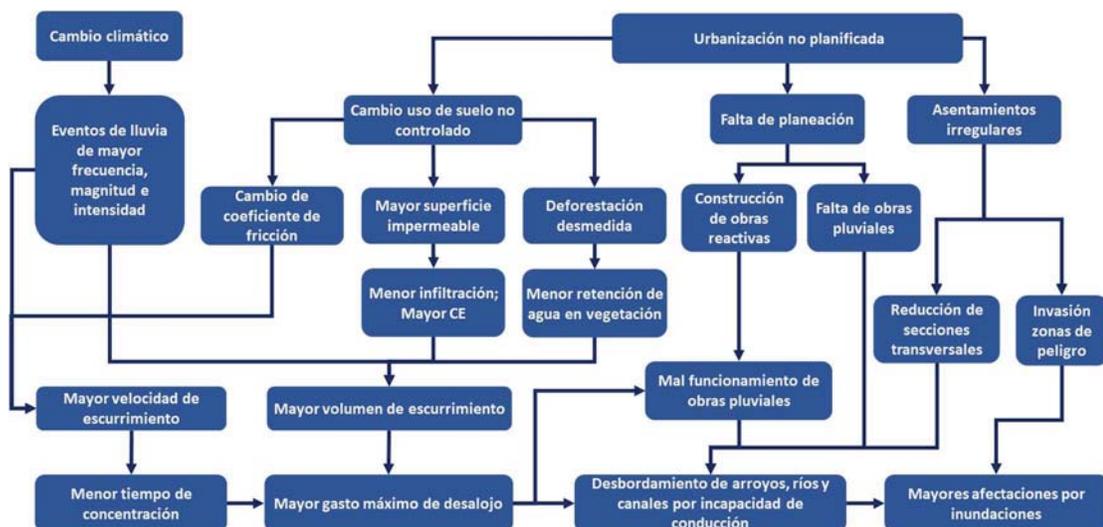


Figura 2.- Causas del incremento de las afectaciones por inundaciones. Fuente: elaboración propia.



1.6 Riesgo

El riesgo se encuentra implícito en cada aspecto de nuestras vidas, es una parte inseparable de nuestras acciones. Su concepto es utilizado de manera coloquial de muchas maneras, no necesariamente con un significado uniforme. Sin embargo, de manera formal se utiliza para entender la interacción entre una amenaza y un ente, en este caso las inundaciones y la sociedad, respectivamente (Llaguno Gilberto, 2014; Arreguín Cortés, et al., 2011).

Existen diferentes maneras de expresar la composición del riesgo, una de las más generales es la presentada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2007): “El resultado de la interacción entre el peligro y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias”. Donde el peligro se refiere a las características de la amenaza y la vulnerabilidad a la susceptibilidad del bien expuesto a ser dañado.

Por otra parte, según (Cenapred, 2004), el riesgo implica la existencia de un agente perturbador (fenómeno natural o antropogénico) que pueda provocar daños a un sistema susceptible (asentamiento humano, infraestructura, plantas productivas, etc.). Puede expresarse de manera cuantitativa como el producto del costo del bien expuesto por su vulnerabilidad y el peligro del evento, **Ec. 1**:

$$\text{Riesgo} = \text{Costo del bien expuesto} * \text{Vulnerabilidad} * \text{Peligro} \quad \text{Ec. 1}$$

Debido a que el peligro y la vulnerabilidad son variables adimensionales, el riesgo queda en términos de valor monetario, por lo que puede traducirse como el “costo de afectaciones”, es decir, las afectaciones tangibles directas.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Un enfoque similar es el presentado por (Arreguín Cortés, et al., 2011), quienes señalan en la **Ec. 2**, que de manera genérica el riesgo es una función del peligro, la vulnerabilidad y la exposición. Esta última se refiere a la ventaja o desventaja creada por la ubicación del bien susceptible de sufrir afectaciones.

$$\mathbf{Riesgo} = f(\mathbf{Amenaza} * \mathbf{Vulnerabilidad} * \mathbf{Exposición}) \quad \mathbf{Ec. 2}$$

Un enfoque más reciente del riesgo es el presentado por (Bahena Ayala, 2017) quien, como se muestra en la **Ec. 3**, incluye la resiliencia como un coeficiente de reducción del riesgo:

$$\mathbf{Riesgo} = f\left(\frac{\mathbf{Amenaza} * \mathbf{Vulnerabilidad} * \mathbf{Exposición}}{\mathbf{Resiliencia}}\right) \quad \mathbf{Ec. 3}$$

Como sucede con muchos conceptos, no existe un consenso general en cuanto al significado de resiliencia, su significado varía respecto a su autor y el contexto en el que se utilice. A pesar de esto, los autores concuerdan que a mayor resiliencia de un ente este será menos afectado por un evento perturbador, como una inundación (Hammond, et al., 2015); es decir, la resiliencia reduce el riesgo.

Para que un ente se considere resiliente debe cumplir con 4 características: **resistencia** y **adaptación** ante un evento perturbador, **recuperación** respecto al mismo y **preparación** mediante retroalimentación ante un evento futuro.

Como se ha expuesto, la mayoría de las definiciones de riesgo incluyen la interacción de dos elementos principales: peligro y vulnerabilidad (Ribera Masgrau, 2004), por lo que a continuación se abunda en sus definiciones.



1.6.1 Peligro

También encontrado en la bibliografía como amenaza, se define como un factor externo que tiene influencia sobre un ente, sujeto o sistema; asociado con un fenómeno de origen natural o antropogénico. La amenaza cuenta con características específicas que la describen: magnitud o intensidad, tiempo, ubicación y frecuencia de ocurrencia o probabilidad de excedencia (P), esta última permite asociarlo con un periodo de retorno (Tr) mediante la **Ec. 4** (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2002):

$$Tr = \frac{1}{P} \quad \text{Ec. 4}$$

Dentro de los peligros naturales podemos hallar: actividad volcánica, sismos, tsunamis, fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, entre muchos otros (CEPAL, 2007).

Para el estudio de los peligros es necesario describir los fenómenos perturbadores que los provocan mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso, medible y posible de representar numéricamente su interacción con el bien expuesto (Cenapred, 2004). Por lo anterior, la amenaza asociada con inundaciones se describe como peligro ante inundaciones, siendo sus características cuantificables que lo describen: tirante máximo, velocidad máxima de escorrentía, carga de transporte de sedimentos y tiempo de permanencia (IMTA, 2015; Ribera Masgrau, 2004).

Por otra parte, la probabilidad de ocurrencia se incluye dentro del peligro ante inundaciones al asociar una magnitud específica de una característica hidráulica de la inundación con un periodo de retorno; es decir, a cada tirante máximo y/o velocidad máxima de escorrentía se les asigna el periodo de retorno del evento de lluvia que los provocó (IMTA, 2015).



1.6.2 Vulnerabilidad

Existen variantes de este concepto, dependiendo del autor y el contexto en que lo maneje, su definición más simple es “susceptibilidad a ser afectado” (Viand & Silvia, s.f.).

Otros autores han abundado más en el concepto. Por ejemplo, según (Cenapred, 2004) la vulnerabilidad es la susceptibilidad o propensión de un sistema expuesto a ser afectado o dañado por el efecto de un fenómeno externo perturbador (amenaza); es decir, la magnitud de afectación que puede presentar un ente por el efecto de un fenómeno externo. Según (CEPAL, 2007), es la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas. Y según (Blaikie, et al., 2003), es la característica de una persona o grupo y su situación que influencia su capacidad de anticiparse, poder resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural.

Dentro de diversas definiciones se identifican características importantes a considerar:

- No debe existir relación entre la magnitud de la acción externa perturbadora y la magnitud de la vulnerabilidad; la vulnerabilidad no cambia en función de la magnitud del peligro; es decir, la vulnerabilidad de una vivienda será la misma sin importar la magnitud de la inundación (Ribera Masgrau, 2004);
- Aun cuando no depende de la magnitud del peligro, sí depende de la naturaleza del mismo, pues el mismo ente (persona, ciudad, bien, etc.) puede tener diferente vulnerabilidad ante diferentes acciones externas perturbadoras; es decir, una misma vivienda puede tener una vulnerabilidad diferente ante inundaciones que ante un sismo. Por lo que la vulnerabilidad debe ser asociada a una acción externa perturbadora específica (Ribera Masgrau, 2004);

Por ende, en este trabajo se entenderá la vulnerabilidad como el conjunto de características intrínsecas de un ente que lo hacen propenso a ser afectado por una acción externa específica.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Hablando particularmente de las inundaciones, se puede describir la vulnerabilidad ante inundaciones de: personas (en lo individual o como grupo), ciudades, bienes inmuebles (edificios, viviendas, e infraestructura en general) y bienes muebles (toda posesión que puede ser movida por su dueño; menaje) (Blaikie, et al., 2003). Y ésta depende fuertemente de la sociedad; su economía, cultura, desinformación, educación e inclusive creencias religiosas (Bravo Jacomé, et al., 2013).

En cuanto a la exposición, no es en sí un componente más del riesgo, como la vulnerabilidad y el peligro, sino que es una condición que denota si existe o no interacción entre características. Por tanto, es binaria; es decir, existe o no interacción entre el peligro y la vulnerabilidad.

Considerando lo anterior, para efectos de este trabajo se entenderá el riesgo como la interacción entre el peligro y la vulnerabilidad; es decir: “Probabilidad de un ente expuesto, susceptible y resiliente a ser afectado por una amenaza externa”, tal como se describe en la **Ec. 5** y **Figura 3**.

$$Riesgo = Peligro \{Exposición\} \left(\frac{Vulnerabilidad}{Resiliencia} \right) \quad Ec. 5$$

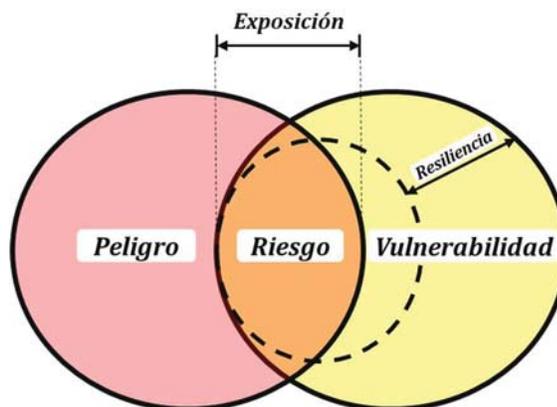


Figura 3.- Composición teórica del riesgo. Fuente: elaboración propia.



1.7 Programas y Proyectos de Inversión Pública (PIIP)

La mayoría de las acciones enfocadas a la mitigación de afectaciones por inundaciones son realizadas con dinero público en forma de Programas y Proyectos de Inversión Pública (PIIP) (Conagua, 2015a).

De manera general, con el fin de satisfacer las necesidades de la población los gobiernos recolectan dinero a través de impuestos para posteriormente ejercerlos en rubros específicos mediante diversos mecanismos. Uno de estos mecanismos son los PIIP, definidos como un conjunto de obras y acciones ejecutadas por un ente de gobierno o asociación civil sin fines de lucro, para la construcción, ampliación, adquisición, modificación, mantenimiento o conservación de activos fijos con el fin de solucionar una problemática o solventar una necesidad específica de la sociedad en cumplimiento de la teoría de la economía del bienestar; es decir, generar el mayor bien común con la mayor eficiencia económica posible (SHCP, 2015; Salinas Salas, 2017).

Los PIIP deben realizarse cumpliendo normas de calidad establecidas, ejecutándose en momento oportuno, cumpliendo la legislación aplicable y respetando las condiciones ambientales del entorno donde se desarrollen.

1.8 Evaluación Socioeconómica

Debido a que los PIIP se realizan con dinero del erario, se debe buscar y garantizar que dicho dinero sea invertido de la mejor manera. Existen diferentes tipos de evaluaciones aplicables a los PIIP para seleccionar el óptimo: técnica, ambiental, legal, financiera y socioeconómica; cada una de ellas es importante, siendo complementarias entre ellas y de ninguna manera excluyente (Conagua, 2015a).

En la búsqueda de esta optimización en el ámbito económico y social, uno de los principios para la ejecución de un PIIP es que no solo debe justificar su asignación de



recursos: costo de inversión, mantenimiento y operación a lo largo de su vida útil; sino que debe ser la opción que represente la mayor rentabilidad.

Para esta justificación se lleva a cabo la evaluación socioeconómica. En ella se proponen diversos PPIP que ofrezcan solución a un mismo problema y se comparan los resultados de sus análisis socioeconómicos, seleccionando el que cuente con los mejores resultados respecto a los demás. Los PPIP que se incluyan en la evaluación deben contar con una característica importante: todos generar el mismo beneficio social (Arreguín Cortés, et al., 2011).

En el caso de México, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), estipula que deben evaluarse por lo menos 3 PPIP (Conagua, 2015a), el PPIP a realizar debe ser el que, una vez demostrada su factibilidad técnica, financiera, legal y ambiental; demuestre una mayor rentabilidad económica positiva.

1.9 Análisis socioeconómico o costo beneficio (ACB)

En éste se identifican los beneficios y costos derivados de la realización de un PPIP, comparando dos situaciones hipotéticas: sin proyecto y con proyecto, inferidas mediante cálculos, estimaciones y supuestos razonables, a partir de la situación actual (SHCP, 2015).

Los beneficios del proyecto se entienden como la diferencia entre los bienes y servicios producidos o mantenidos de los que se dispondría en ambas situaciones, sin proyecto y con proyecto; **Figura 4.**

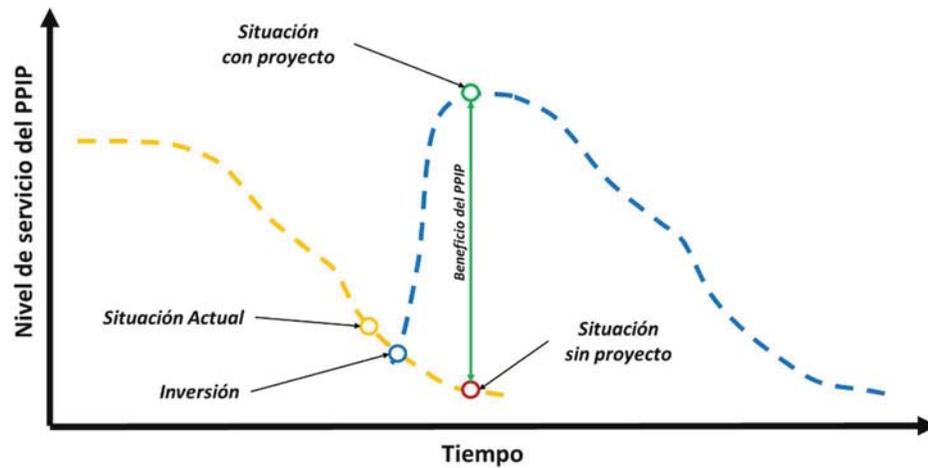


Figura 4.- Beneficios teóricos de un PPIP. Fuente: elaboración propia.

Los costos de un PPIP son las erogaciones que deben hacerse para su realización y funcionamiento. Se identifican tres costos principales: Inversión inicial, operación y mantenimiento. En esto radica la diferencia entre un análisis privado y un análisis público. En el público se comparan beneficios contra costos y en el privado egresos contra ingresos (SHCP, 2015; Conagua, 2015a).

La evaluación de los PPIP en México se realiza en un horizonte de evaluación de 30 años, considerando la variación del dinero a través del tiempo mediante el valor presente neto (VPN) utilizando una tasa de interés anual, *tasa de interés social*, del 10% (Conagua, 2015a; SHCP, 2014).

1.10 Daño Anual Esperado

Para identificar los beneficios de un PPIP de mitigación de afectaciones por inundaciones se utiliza el concepto de Pérdida Anual Esperada o Daño Anual Esperado (DAE) (Salas Salinas, 1999), el cual es definido, como se muestra en la **Figura 5**, como *el área bajo la curva de daños anuales* o bajo la curva de pérdida anual (Arnell, 1989).

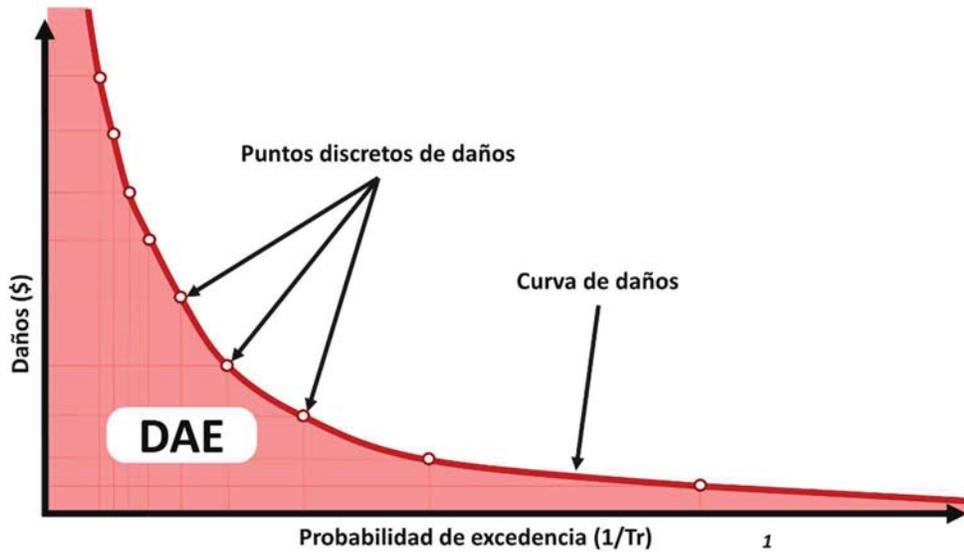


Figura 5.- Forma teórica de la curva de daños anuales para cálculo del DAE. Fuente: elaboración propia adaptación de (Arnell, 1989; Salas Salinas, 1999).

En la práctica, para la estimación de afectaciones por inundaciones, dicha curva se construye con los daños directos tangibles causados por eventos de inundación con diferentes periodos de retorno, por ende, asociados con una probabilidad de excedencia o frecuencia anual de excedencia específica. Cada valor de daños asociado con una probabilidad de excedencia será un punto discreto de la curva de daños, como se muestra en la **Figura 5**. Para el cálculo del DAE se integra el área bajo la curva de daños mediante la **Ec. 6** (Domínguez Mora & Torres, 2013).

$$DAE_j = \sum_{i=1}^{\text{Núm. de Eventos}} E(P (\$)|Evento i)P_A(Evento i) \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

$E(P|Evento i)$: Daño o costo de pérdida ante un evento de inundación asociado a un periodo de retorno (\$);

$P_A(Evento i)$: Probabilidad de excedencias del evento de inundación; es decir, el inverso del periodo de retorno asociado con el evento de inundación para el que se estiman los daños.



ÍNDICE PÉRDIDA-POSESIÓN PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS

Para generar puntos discretos de la curva de daños que permitan una integración de la misma con un grado de incertidumbre aceptable se obtienen los daños para diversos periodos de retorno, pudiendo ser: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1, 000 años, acorde a la recomendación de (IMTA, 2015).

El indicador DAE es usado para los análisis socioeconómicos debido a que tiene unidades de valor monetario, lo que permite evaluar los beneficios de los diversos PPIP de mitigación de afectaciones por inundaciones en una unidad de medida homogeneizada, ver **Figura 6**. En este tipo de PPIP los beneficios son la diferencia entre el DAE analizados a VPN de la situación sin proyecto y con proyecto.

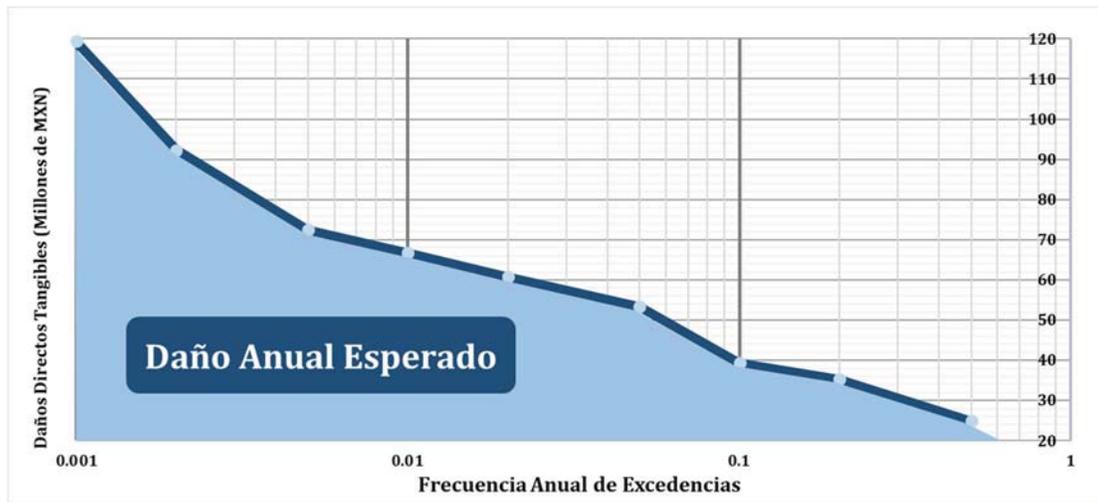


Figura 6.- Curva de pérdida anual por inundaciones - Tuxtla Gutiérrez, situación sin proyecto. Fuente: elaboración propia con datos de (IMTA, 2015).