

Infraestructura verde: estrategias de mitigación para zonas inundables de Villalba

Proyecto presentado a la Escuela Graduada de Planificación de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, como uno de los requisitos para obtener el grado de Maestría en Planificación.

Aprobado por:

Dr. Rafael Irizarry Odlum

Consejero Principal

Félix Aponte

Lector

Presentado por:

Roberto F. Torres Torres

Diciembre 2021

Biografía:

Roberto Félix Torres Torres nació el 23 de abril de 1991 en Ponce, Puerto Rico. Criado en el municipio de Villalba, cursa sus estudios en el Colegio Nuestra Señora del Carmen y la Escuela Superior Lysander Borrero Terry. A sus 18 años comienza sus estudios en la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras (UPRRP) , donde recibe su bachillerato en Diseño Ambiental de la Escuela de Arquitectura, y en la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Carolina donde recibe un grado asociado en Diseño de Interiores. Durante sus estudios, fue partícipe de múltiples programas que le permitieron trabajar en la Administración de Desarrollo Económico de los EEUU, donde aprendió a desarrollar estrategias de mitigación de desastres; ha presentado propuestas de resiliencia social y económica tras eventos naturales en San José, California y Tokio, Japón bajo el *Building the TOMODACHI Generation Program*, entre otras. Esto le generó interés en los procesos de planificación, por lo cual decide cursar la maestría en Planificación en la UPRRP. Durante sus estudios, trabajó bajo la Oficina de Planificación y Desarrollo Físico, fue parte del Consejo de Estudiantes de la Escuela Graduada de Planificación, y colaboró en el *Coastal Research and Planning Institute*.

Agradecimientos:

Agradezco profundamente a la facultad y administración de la Escuela Graduada de Planificación, tanto por las oportunidades de crecimiento y desarrollo que me brindaron, como por el apoyo inmensurable a través de esta travesía.

Agradezco a mis compañeros planificadores, los cuales me inspiran y de quienes aprendo tanto en lo personal como en lo profesional.

Agradezco a Ana y David, porque más que compañeros y colegas son mis amigos. Gracias por escucharme, y por el privilegio de escucharles.

A Michelle. Que la culminación de esta caótica aventura sea el comienzo para que puedas cumplir todas tus metas. Creo en ti, y en tu deseo de crear un mejor país. Gracias por estar, por viajar, por escuchar.

A mi familia. A mis padres. Porque todo lo que tengo, todo lo que soy, es gracias a ellos.

Dedicatoria:

A mis sobrinos. Los amo con todo mi ser. Por un mundo mejor para ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1: Introducción.....	
1.1 Problema.....	
1.2 Preguntas y Objetivos.....	
Capítulo 2: Marco Teórico: Infraestructura Verde.....	
2.1 <i>Water Sensitive Urban Design</i>	
2.3 <i>Sponge City</i>	
2.4 Comparativo de estrategias de intervención.....	
Capítulo 3: Marco Legal.....	
Capítulo 4: Metodología de Investigación.....	
Capítulo 5: Análisis y Hallazgos.....	
5.1 Plan Estatal de Mitigación de Riesgos Naturales de Puerto Rico.....	
5.2 Plan de Acción de los Fondos CDBG-MIT.....	
5.3 Plan Territorial del Municipio Autónomo de Caguas.....	
5.3 Proyectos Municipales Propuestos.....	
5.4 Sector No Gubernamental.....	
5.4.1 Reimagina Puerto Rico.....	
2.4.2 Compañía de Parques Nacionales de PR.....	
Capítulo 6: Alternativas de Intervención.....	
6.1 Alternativa I: No acción.....	
6.2 Alternativa II: Infraestructura verde.....	
6.3 Alternativa III: Infraestructura Híbrida.....	

Capítulo 7: Evaluación de Alternativas.....

Capítulo 8: Implementación de alternativas.....

Capítulo 9: Conclusión.....

Listado de referencias.....

Anejos.....

Capítulo 1: Introducción

Recientes eventos atmosféricos en los pasados cinco años han demostrado e intensificado la vulnerabilidad de las zonas urbanas ante el cambio climático. Estas se han visto afectadas por inundaciones repentinas, incremento en la precipitación, olas de calor, sequía, entre otro tipo de riesgos naturales. Más aún, el desarrollo acelerado y desproporcionado ha posibilitado que se tomen acercamientos y decisiones que han perjudicado el desenvolvimiento y la respuesta ideal de las ciudades ante estos eventos climatológicos. No obstante, en las últimas décadas la infraestructura verde ha sido aceptada e incentivada como una alternativa eco amigable y sustentable que puede ir de la mano con el desarrollo de las zonas urbanas.

El Municipio Autónomo de Villalba ha sufrido el embate continuo de inundaciones ribereñas en su zona urbana debido a su cercanía al Río Jacaguas. Esto ha resultado en destrucción de infraestructura municipal y daños a viviendas e infraestructura comercial. No obstante, según el Plan de Acción de los Fondos CDBG-MIT, el enfoque principal de las estrategias gubernamentales para mitigar futuros riesgos es el uso de la infraestructura gris. En este documento se estudian los distintos acercamientos para la mitigación de inundaciones que utilizan organizaciones, municipios y agencias gubernamentales y cómo la infraestructura verde, como alternativa para mitigación, puede alinearse a futuras intervenciones.

1.1 Problema

El interés en el manejo de inundaciones costeras y ribereñas ha ido en aumento, en gran parte debido al perfil actual de los eventos climatológicos catastróficos y los proyectados bajo el *Fourth National Climate Assessment* (2018). Según este informe, se espera que haya un cambio en los patrones de precipitación en Puerto Rico, donde “se proyecta que el incremento en las emisiones globales de carbono reducen la precipitación pluvial media”, pero de igual forma “se prevé que crezca la intensidad de los acontecimientos de precipitación pluvial extrema, que pueden acrecentar los impactos de las inundaciones de agua dulce” (pág. 124).

En los últimos cinco años, pudimos observar cómo los fenómenos atmosféricos, y las condiciones climatológicas que dejaron a su paso, afectaron nuestro país y causaron daño a nuestra infraestructura. En las zonas urbanas de los municipios fueron protagonistas las inundaciones causadas por las escorrentías procedentes de cuerpos de agua adyacentes. Estas causaron daños significativos, entre ellos deslices de terreno, pérdida de hogares y comunidades, y destrucción de infraestructura vial. Más aún, la infraestructura gris que atiende el manejo de aguas pluviales, aguas negras e inundaciones en Puerto Rico es anticuada y no funciona a su cabalidad (Peisch, 2014). Las tuberías son muy angostas para las necesidades actuales del manejo de agua, y la acumulación de sedimento en las mismas imposibilita su funcionamiento total. De igual forma, los altos niveles de urbanización de nuestros terrenos impiden que el agua de lluvia que cae en nuestros suelos sea permeabilizada. Por ende, cada vez que llueve nuestras calles resultan en inundaciones severas que limitan nuestro desenvolvimiento social y pone en riesgo nuestra infraestructura, salud y vidas. Uno de los ejemplos

donde esto se vio evidenciado es en el municipio de San Juan, en el barrio de Santurce, específicamente las zonas de Barrio Obrero, Ocean Park y la Avenida Fernández Juncos, las cuales recibieron cobertura internacional; su localización inmediata a la costa del Océano Atlántico y el Caño Martín Peña logró exacerbar la vulnerabilidad de las zonas.

No obstante el municipio de Villalba también sufrió daños significativos a su infraestructura (Figura 2) tras el fuerte embate de inundaciones repentinas ocasionadas por el Río Jacaguas. En específico, las inundaciones ocasionaron el colapso de dos puentes, ambos en la Carr. 149; uno de los puentes otorga acceso a una zona residencial, mientras que el otro funciona como vía principal para acceso residencial, comercial, cívico y de entretenimiento, localizado en el casco urbano. Además, la urbanización La Vega se localiza colindante al cauce del río, y aproximadamente la mitad de las residencias están bajo riesgo de inundabilidad.

Por otro lado, las zonas urbanas en los municipios tuvieron un rol fundamental en proveer los servicios esenciales a los ciudadanos luego de la catástrofe. No obstante, el desarrollo urbano se ha caracterizado por rechazar el vivir en el centro urbano, y las comunidades se han movilizadado hacia áreas rurales. Esto ha dejado los cascos urbanos con estructuras abandonadas y a los municipios con carácter de espacios dormitorio, explícitamente establecido en el Plan de Ordenación Territorial de Villalba (pág. 6, Introducción) donde las personas acuden durante el día y al anochecer estos permanecen sin ningún tipo de actividad, afectando el carácter y las capacidades de desarrollo social y económico de los municipios.

1.1.2 Trasfondo urbano

Fundado en 1917, el municipio autónomo de Villalba se localiza en la región sur montañosa de Puerto Rico. Conocida como la Ciudad de los Avancinos, limita con los municipios de Coamo al este, Juana Díaz al sur y oeste, y Orocovis al norte. Pertenece a la subregión geográfica conocida como Colinas Semiáridas del Sur de la Cordillera Central. Está organizado en ocho barrios: Villalba Pueblo, Caonillas Abajo, Caonillas Arriba, Hato Puerco Abajo, Hato Puerco Arriba, Vacas, Villalba Abajo y Villalba Arriba, cubriendo 37.69 sqmi de territorio. Según el Censo del 2020, la población del municipio disminuyó a 22,093 de 26,073 en el 2010. De esta, el 51.7% son mujeres, y el 18.6% son personas mayores de 65 años, con una densidad poblacional de 590/sq mi.

El río Jacaguas es la arteria principal del sistema hidrográfico del municipio. A este río conectan varias quebradas y riachuelos que nutren al mismo. Este se extiende por 22.5 millas desde su nacimiento hasta el Mar Caribe, supliendo agua a las reservas Toa Vaca y Guayabal. Debido a las características del río (posee una elevación de 640 metros sobre el nivel del mar), y la morfología del terreno del municipio, durante periodos de lluvia extensos y prolongados, las inundaciones repentinas resultan de alto peligro debido a la velocidad del agua. A esto contribuye la poca profundidad del río, característica común en los cuerpos de agua del país.



Figuras 2. Visualización aérea de la destrucción del puente principal Carr. 150 **A.** Vista aérea puente conector entre dos tramos de la Carr 150. **B.** Vista aérea del Río Jacaguas hacia urbanización La Vega. **C.** Vista aérea hacia el casco urbano de Villalba. Fotos por Víctor Alvarado, 2018.

SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA

La infraestructura en las ciudades ha evolucionado a través de los tiempos para atemperarse a las necesidades inmediatas de la civilización. En la historia moderna, los avances tecnológicos han permitido el mirar más allá del presente y proyectar escenarios, para así planificar e intervenir en los procesos con el fin de prevenir. En el caso de Puerto Rico, con el propósito de mitigar inundaciones urbanas, se ha optado por proponer la canalización de los ríos a través del uso de infraestructura gris. Entre estos, luego del huracán María, se asignaron sobre \$2 mil millones en fondos para la canalización de varios ríos a través de la isla: \$500,000,000 para el Río La Plata, \$250,000,000 para el Río Grande de Loíza, \$60,000,000 para el Río Guanajibo en Mayagüez, entre otros. Para recibir fondos CDBG-DR, el municipio de Villalba presentó una ponencia para la canalización del Río Jacaguas, a un costo de \$20,000,000.

En este proyecto se analizará cómo intervenciones alrededor del centro urbano y el Río Jacaguas, ligadas a la infraestructura verde, pueden servir como estrategias de mitigación para futuras inundaciones urbanas en eventos de precipitación. Este proyecto busca explorar la integración de alternativas ligadas a la infraestructura verde en los desarrollos recreativos, urbanos y/o ambientales que puedan ser implementados en la zona, utilizando el Río Jacaguas como ente generador de cambios reaccionarios, argumentando al cuerpo de agua como arteria vital en el desarrollo de la zona. Finalmente, proponer intervenciones en las áreas circundantes al Río Jacaguas como posible respuesta a problemas de planificación en la zona urbana, y a través de las intervenciones urbanas desarrollar una red de infraestructura verde para mitigar las inundaciones.

1.2 Preguntas y Objetivos

1. ¿Cuál es el acercamiento principal que el municipio de Villalba utiliza para mitigar las posibles inundaciones futuras?

- Analizar los Planes de Ordenamiento Territorial, Mitigación, proyectos de infraestructura, propuestas, etc. para identificar el modus operandi del municipio en torno a la resiliencia de su zona urbana.

2. ¿Qué estrategias de mitigación ligadas a la infraestructura verde han sido exitosas en el manejo de inundaciones y escorrentías urbanas en Puerto Rico, que puedan replicarse en el municipio de Villalba?

- Analizar estudios de casos y literatura para identificar estrategias que se puedan adaptar al municipio de Villalba

3. ¿Cómo la Infraestructura Verde puede atarse a los futuros desarrollos del municipio de Villalba?

- Analizar estrategias de adaptabilidad y enlazar proyectos de infraestructura gris a métodos utilizados en la infraestructura verde para crear un modelo híbrido.

Capítulo 2: Marco Teórico: Infraestructura Verde

Con el aumento proyectado en la intensidad de los eventos de precipitación, se han estudiado e implementado distintas maneras de abordar el manejo de inundaciones, en su gran mayoría resultando en implementaciones de carácter de ingeniería, conocidos como infraestructura gris (canales, redes de tuberías, y depósitos subterráneos que mueven y retienen el agua) o de carácter ambiental, conocidos como infraestructura verde (IE) (sistemas de drenaje naturales, pavimento permeable, zanjas naturales de almacenamiento de agua, techos verdes, etc). Históricamente, en Puerto Rico se ha inclinado por el método de la canalización de los ríos (río Portugués, río Piedras, entre otros), no solo para el control de inundaciones, sino para propiciar el desarrollo urbano. Más aún, recientemente se asignó más de \$2.5 mil millones para la canalización de varios ríos en todo el país, y para el Río Jacaguas, el municipio ha argumentado por mucho tiempo por la canalización del mismo, sometiendo propuestas para adquirir fondos del programa *Community Development Building Grant*.

En esta investigación, se utiliza como marco teórico principal la Infraestructura Verde, para evaluar cuál sería el acercamiento adecuado para abordar el problema presentado. Adicionalmente, se explora las ramificaciones del uso de este acercamiento en otras ramas del desarrollo urbano, como el transporte, recreación, mitigación, etc.

Infraestructura Verde

La Infraestructura Verde, concepto introducido formalmente en la década de los 1990, es un concepto que pretende integrar los servicios ecosistémicos y la tecnología para crear armonía entre el ambiente construido y no construido. No obstante, es utilizada de forma integral en los procesos de desarrollo y planificación urbana desde la década del 1960 en ciudades como Curitiba, Brasil y actualmente en Philadelphia, Pennsylvania y Melbourne, Australia, entre otros. Más aún, desde hace más de dos décadas se ha comenzado a hablar y promover el uso de la infraestructura verde orientada hacia el manejo del agua para implementarla en los procesos de planificación y diseño de las ciudades. Este acercamiento, trata a la ciudad y los espacios como parte de la naturaleza, y utiliza la tecnología para integrar los recursos líquidos a la infraestructura urbana, enfocándose en el reúso del agua. Tiene como meta establecer la tierra como el mecanismo de drenaje natural principal.

La Agencia de Protección Ambiental define la infraestructura verde como un sistema que filtra y absorbe aguas pluviales en donde cae. Por su parte, el Congreso de los Estados Unidos la definió como “la gama de medidas que utilizan plantas o sistemas de suelo, pavimento permeable u otras superficies o sustratos permeables, recolección y reutilización de aguas pluviales, o jardinería para almacenar, infiltrar o evapotranspirar las aguas pluviales y reducir los flujos a los sistemas de alcantarillado o aguas superficiales” en su *Water Infrastructure Improvement Act* (2019). Académicos la definen como una red de áreas naturales y seminaturales planificada estratégicamente e interconectada con otros elementos ambientales, diseñada y manejada para llevar a cabo una amplia variedad de beneficios a la fauna y la ciudadanía (Ferreira, 2021).

Observada como un instrumento estratégico de planificación espacial (Ferreira, 2021), la infraestructura verde es utilizada en gran manera en varias ciudades y países en el mundo. En Curitiba, Brasil se comenzó a utilizar este acercamiento desde el 1966, donde se preservó la tierra para el drenaje natural (y convirtió las riberas de los ríos en parques), se utilizó la zonificación para evitar el desarrollo en las planicies en riesgo de inundación y se promulgó leyes para preservar los espacios verdes restantes (Rabinovitch y Leitman, 1996). Desde el 1970, durante el periodo de gobernanza de Jaime Lerner como alcalde de Curitiba, este promulgó la conservación de los espacios naturales, y abogó para evitar la canalización del río Iguacu como estrategias de intervención. Al día de hoy Curitiba posee 52 metros cuadrados de espacio verde por persona (Soltani, A. and Sharifi, E. 2012).

También se ha utilizado en Australia, donde han implementado varios métodos para el manejo de aguas pluviales. Entre estos métodos que utilizan según el *Melbourne Water Corporation* existen los de recolección y almacenamiento de agua en tanques que luego puede ser utilizada para infraestructura sanitaria, lavado de carros, jardinería, etc.; jardines infiltrantes o sistemas de bio-retención, donde se utilizan las plantas y variaciones de tipos de suelos para retener aguas de lluvia y filtrar las esorrentías de nutrientes y sedimentos que puedan contaminar nuestras aguas. De igual forma, se pueden crear cuencas para sedimentos, que puedan filtrar sedimentación; humedales que funcionan para transformar los contaminantes físicos, químicos y biológicos que puedan afectar el contexto; sistemas de bombeo para inundaciones, infraestructura verde, gris e híbrida para mitigar riesgos, entre otros. Este

acercamiento es de suma validez, debido a que el agua como recurso debe ser integrada al funcionamiento de la ciudad.

2.1 *Water Sensitive Urban Design*

Otra ciudad que ha implementado el WSUD fue Philadelphia, en donde se decidió invertir \$1.6 mil millones de dólares a través de 20 años para la implementación de infraestructura verde en la ciudad, favoreciendo esto a las mejoras de infraestructura pluvial gris ya existente. Este proyecto, titulado *Green City, Clean Waters* establece la visión de Philadelphia como una ciudad que ha crecido alrededor de sus cuerpos de agua y pretende resolver los problemas del sistema de drenaje y captación de agua de lluvia, el cual está diseñado junto al alcantarillado. Esta propuesta transformaría 1/3 de la superficie de asfalto en la ciudad en espacios verdes capaces de absorber el agua (Green, 2010). Según Jared Green, entre las opciones presentadas estaba el separar el sistema de alcantarillado y el de manejo de aguas pluviales (que resultaría excesivamente costoso); construir más tanques de contención, creando conflictos con las comunidades; u optar por la infraestructura verde, resultando en intervenciones innovadoras y a menor costo (Green, 2010).

2.2 *Sponge City*

La República Popular de China es un país con problemas severos de inundabilidad. Las inundaciones han sido prominentes y, junto a las proyecciones del cambio climático, estas se han convertido en una de los riesgos de mayor amenaza a la ciudadanía (Zevenbergen, C. et. al, 2018). Por tal razón, en los últimos cinco años en China se ha comenzado a implementar un proyecto titulado *Sponge City*. Desarrollado

en el 2013, este programa pretende mejorar y aumentar la capacidad de las ciudades chinas para lograr una mejor evapotranspiración, infiltración y captación de las escorrentías (Zevenbergen, C. et. al, 2018).

Un aspecto importante de la infraestructura verde como acercamiento a los procesos de planificación, es que esta juega un rol crucial en los procesos de establecer las metas y prioridades de las comunidades (Ferreira, 2021). Esta funciona como un acercamiento integrado, el cual considera e involucra las mejores prácticas y principios, como la multifuncionalidad, conectividad y diversidad (Ferreira, 2021).

Las estrategias de planificación urbana contemporáneas no reconocen la importancia de las sinergias ambientales y sociales (Anderson, 2014). Anderson expone que las ciudades tienen un potencial inexplorado para nuevos diseños espaciales urbanos integrando servicios ecosistémicos en el espacio construido, y que a través de la infraestructura verde se puede lograr una reestructuración de las funciones urbanas (Anderson, 2014). El río Jacaguas, como cuerpo de agua que fluye a través de todo el eje principal del pueblo, provee parte de estos servicios, integrando variedad de ecosistemas. Adoptando este acercamiento a una escala menor, se estaría utilizando los recursos ya disponibles para mitigar las inundaciones, sin afectar el cauce natural del río. La Agencia de Protección Ambiental (EPA), en su publicación *Green Infrastructure Case Studies: Municipal Policies for Managing Stormwater with Green Infrastructure* presenta los beneficios que trae el integrar la infraestructura verde a los procesos de planificación (Tabla 1):

Tabla 1:

Beneficios de la infraestructura verde		
Ambiental	Económicos	Sociales
<ul style="list-style-type: none">• Mejora la calidad de aire• Aumenta espacio recreacional• Uso eficiente de la tierra• Mejora la salud de la ciudadanía• Protege de inundaciones• Protege las fuentes de agua potable• Protege y restaura los cuerpos de agua• Reduce eventos de desborde de alcantarillado	<ul style="list-style-type: none">• Reduce los costos de la infraestructura gris• Mantiene la infraestructura envejeciente• Aumenta el valor de la tierra• Promueve el desarrollo económico• Reduce costo y consume de energía	<ul style="list-style-type: none">• Crea corredores verdes• Provee acceso a peatones y ciclistas• Crea espacios atractivos que mejoran la calidad de vida• Educa a la ciudadanía sobre el manejo de aguas pluviales• Mitigación del efecto isla de calor

Propongo el uso de este acercamiento como posible método de intervención en el centro urbano de Villalba. Los municipios pequeños pueden aprovechar el método de intervenciones a pequeña escala a su favor, incorporando las comunidades para la implementación de los mismos. De igual forma pueden ser efectivos al armonizar con estrategias de infraestructura verde; estas estrategias pueden ser incorporadas a lo largo del río Jacaguas, y servir de ejercicios de mitigación de inundaciones, métodos alternos de recreación urbana, concienciación ambiental y turismo verde.

Capítulo 3. Marco Legal

El marco legal expone las leyes, ordenanzas, proyectos, reglamentos, entre otros, que de alguna forma inciden sobre el tema de la investigación. Son varias las leyes que inciden sobre el tema, y estarán ordenadas por su poder jurídico. También se han identificado ponencias que de alguna forma se enlazan a la investigación. Tomando en cuenta los documentos a exponer, se entiende que no hay un marco legal que obstruya o limite la posibilidad de implementar intervenciones puntuales orientadas a la mitigación de inundaciones; al contrario, existe un marco reglamentario amplio que apoya la infraestructura verde como un acercamiento apropiado para atender proyectos de mitigación.

La primera ley aplicable a este proyecto es la Ley 114-118 del 30 de junio del 2016 'Ley de Supervisión, Administración, y Estabilidad Económica de Puerto Rico' mejor conocida como PROMESA por sus siglas en inglés. Esta ley toma protagonismo debido a su poder jurídico, estableciendo una cláusula de supremacía en la Sección 4, que impone su poder sobre todas las leyes de Puerto Rico. Esto implica que toda ley, proyecto e intervención quedará bajo la ley PROMESA y podrá ser retada por la misma. De igual forma, esta ley incluye en el título V, titulado Revitalización de la Infraestructura de Puerto Rico, bajo la Sección 503 Proyectos Críticos, que "cualquier Proponente de Proyecto podrá someter al Coordinador de Revitalización cualquier proyecto existente, en curso o propuesto" (pág. 57) y que este proyecto debe exponer "los beneficios ambientales y económicos que provee el proyecto, incluyendo el número de empleos que crea, que serán ocupados por residentes de Puerto Rico y el impacto

económico esperado, incluyendo el impacto en los contribuyentes, si corresponde” (pág. 57).

La Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, ratificada el 25 de julio de 1952, se establece con el fin de organizarnos políticamente sobre una base plenamente democrática, promover el bienestar general y asegurar para nosotros y nuestra posteridad el goce cabal de los derechos humanos”. Este documento es el de mayor poder jurídico dentro de nuestro sistema político y bajo él se establece el organigrama de nuestros cuerpos de organización. Bajo la Constitución del ELA toda recomendación, intervención y propuesta realizada tras esta investigación podrá ser retada. En el Artículo VI, sección 19 que:

“Será política pública del Estado Libre Asociado la más eficaz conservación de sus recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio general de la comunidad.”

El 14 de enero de 2019, el Congreso de los Estados Unidos, bajo la ley pública 115-436 *Water Infrastructure Improvement ACT*, enmendó el *Federal Water Pollution Control Act* para así “promover para unos procesos de planificación integrados y promover la infraestructura verde”. En la sección 5 de dicha ley, el Congreso define la infraestructura verde y promueve la coordinación de esfuerzos para aumentar el uso de la misma a través de los distintos niveles de gobernanza.

El Plan Estatal de Mitigación de Riesgos Naturales de Puerto Rico fue implementado el 30 de julio de 2021 como respuesta a la ley federal *Disaster Mitigation Act* del año 2000. Este plan, con vigencia de cinco años, atiende situaciones

relacionadas al cambio climático, provee estrategias de respuesta ante el manejo de desastres naturales, y es requisito para que el Gobierno de Puerto Rico pueda ser elegible para fondos de asistencia para desastres y mitigación de riesgos. Este plan promueve la readaptación de desarrollos existentes y nuevas construcciones utilizando la infraestructura verde.

La Ley Núm. 416 del 22 de septiembre de 2004 conocida como Ley sobre Política Pública Ambiental de 2004 fue establecida con el propósito de, entre otros, promover una mayor y más eficaz protección del ambiente. Esta ley deroga la Ley 9 del 18 de junio de 1970, y establece:

“El utilizar todos los medios y medidas prácticas, incluyendo ayuda técnica y financiera, con el propósito de alentar y promover el bienestar general y asegurar que los sistemas naturales estén saludables y tengan la capacidad de sostener la vida en todas sus formas, así como la actividad social y económica, en el marco de una cultura de sustentabilidad para crear y mantener las condiciones bajo las cuales el hombre y la naturaleza puedan existir en armonía productiva y cumplir con las necesidades sociales y económicas y cualesquiera otras que puedan surgir con las presentes y futuras generaciones de puertorriqueños.”

De igual forma, la Ley Núm. 6 de 29 de febrero de 1968 conocida como Ley para Crear un Área de Prevención de Inundaciones y de Conservación de Playas y Ríos, fue establecida para crear dicho organismo orientado a la protección de zonas inundables. Estas leyes establecen un marco para la protección de los ríos y las zonas adyacentes a los mismos.

La Ley Núm. 33 del año 2019 conocida como la Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico, estipula bajo los criterios a impulsar en el campo de la infraestructura el ‘promover acciones adaptativas, tales como propiciar la infraestructura verde en Puerto Rico en los diversos sectores que componen el andamiaje social, económico y gubernamental de la isla’.

El Plan de Acción de los Fondos CDBG-MIT presenta un compendio de proyectos y programas diseñados para atender de forma interdisciplinaria y multisectorial los distintos riesgos identificados por los gobiernos municipales. De igual forma presenta una evaluación de los riesgos naturales a los que se enfrenta el país. De este plan, se utilizarán los proyectos identificados en el municipio de Villalba, y se observarán aquellos que sean catalogados como proyectos de infraestructura verde a través del país.

La Ley Núm. 212 del 29 de agosto de 202: Ley para la Revitalización de los Centros Urbanos se establece con el propósito de incentivar el desarrollo de los centros urbanos de Puerto Rico. Esta ley menciona entre sus enfoques los proyectos de revitalización urbana como uno dirigido al “desarrollo de solares baldíos o subutilizados e infraestructuras necesarias para desarrollar y viabilizar cualquiera de éstos” [Artículo 1.04, inciso (k)]. El lenguaje de esta ley permite interpretar de forma amplia lo que es caracterizado como proyecto, incidiendo en la posibilidad de la realización de intervenciones puntuales.

La Ley Núm. 81 de 30 de agosto de 1991, Ley de Municipios Autónomos, otorga a los municipios de Puerto Rico las herramientas y poderes legales y administrativos, y les transfiere competencias de planificación para así poder reglamentar su territorio. Por

consiguiente, esta ley habilita la creación de un Plan de Ordenación Territorial, y regula que estos planes deben promover la “conservación y protección de áreas abiertas por razones de seguridad o salud pública, tales como áreas inundables, deslizables o sensibles a movimientos sísmicos” (Artículo 13.002). Estas áreas abiertas mencionadas serán de gran importancia en la investigación a realizar.

El Plan de Ordenación Territorial del Municipio Autónomo de Villalba, aprobado por la Junta de Planificación el 12 de agosto de 2004 se presenta en su introducción como un documento para “estimular la utilización racional de los suelos comarcales, al tiempo que cataliza el crecimiento y desarrollo socioeconómico, dentro de una lógica de sustentabilidad medio-ambiental”. Adicionalmente, expone en su primera premisa que, como visión general, el plan buscará la creación de valor a través de “la gestación de un desarrollo socioeconómico congruente con la naturaleza rural del territorio, propiciando la adecuada conservación de los recursos naturales”. Es importante analizar los proyectos a desarrollarse en la zona urbana del municipio y que vayan acorde con el Plan. De igual forma, el Plan no incluye información sobre las acciones a tomar para prevención de inundaciones, desarrollos futuros en zonas inundables, y/o obras de mitigación de riesgos orientadas a inundabilidad.

La Ley Núm. 60 del 1 de julio de 2019, conocida como el “Código de Incentivos de Puerto Rico” bajo el Título 13 - Contribuciones y Finanzas Subtítulo 19 - Código de Incentivos de Puerto Rico Parte II - Incentivos de Desarrollo Económico Capítulo 1309 - Infraestructura y Energía Verde establece que se le otorgará incentivo a aquellos comerciantes que implemente infraestructura verde en sus predios. No obstante, la

definición de infraestructura verde, en este caso, está orientada hacia equipo relacionado al consumo energético. Dentro de esta definición debería incluirse todo tipo de infraestructura verde orientada a ejercicios de mitigación.

Entre los proyectos encontrados que enlazan y/o inciden con la investigación a realizar se encuentra la ponencia del Alcalde de Villalba Luis Javier Hernández ante las vistas públicas para solicitar fondos del *Community Development and Building Grant-Disaster Recovery* (CDBG-DR). Dentro de esta ponencia se someten proyectos considerados prioritarios ante el municipio para la recuperación económica, social y urbana del mismo. Entre estos proyectos, que son de vivienda, infraestructura pública y hotelería, la mayoría se encuentran localizados en la zona urbana del municipio, lo cual se tomará en consideración para la investigación. Cabe señalar que el único proyecto orientado hacia la mitigación de inundaciones riverinas lo es la reconstrucción del puente municipal del barrio La Vega, y la canalización parcial del Río Jacaguas en la zona. No obstante, la ponencia del alcalde no expone los posibles daños a la zona urbana de futuras inundaciones causadas por el río. Esta ponencia está orientada hacia el desarrollo económico del centro urbano y la relocalización de viviendas hacia el mismo, sin tomar en cuenta que una de las causas de la relocalización son las inundaciones del río en zonas rurales.

Capítulo 4: Metodología

Para realizar a cabalidad la investigación necesaria para determinar las intervenciones correctas, serán varias las herramientas de investigación que se utilizarán. Entre las herramientas de trabajo a utilizar está la literatura a revisar, el uso de los Sistemas de Información Geográfica, trabajo de campo, casos de estudio y propuestas de diseño urbano. Durante el proceso de investigación y análisis, de encontrarse un recurso adicional que pueda aportar a la investigación este se añadirá al proceso de manera correspondiente. Se utilizarán las herramientas mencionadas anteriormente con el propósito de entender las causas que habilitan la problemática actual, analizar las posibles intervenciones según las circunstancias urbanas y ambientales, aplicar las herramientas necesarias al estudio de campo y someter posibles conclusiones.

LITERATURA REVISADA.

Inicialmente se realizará un análisis continuo de literatura acorde con la problemática presentada. En la revisión de trabajo ya revisado se utilizarán trabajos técnicos, casos de estudio, revisión de artículos arbitrados, y cualquier otro tipo de literatura que pueda servir para el análisis investigativo. Dentro de la literatura revisada, se analizarán teorías de planificación urbana relacionadas al manejo de escorrentías y al aumento de precipitación en zonas urbanas, acercamientos de intervención y enmarcado del problema como la acupuntura urbana y la infraestructura verde, y casos de estudio que ejemplifican la implementación de las teorías y herramientas presentadas. Dentro de los casos de estudio se analizarán ejemplos de restauración de zonas ribereñas como el río Skerne que fluye a través de un suburbio en la zona de

Darlington en Inglaterra. Se buscarán casos de estudio lo más cercano posible en similitud al contexto de la zona urbana de Villalba para realizar una comparación efectiva, y que presenten variables similares como riesgos de inundación, infraestructura decadente, rápida sub-urbanización, etc.

BANCOS DE DATOS.

Se utilizará la herramienta de SIG, diseñada para la evaluación y desarrollo de bancos de datos espaciales. En este proyecto se utilizarán los bancos de datos de fuentes gubernamentales, municipales, académicos, entre otros. Estos bancos de datos serán manejados bajo el programa ArcMap versión 10.6 en los formatos de *feature class* y *shapefiles* con el propósito de realizar mapas geográficos con la información necesaria para analizar el problema de la precipitación y las inundaciones en la zona urbana del municipio de Villalba. Entre los bancos de datos a utilizar se utilizarán los *feature class* y *shapefiles* con información del municipio de Villalba, específicamente de infraestructura vial, cuerpos de agua (ríos y quebradas), vegetación, datos sobre permeabilización y pendiente de suelos. De igual manera se utilizarán *feature classes* y *shapefiles* con información sobre la infraestructura actual de la zona urbana del municipio, usos de suelo, calificación del suelo, tenencia de las estructuras, población actual, estructuras abandonadas, lotes vacíos, mapas de inundabilidad, entre otros. Varios de estos *shapefiles* serán colectados desde los bancos de datos del American Factfinder, con documentación actualizada hasta el 2017; de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), del Censo realizado por el gobierno federal, y de información recolectada por el municipio, la Sociedad Puertorriqueña de Planificación, y la Junta de Planificación.

REVISIÓN DE PLANES.

Por otro lado, se utilizará la revisión de planes, propuestas, y herramientas incentivadas por organizaciones estatales y federales para la conservación de recursos naturales y manejo de escorrentías. Dentro de estos planes se encuentra el Plan de Ordenación Territorial del Municipio Autónomo de Villalba junto con el Plan de Uso de Terrenos realizado por la Junta de Planificación; se realizará una comparación entre ambos planes, esto con el propósito de entender el crecimiento urbano del municipio y en la dirección que piensan tomar en torno a la conservación de los recursos y el manejo de su infraestructura tanto desde el gobierno municipal como estatal. Se hará una revisión de las herramientas y estrategias de infraestructura verde que incentiva la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA), la Agencia de Protección Ambiental, y la U.S. *Climate Resilience Toolkit*, entre otros. Esta revisión de documentos se realizará con el propósito de entender cómo la infraestructura gris existente habilita la persistencia del problema, pero que a su vez puede ejercer como la solución al mismo integrando otros tipos de acercamientos. Se investigarán las propuestas hechas por el municipio ante la ponencia del *Community Development and Building Grant* para comparar las necesidades del municipio y cómo se está atendiendo el desarrollo del mismo y cómo se incorpora la mitigación de riesgos en este proceso. A esto, también se une el análisis de propuestas de organizaciones sin fines de lucro, *think tanks*, ponencias, universidades, entre otras que estén disponibles.

Capítulo 5: Hallazgos y Análisis

5.1 Vulnerabilidad urbana

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés) desarrolla unos mapas de vulnerabilidad a inundaciones llamados Mapas de Tasas del Seguro de Inundación (FIRM) que sirven para identificar las áreas en riesgo a estas. Estos, además, detallan el nivel de inundación con probabilidad de 1% anual de ocurrencia, de 0.2% de probabilidad anual, e identifican los límites del cauce mayor regulatorio, entre otros.

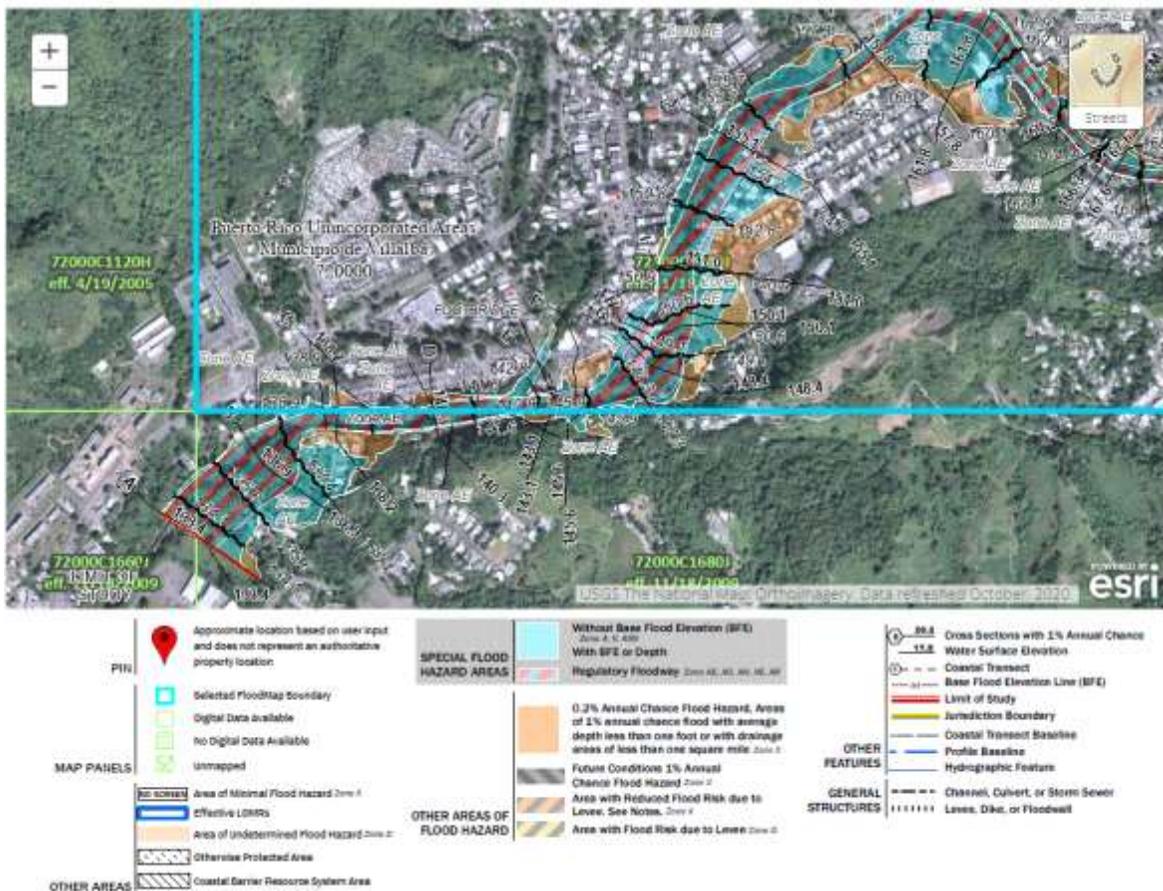


Figura 2. Mapa FIRM con datos de la zona inundable. Fuente:

Los mapas FIRM del municipio de Villalba identifican la zona de estudio de esta investigación (el centro urbano de Villalba) como un área propensa a inundaciones repentinas. El área de inundabilidad cubre las zonas aledañas al cauce del río desde el Complejo Deportivo de Villalba, la zona urbana del municipio por la carretera 150, la urbanización La Vega, hasta el parque recreativo Hector Papo Díaz. (Figura 2). Según los datos obtenidos de la Junta de Planificación, dentro del área de riesgo se encuentran más de 50 propiedades residenciales, sobre 15 propiedades residenciales, estructura vial de alta jerarquía, centros educativos y espacios recreativos de pequeña y gran escala (Figura 4). Esto evidencia el alto nivel de diversidad de los espacios que sufrirían daños tras el impacto de algún evento de inundaciones repentinas, en una zona pequeña comparada a otras zonas urbanas.

Riesgo de Inundabilidad en la ZU de Villalba

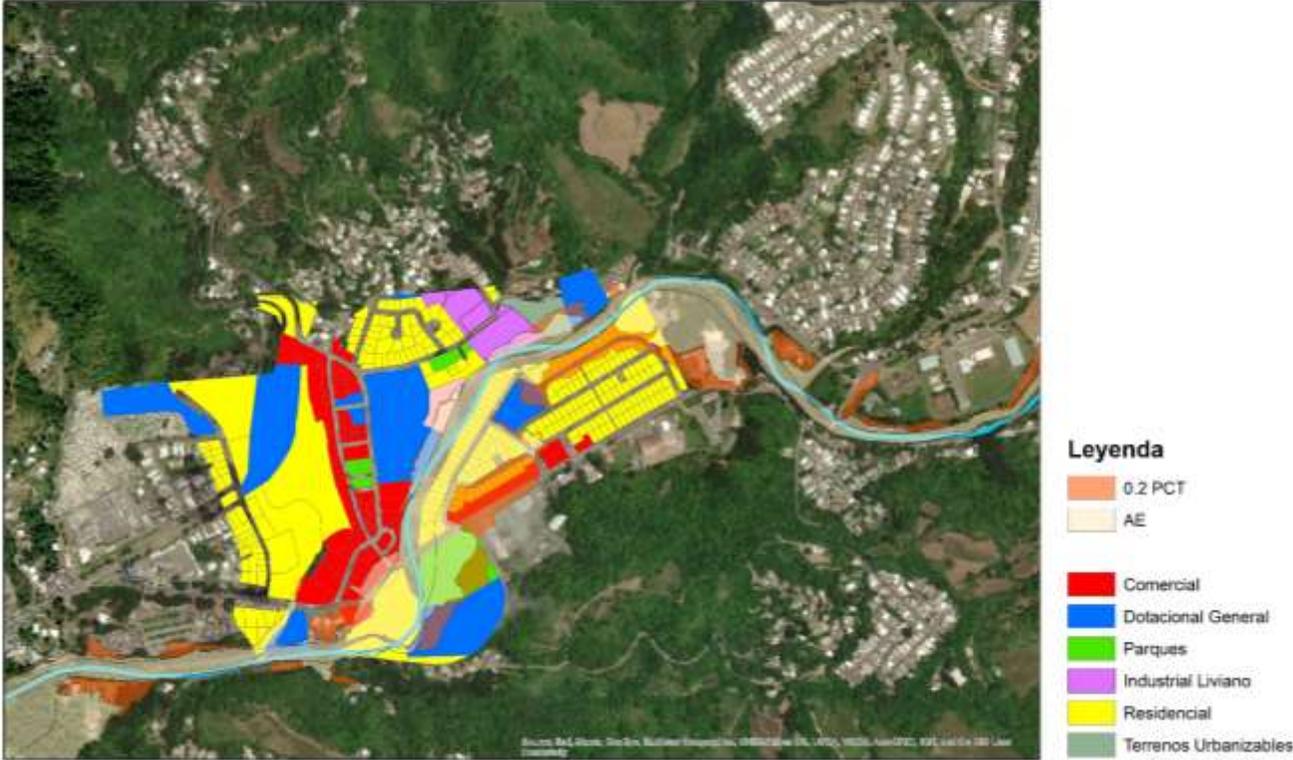


Figura 3. Estructuras bajo riesgo en la zona urbana de Villalba por tipo de suelo.

Datos obtenidos de la Escuela Graduada de Planificación.

Tipo de suelo en la ZU de Villalba dentro del límite de inundabilidad

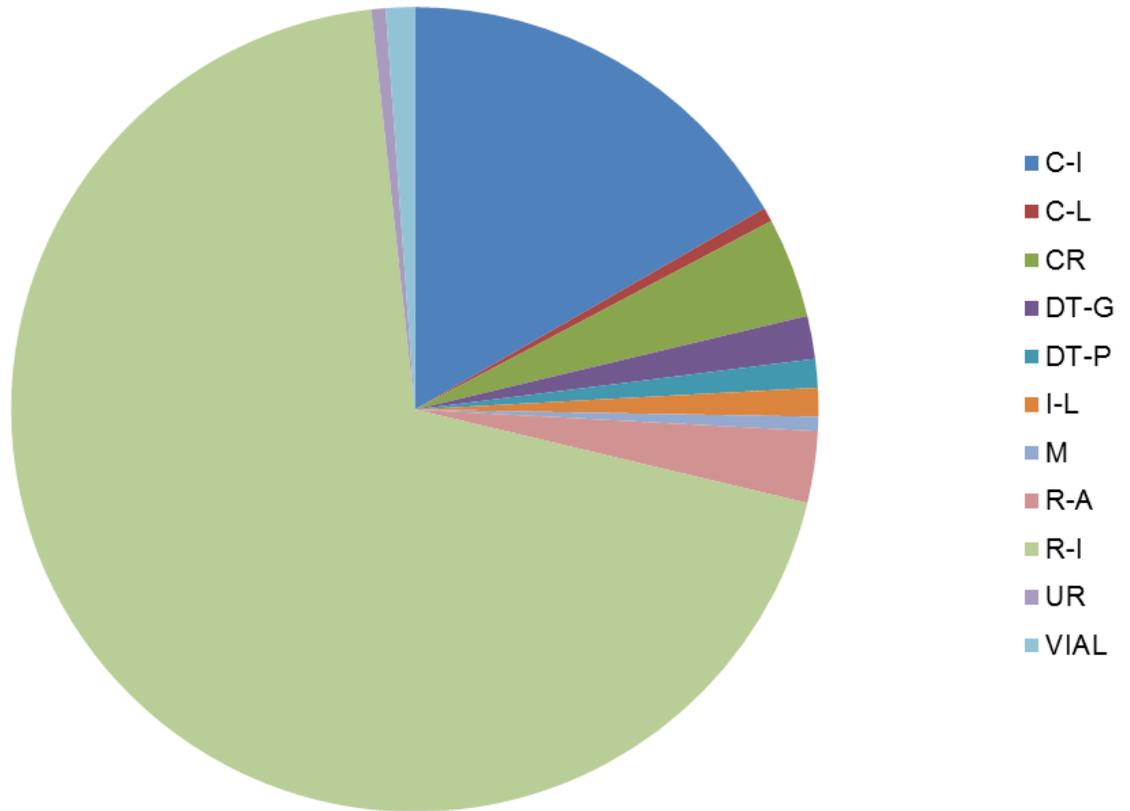


Figura 4. Comparativo de infraestructura dentro de la zona de riesgo.

5.2 Revisión de planes

Luego del embate de los huracanes Irma y María, tanto como los gobiernos federales, estatales y municipales, como organizaciones privadas y sin fines de lucro han sometido diversas propuestas de proyectos de infraestructura para mitigar riesgos de inundabilidad. El acercamiento a estos es variado, primordialmente utilizando estrategias de infraestructura gris. No obstante, entre las propuestas la infraestructura verde ha tomado un papel importante. Aquí se revisan y comparan distintas estrategias a varios niveles de gobernanza con el propósito de determinar diferencias y similitudes.

5.2.1 Plan de Acción Estatal Fondos CDBG-MIT

Este informe fue publicado el 30 de julio de 2021, como requisito de la Sección 322 del “Robert T. Stafford Disaster Relief and Emergency Assistance Act”, para que el estado pueda solicitar asistencia a desastres. En este informe se define mitigación de riesgos como cualquier acción para mitigar, reducir o eliminar el riesgo a largo plazo de la vida humana o la propiedad (pág. XXVII). Entre las medidas para mitigación de riesgos, el plan menciona el manejo de los terrenos inundables. El documento realiza un análisis extenso, y presenta las recomendaciones y cursos de acción a tomar para reducir la vulnerabilidad a riesgos de inundaciones. Entre estas, en el capítulo 3.9, menciona el promover intervenciones de control e inundaciones, que consistan de infraestructura verde rodeando la comunidades e incluir pozos de retención (pág. 191). También, entre los objetivos señalados dentro de la meta de preservar, mejorar y restaurar el ambiente natural como beneficio para mitigación, insisten en incentivar el uso de la infraestructura verde para modernizar desarrollos existentes y aplicarlos a

construcciones nuevas (pág. 328). Además, expone que la mitigación de riesgos puede y debe considerar medidas no-estructurales (como política pública, regulaciones, etc.) para lograr la resiliencia (pág. 346).

5.2.2 Planes de Ordenación Territorial

La Ley Número 107 de 2020 define a los planes territoriales como aquellos que serán un instrumento de ordenación integral y estratégico de la totalidad del territorio municipal y abarcará, al menos, un municipio. Dentro de los planes territoriales, el manejo del uso de suelo es primordial. Estos determinan el tipo de suelo, cómo se catalogará, y el uso futuro que se le podrá dar al mismo. De igual forma, se establecen medidas y estrategias de cómo se protegerá el territorio ante riesgos futuros. A finales de este escrito, no había una versión actualizada del Plan Territorial del municipio de Villalba. No obstante, se evaluarán planes de otros municipios de los cuales se pueden adaptar medidas similares.

El Plan Territorial de Caguas propone en el capítulo 3 el desarrollo de una Red de Infraestructura Verde, en la que incorporarán un sistema de corredores naturales a través del municipio. Este establece que la infraestructura verde reduce la vulnerabilidad a riesgos naturales como deslizamientos e inundaciones (pág. 15). Destacan la constitución de lo que es el desarrollo de infraestructura verde: el centro principal y los conectores. Como estrategia importante para reducir la vulnerabilidad a inundaciones, el municipio conservará terrenos de hasta 30 metros desde los márgenes de los ríos, catalogándolos como suelos de conservación. Dentro de estos márgenes, el municipio ha desarrollado proyectos recreativos y corredores que enlazan otros

espacios. Entre ellos está el proyecto Honor al Río, el cual conectaría con el Jardín Botánico y Cultural de Caguas. para seleccionar los terrenos a conservar, entre los criterios analizados fue que el terreno estuviera e zona inundable clasificados como zonas A y AE según los FIRM de FEMA.

5.2.3 Relmagina Puerto Rico

La Comisión Asesora para un Puerto Rico Resiliente es una organización sin fines de lucro que busca coordinar esfuerzos multisectoriales para la reconstrucción de Puerto Rico. Esta organización publicó en el 2018 una variedad de informes abarcando distintos temas de importancia, entre estos sobre la infraestructura natural del país, titulado Relmagina Puerto Rico. Este grupo identifica dentro de los principales impactos a atender las inundaciones urbanas, y entre las tensiones clave menciona la impermeabilización del suelo en áreas urbanas y la calidad inadecuada de espacios abiertos para la recreación y para manejar las escorrentías (pág 35). Más aún, el grupo entiende que existe una necesidad de integrar principios de política más amplios en torno al manejo de riesgos de inundación al proceso de planificación (pág 38). En este, en la sección 'Oportunidades para la Acción', proponen "reevaluar el diseño de los proyectos propuestos de control de inundaciones para integrar criterios de resiliencia y soluciones basadas en la naturaleza" (pág. 58).

5.2.4 Infraestructura Verde y Nuestros Parques

La Compañía de Parques Nacionales de Puerto Rico, junto con el Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable de la Universidad Metropolitana, redactaron esta

publicación. En esta abundan sobre distintas formas de implementar la infraestructura verde en Puerto Rico.

5.2.5 Proyectos Propuestos de Mitigación

El municipio de Villalba ha sometido propuestas para los fondos CDBG-DR y CDBG-MIT. Entre estas, está la canalización del Río Jacaguas. Para esto, el gobierno municipal estima que el proyecto tendría un costo aproximado de \$20 millones. Además de esto, no existe alguna propuesta de parte del municipio de Villalba que esté orientada a utilizar estrategias basadas en la naturaleza.

CAPÍTULO 6: Alternativas de Intervención

Uno de los problemas que enfrenta la planificación con infraestructura verde es que no hay una metodología definida que guíe su desarrollo (Ferreira, 2021). No obstante, luego de analizar la literatura concerniente a proyectos orientados a proteger y mitigar inundaciones, revisar el ordenamiento jurídico que regirá las posibles intervenciones, y evaluar los datos provenientes de las agencias pertinentes, se estará proponiendo distintas intervenciones con el fin de promover el uso de la infraestructura verde como alternativa ideal en los procesos de mitigación. Más aún, el análisis realizado evidencia que hay una necesidad de promover estrategias diferentes a las realizadas en el pasado, orientadas hacia una integración de las estrategias conocidas como grises y las catalogadas como verdes.

6.1 Alternativa 1: No Acción

La primera alternativa es continuar con la situación actual. Esto significa mantener el curso de los proyectos aprobados en los distintos planes presentados. Como fue mencionado anteriormente, el municipio tiene una visión de cómo atender los problemas relacionados a daños de infraestructura a causa de las inundaciones. Estas propuestas fueron sometidas a las distintas agencias pertinentes (FEMA, Cuerpo de Ingenieros, etc.) para su evaluación.

6.2 Alternativa 2: Infraestructura verde

Para esta alternativa, se propone seguir con propuestas orientadas a soluciones basadas en la naturaleza. Entre estas soluciones sería sustituir todo tipo de futura intervención, por aquellas intervenciones que son utilizadas dentro de los conceptos

como *Sponge City* y *Water Sensitive Urban Design*. Como ejemplos, sería utilizar canales de retención, techos verdes, pavimento permeable, entre otros. Esta alternativa rechazará toda propuesta realizada que amenace con la modificación del paisaje natural.

6.3 Alternativa 3: Infraestructura híbrida

La tercera alternativa propone la implementación de un modelo híbrido, que integre ambos acercamientos (gris y verde) en los futuros desarrollos de la zona urbana. La literatura revisada propone la infraestructura verde como una muy buena alternativa par

Capítulo 7: Evaluación de Alternativas

Para evaluar las alternativas, se utilizarán indicadores métricos para determinar cuál de las alternativas cumple con los objetivos de alinear la infraestructura verde como acercamiento ideal para mitigación de eventos de inundabilidad. Los criterios a utilizar para la evaluación serán los siguientes:

- Reduce la vulnerabilidad a inundaciones repentinas
- Integra servicios ecosistémicos
- Promueve participación ciudadana
- La alternativa promueve una planificación estratégica espacial
- Estrategia poco invasiva

Evaluación de Alternativas de Intervención

Criterios	Alternativa 1: No Acción	Alternativa 2: Implantación de un Plan de Infraestructura Verde	Alternativa 3: Implantación de un Plan de Infraestructura Hibrida
Participación Ciudadana	1	3	3
Reduce la vulnerabilidad a inundaciones repentinas	3	1	2
Reduce la vulnerabilidad a inundaciones por escorrentías	3	1	2
Integra servicios ecosistémicos	1	2	3
Estrategia es poco invasiva	1	3	2
Total	9	10	12

Capítulo 8. Implantación de Alternativas

Luego de la evaluación, la tercera alternativa resulta con mayor valor asignado. Según la literatura revisada, la infraestructura verde es considerada ideal para atender la vulnerabilidad a inundaciones. No obstante, debido a las características de nuestros ríos, ciertas estrategias de infraestructura verde no son las más efectivas para atender las necesidades futuras de las zonas vulnerables. Como alternativas se propone crear una serie de proyectos a largo plazo de intervenciones a las que caracterizo como híbridas, realizadas a distintas escalas en las zonas propensas a eventos de inundación. Estas intervenciones serán de carácter natural y/o semi-natural. De igual forma, estos proyectos deben ir alineados a los proyectos existentes aprobados, y a los planes de mitigación estatales y municipales.

8.1 Desarrollo de un *mapping* de infraestructura verde existente

La infraestructura verde es una red de sistemas que funcionan de manera integrada para resolver una variedad de problemas. De igual forma, existen diversos tipos de infraestructura que se consideran como “verdes”. Es importante y necesario identificar la infraestructura ya existente por varios motivos: al tener una capa de datos con esta información, podemos identificar como distintos espacios se relacionan, la accesibilidad a espacios verdes y cuerpos de agua, la capacidad de retención de la infraestructura existente, entre otros. Con estos datos, se puede crear un modelaje actualizado de futuros eventos de inundabilidad, y como la infraestructura existente apoya a mitigar los riesgos a estos eventos.

8.2 Plan para la implantación de tecnología relacionada a infraestructura verde en edificios públicos

Como parte de este plan, se recomienda seguir las intervenciones que utiliza en acercamiento de *Sponge City*. Para esto, se identificará las estructuras públicas aptas para la implantación de infraestructura verde. Se hará un inventario de las estructuras públicas para así realizar un análisis de viabilidad a las mismas. Dentro de este análisis, se determinará el espacio disponible en los techos, paredes, jardines, y otros espacios vacantes donde se pueda implementar algún tipo de infraestructura, y la capacidad de carga de los mismos.

Simultáneamente al desarrollo de las infraestructuras de colección de agua, se fomentará la educación a empleados públicos sobre techos verdes, huertos, muros verdes. Esto es necesario para el mantenimiento de las instalaciones y para la concientización sobre el uso adecuado de dicha infraestructura. El proyecto finalizará con la creación, desarrollo e implantación de distintos tipos de infraestructura, por ejemplo techos verdes, muros verdes, sistemas de retención de agua, u otros.

8.3 Plan para la permeabilización de carreteras en la Zona Urbana

Reevaluación/proposición de ordenamiento jurídico

La segunda alternativa atiende el marco reglamentario evaluado con anterioridad. Este ha mostrado que la intención de implementar la infraestructura verde en los procesos de planificación es vigente, desde el más alto poder (Congreso de los EEUU) hasta planes municipales. No obstante, hasta el momento de redacción de esta investigación, el Plan de Mitigación Municipal del Municipio de Villalba aún no ha sido

presentado a la Junta de Planificación. Por tal razón, es importante revisar otras leyes y reglamentos que inciden en el desarrollo urbano del municipio.

En este caso se propone la reevaluación y enmienda de la Ley 33 Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico. En esta ley, solo existe un inciso en el artículo sobre Medidas del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia (Artículo 9, capítulo b, inciso 9) en el que se pretende “promover acciones adaptativas, tales como propiciar la infraestructura verde en Puerto Rico en los diversos sectores que componen el andamiaje social, económico y gubernamental de la isla.” También, se propone la revisión del Código de Incentivos de Puerto Rico, en el capítulo sobre Infraestructura Verde, para que dichos incentivos incluyan intervenciones de infraestructura verde orientadas a la mitigación de escorrentías. Además, se propone que la legislatura municipal radique una ordenanza municipal que establezca que toda construcción nueva en el área de la zona urbana utilice materiales permeables para su pavimentación. Esto iría alineado con el Código de Incentivos para que comerciantes y residentes puedan ser partícipes del programa.

8.4 Plan para la integración y conectividad de espacios verdes y recreativos en la zona urbana

Como mencionado anteriormente, la zona de vulnerabilidad bajo las capas de inundabilidad cubre las zonas aledañas al cauce del río, comenzando desde la Pista Atlética Raúl Rodríguez hasta el área recreativa Hector Papo Díaz. En esta área, se propone seguir el ejemplo del Municipio Autónomo de Caguas para la creación de un corredor verde a lo largo de la zona de vulnerabilidad, que conecte ambos espacios

recreativos. A su vez, este corredor estará desarrollado a través de espacios comerciales, educativos, residenciales y recreativos. Para esto, se deberá realizar un inventario de las propiedades existentes en la zona de inundabilidad, para evidenciar si existen estructuras en desuso que el municipio pueda adquirir. También, reglamentar que en la zonas inundables no se hará nuevas construcciones orientadas hacia el desarrollo residencial y/o comercial; esos terrenos deben ser clasificados dentro del Plan Territorial del Municipio de Villalba como Suelo Rústico de Conservación.

Para este proyecto, el municipio puede utilizar los fondos disponibles bajo el Programa de Revitalización de la Ciudad de los fondos CDBG-DR. En este programa se establece la Iniciativa Reverdece Puerto Rico, donde ‘los fondos podrán destinarse a la revitalización de plazas comunitarias, instalaciones de infraestructura verde a lo largo de los corredores principales que son propensos a inundaciones de las calles’ (pág. 12). Esta iniciativa promueve que el 10% de los fondos otorgados a los municipios sean utilizados para implementar estrategias que respondan al impacto de las escorrentías. En el informe, establecen que “los fondos podrán ser utilizados para mitigar las escorrentías de aguas pluviales y los daños futuros en proyectos que restauren y mejoren el movimiento de agua en el sistema de infraestructura natural”(pág. 19).

Plan para la creación de una red de infraestructura verde

Etapas	Proyecto	Tareas	Duración	Participantes	Producto	Costo
Etapa 1	Mapping de Infraestructura Verde	Redactar propuesta para recopilación de datos de infraestructura verde en la Zona Urbana de Villalba Identificar fondos para tecnología necesaria Reclutamiento de voluntarios, participación ciudadana Recopilación de datos Publicación de datos	6 meses	GISCorps, Municipio de Villalba, DRNA	Banco de datos con los distintos tipos de infraestructura verde existentes en la Zona Urbana de Villalba.	\$10,000
Etapa 2	Plan para la implantación de tecnología relacionada a infraestructura verde en edificios públicos	Análisis de viabilidad de estructuras. Educación a empleados públicos sobre techos verdes, huertos, muros verdes. Identificar fondos para compra de materiales Creación, desarrollo y mantenimiento de techos verdes. Reglamentar ordenanza municipal para la evaluación e inclusión de pavimento permeable en calles municipales y desarrollos públicos	2-5 años	Municipio de Villalba, DRNA, The Nature Conservancy	Implementar techos verdes, muros verdes y/o sistemas de captación, para minimizar el nivel de escorrentías de los techos en edificios públicos.	\$500,000
Etapa 3	Plan para la permeabilización de carreteras de la Zona Urbana	Reglamentar ordenanza municipal para la evaluación e inclusión de pavimento permeable en calles municipales y desarrollos públicos Diseño de cariles ciclistas Identificar calles que puedan ser multifuncionales: espacios de retención y filtración de agua.	5 años	Municipio de Villalba, DTOP, DRP	Desarrollar cariles ciclistas con pavimento permeable.	\$500,000
Etapa 4	Plan para la integración y conectividad de espacios verdes y recreativos en la zona urbana	Identificar fondos para plan de desarrollo y diseño. Análisis viál: análisis de inundabilidad; análisis de movilidad peatonal. Diseño de propuesta. Construcción de propuesta.	5-10 años	Municipio de Villalba, DRNA, FEMA	Paseo lineal conector entre dos puntos estratégicos en zona de vulnerabilidad a inundaciones: zona del Complejo Deportivo y Area Recreativa Hector 'Papo' Diaz.	\$150,000

Capítulo 9: Conclusión

En Puerto Rico, los planes gubernamentales han adoptado y recomendado el acercamiento de la infraestructura verde como uno apropiado para atender las zonas vulnerables a inundaciones. No obstante, debido a la morfología de nuestro territorio y las características de nuestros ríos, utilizar exclusivamente estrategias basadas en la naturaleza no sería lo apropiado. Concluyo que el acercamiento ideal sería un desarrollo integrado de infraestructura donde se utilice alternativas sostenibles basadas en la naturaleza, simultáneo a la adaptación y mejora de nuestra infraestructura gris existente. De igual forma, el ordenamiento jurídico debe atemperarse a las realidades del cambio climático, y promover e incentivar estrategias poco invasivas, haciéndolas accesibles y asequibles a la ciudadanía general.

I. LITERATURA REVISADA

Anderson, Elizabeth P. (2013) Desarrollo hidroeléctrico y servicios ecosistémicos en Centroamérica / Elizabeth P. Anderson. p. cm. (IDB Technical Note; 518)

Andersson, E., Barthel, S., Borgström, S., Colding, J., Elmqvist, T., Folke, C., & Gren, Å. (2014). Reconnecting cities to the biosphere: Stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services. *Ambio*, 43(4), 445-53. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y>

Casagrande, Marco. (2014). Paracity: Urban Acupuncture.

Daniel R. Richards & Peter J. Edwards (2018) *Using water management infrastructure to address both flood risk and the urban heat island*, International Journal of Water Resources Development, 34:4, 490-498, DOI: 10.1080/07900627.2017.1357538

Green, J. (2010). Philadelphia's Cutting-edge Green Infrastructure Plan. Retrieved November 2, 2018, from <https://dirt.asla.org/2010/05/10/philadelphias-cutting-edge-green-infrastructure-plan/>

Departamento de Vivienda de Puerto Rico (2021) CDBG-DR Guías del Programa: Programa de Revitalización de la Ciudad.

Ferreira, J.C.; Monteiro, R.; Silva, V.R. (2021) Planning a Green Infrastructure Network from Theory to Practice: The Case Study of Setúbal, Portugal. *Sustainability* 2021, 13, 8432. <https://doi.org/10.3390/su13158432>

Gobierno de Puerto Rico (2021) Plan de Acción de Mitigación de Puerto Rico para el Programa de Subvención en Bloque para el Desarrollo Comunitario de Mitigación

Hino, M., Field, C. B., & Mach, K. J. (2017). Managed retreat as a response to natural hazard risk. *Nature Climate Change*, 7(5), 364-370.

doi:<http://dx.doi.org/10.1038/nclimate3252>

Houghton, K., Foth, M., and Miller, E (2015). Urban Acupuncture: Hybrid Social and Technological Practices for Hyperlocal Placemaking. *Journal of Urban Technology*, 2015 Vol. 22, No. 3, 3–19

Introduction to WSUD. Melbourne Water Corporation.

<https://www.melbournewater.com.au/planning-and-building/stormwater-management/introduction-wsud> Accessed October 17, 2018.

Kim S Alexander & Anthony Ryan & Thomas G Measham, (2011). "**Managed retreat of coastal communities: Understanding responses to projected sea level rise**," Socio-Economics and the Environment in Discussion (SEED) Working Paper Series 2011-01, CSIRO Sustainable Ecosystems.

Klein, R.J.T., S. Huq, F. Denton, T.E. Downing, R.G. Richels, J.B. Robinson, F.L. Toth, (2007). Inter-relationships between adaptation and mitigation. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 745-777.

Kondolf, George 'mathias & Micheli, Lisa. (1995). Evaluating Stream Restoration Projects. *Environmental Management*. 19. 1-15. 10.1007/BF02471999.

Ley Núm. 107 del año 2020, Código Municipal de Puerto Rico. Libro VI-Planificación y Ordenamiento Territorial

Malvina Apostolou.(2015) Urban eco-acupuncture methods: case study in the city of Athens. 2nd International Conference on Changing Cities II: Spatial, Design, Landscape

March, J., Benstead, J., Pringle, C. and Scatena, F.; Damming Tropical Island Streams: Problems, Solutions, and Alternatives, *BioScience*, Volume 53, Issue 11, 1 November 2003, Pages 1069–1078, [https://doi.org/10.1641/0006-](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1069:DTISPS]2.0.CO;2)

[3568\(2003\)053\[1069:DTISPS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1069:DTISPS]2.0.CO;2)

Mason, R. (2011). Ecoregional Planning: Retreat or Reinvention? *Journal of Planning Literature*, Vol 26, Issue 4, pp. 405–419

<https://biblioteca.uprrp.edu:2109/10.1177/0885412211411091>

Mayaguez Parque del Litoral. (n.d.). Retrieved November 2, 2018, from

<http://www.localofficelandscape.com/portfolio-items/mayaguez-parque-del-litoral/>

Mcnamara, K. E., & Des Combes, H. J. (2015). Planning for community relocations due to climate change in Fiji. *International Journal of Disaster Risk Science*, 6(3), 315-319.

doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s13753-015-0065-2>

Negociado para el Manejo de Emergencias (2021) Puerto Rico State Natural Hazard Mitigation Plan

Peisch, S. (2014, November). Aguas usadas en Puerto Rico: Amenaza a la salud pública y al ambiente. *Datos Marinos*, #54. Centro de Acción Ambiental; UPR Sea

Grant. Retrieved November 1, 2018, from https://seagrantpr.org/wp-content/uploads/2014/11/facts_54.pdf

Rabinovitch, J. and Leitman, J. (1996). Urban Planning in Curitiba.

Resilient Puerto Rico Advisory Commission (2018).. Reimagina Puerto Rico Informen Sectorial de Infraestructura natural. San Juan, PR.

Richards, D. & Edwards, P. (2018) *Using water management infrastructure to address both flood risk and the urban heat island*, International Journal of Water Resources Development, 34:4, 490-498, DOI: 10.1080/07900627.2017.1357538

Soltani, A. and Sharifi, E. (2012), “A Case Study of Sustainable Urban Planning Principles in Curitiba (Brazil) and Their Applicability in Shiraz (Iran)”, International Journal of Development and Sustainability, Vol. 1 No. 2, pp. 120–134.

T. Siekmann and M. Siekmann (2013) *Resilient urban drainage – Options of an optimized area-management*, Urban Water Journal, 2015 Vol. 12, No. 1, 44–51, <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2013.851711>

US Environmental Protection Agency (2010) Green Infrastructure Case Studies: Municipal Policies for Managing Stormwater with Green Infrastructure

USGCRP, (2018): Impactos, Riesgos, y Adaptación en los Estados Unidos: Cuarta Evaluación Nacional del Clima, Volumen II: Informe Resumido [Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, B.C. Stewart, and A. Lustig (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 187 pp. doi: 10.7930/NCA4.2018.RiBSpanish

Winsemius, H. C., Van Beek, L. P. H., Jongman, B., Ward, P. J., & Bouwman, A. (2013). A framework for global river flood risk assessments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(5), 1871. doi:<http://dx.doi.org/10.5194/hess-17-1871-2013>

Xia J, Zhang Y Y, Xiong L H, He S, Wang L F, Yu Z B. (2017). Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China. *Science China Earth Sciences*, 60: 652–658, doi: 10.1007/s11430-016-0111-8

Yan Li, Hong Xian Li, Jiabin Huang, Chunlu Liu, (2020) An approximation method for evaluating flash flooding mitigation of sponge city strategies – A case study of Central Geelong, *Journal of Cleaner Production*, Volume 257, 2020, 120525, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120525>.

Zevenbergen, C., Fu, D., & Pathirana, A. (2018). Transitioning to Sponge Cities: Challenges and Opportunities to Address Urban Water Problems in China. *Water*, 10(9), 1230. <https://doi.org/10.3390/w10091230>

CANALIZACIÓN RÍO JACAGÜAS



Infraestructura



Coordenadas

Lat. - 18.0734 N
Long. - 66.2928 O

Costo

\$ 20,000,000.00

El río Jacaguás es uno de los más caudalosos que desemboca en el Mar Caribe. Este recorre en dirección paralela a la carretera 151, que conduce de Villalba a Orocovis. Además del caudal que produce, su cuenca hidrológica, la cual es extensa y accidentada recibe flujo de la planta hidroeléctrica que se suplen a su vez de los lagos Guineo y Matrullas.

Durante el paso del huracán María y debido a la falta de una canalización adecuada, fuimos testigos de su capacidad destructora. A su paso este causó el colapso del puente que une el casco urbano con la Carr. 151 y como este socavó los terrenos de las residencias que lo bordean en la Urb. La Vega. Las inundaciones dentro de la urbanización fueron de 3 a 4 pies sobre el nivel de las residencias.

El proyecto consiste en el reemplazo de 2 puentes, ampliación del cauce del río, construcción de muro de gaviones y muros en hormigón para protección de viviendas en la Urb. La Vega en la ribera este del río. La altura propuesta varía entre 7 a 200 metros.

Construcción de un sistema pluvial de aproximadamente 300 metros para drenar la Calle C, e instalación de tubería de desagüe con válvulas de control retro flujo.



