

NOTA TÉCNICA N° IDB-TN- 02894

Plan de adaptación a inundaciones influenciadas por el cambio climático

Ciudad Colonial de Santo Domingo
República Dominicana

Juan Camilo Olaya González
Mauro Nalesso
Benoit Lefevre PhD
Luis Schloeter

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Cambio Climático

Febrero 2024



Plan de adaptación a inundaciones influenciadas por el cambio climático

Ciudad Colonial de Santo Domingo
República Dominicana

Juan Camilo Olaya González
Mauro Nalesso
Benoit Lefevre PhD
Luis Schloeter

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Cambio Climático

Febrero 2024

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Plan de adaptación a inundaciones influenciadas por el cambio climático: ciudad Colonial de Santo Domingo, República Dominicana / Juan Camilo Olaya González, Mauro Nalesso, Benoit Lefevre, Luis Schloeter.

p. cm. — (Nota Técnica del BID ; 2894)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Flood damage prevention-Dominican Republic. 2. Hazard mitigation-Dominican Republic. 3. Climatic changes-Dominican Republic. 4. Resilience (Ecology). 5. Climate change mitigation-Dominican Republic. I. Olaya González, Juan Camilo. II. Nalesso, Mauro. III. Lefevre, Benoit. IV. Schloeter, Luis. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático. VII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Vivienda y Desarrollo Urbano. VIII. Serie.
IDB-TN-2894

JEL Codes: Q54; Q58; R58; O18; O44

Key words: Cambio Climático; Adaptación; Resiliencia; Urbanismo

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



PLAN DE ADAPTACIÓN A INUNDACIONES INFLUENCIADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

CIUDAD COLONIAL DE SANTO DOMINGO
REPÚBLICA DOMINICANA



Juan Camilo Olaya González, Mauro Nalesso,
Benoit Lefevre, Luis Schloeter

DIVISIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y VIVIENDA Y DESARROLLO
URBANO, DEL SECTOR DE CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO
SOSTENIBLE, DEL BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID)

PLAN DE ADAPTACIÓN A INUNDACIONES INFLUENCIADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO – CIUDAD COLONIAL DE SANTO DOMINGO – REPÚBLICA DOMINICANA

AUTORES:

**Juan Camilo Olaya González, Mauro Nalesso
Benoit Lefevre y Luis Schloeter**

El Programa Integral de Desarrollo Turístico y Urbano de la Ciudad Colonial
de Santo Domingo cuenta con el con el financiamiento de la Unión Europea.



RESUMEN EJECUTIVO

Este documento presenta el Plan de Adaptación a inundaciones influenciadas por el Cambio Climático en la Ciudad Colonial de Santo Domingo. De acuerdo con el IPCC (AR6), existe una alta posibilidad de que el aumento en la temperatura atmosférica influya en el cambio de frecuencias y magnitudes de eventos extremos de precipitación. Por tanto, la exacerbación de este tipo de eventos a futuro puede poner en riesgo las personas, la infraestructura, la propiedad, y los medios de vida y sustento de lugares como la Ciudad Colonial.

El Plan se presenta en el marco del “Programa Integral de Desarrollo Turístico y Urbano de la Ciudad Colonial (PIDTUCCSD)”, en el cual el Gobierno Dominicano, en cabeza del Ministerio de Turismo (MITUR), busca revitalizar la Ciudad Colonial en sus aspectos urbanos, económicos y de turismo a través de la recuperación de espacios públicos y monumentos, el mejoramiento de condiciones de habitabilidad para los residentes, el desarrollo de economías locales, y el fortalecimiento de la gestión de la Ciudad Colonial.

En este contexto, el MITUR y el Banco Interamericano de Desarrollo buscan que todas las acciones de rehabilitación urbana de la Ciudad Colonial se encuentren adaptadas a los efectos del cambio climático. Dentro de los eventos naturales que se ven influenciados por el cambio climático y que pueden afectar a la ciudad se encuentran las tormentas tropicales, que a su vez pueden generar eventos de inundación de tres tipos: fluvial, pluvial y costero. En ese sentido, el objetivo principal del



Imagen: Adobe Stock

Plan de Adaptación es recomendar medidas de intervención para la reducción del riesgo por inundación con influencia del cambio climático en la Ciudad Colonial de Santo Domingo.

Para ello, se empleó la “Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático para proyectos del BID”, en la cual se sigue un enfoque de gradualidad y eficiencia en el uso de los recursos de cada proyecto. La metodología se divide en tres fases: i) screening y clasificación, ii) evaluación cualitativa, y iii) evaluación cuantitativa. Para el análisis del cambio de tendencia en la precipitación extrema por cambio climático, se emplearon los resultados del proyecto “Infraestructura de Transporte Resiliente - Blue Spot Analysis” (Deltares & CSI Ingenieros, 2020), a partir de análisis de Modelos de Circulación General (GCM) pertenecientes al proyecto CMIP5

(Proyecto de Inter-Comparación de Modelos Acoplados – Versión 5), para la Trayectoria de Concentración Representativa RCP4.5 y RCP8.5.

Como resultado del análisis de las tres fases, se concluyó que el tipo de inundación más relevante para la Ciudad Colonial corresponde al tipo pluvial, el cual se genera por eventos de precipitación extrema (huracanada o de otro tipo) sobre zonas en las que, por sus características de relieve y de uso del suelo, se puede presentar anegación y/o flujo de agua que puede poner en riesgo la estabilidad física de transeúntes, y el bienestar de sus activos (automóviles, viviendas, entre otros) y medios de vida.

Las juntas de vecinos donde hay un alto riesgo para la estabilidad física de transeúntes por eventos de inundación pluvial, son:

- ➔ **San Lázaro:** Avenida Ramón Matías Mella, entre calle del Monte y Tejada y Calle Palo Hincado.
- ➔ **Puerta de la Misericordia:** Toda la Calle Palo Hincado. Calle Espaillat entre arzobispo Nouel y Billini.
- ➔ **El Carmen:** Calle Santomé entre arzobispo Nouel y Billini.
- ➔ **Regina:** Calle Sánchez entre Calle Padre Billini y Paseo Padre Billini.
- ➔ **Santa Bárbara:** Calle Restauración entre arzobispo Meriño y Calle Colón. Intersección entre Calle General Cabral y Calle Isabel La Católica.

En el marco del PIDTUCCSD, además de analizar el posible efecto del cambio climático en las inundaciones en viviendas, se consideran también las afectaciones en espacios públicos y calles, especialmente en el Parque Colón y la Calle El Conde. Para estos espacios, la metodología arrojó los siguientes resultados:

Parque Colón

Para el evento extremo de inundación pluvial de 100 años de período de retorno con cambio climático se encuentra que la profundidad máxima de inundación en el Parque Colón es de 0.2 metros (20 cm), con una velocidad medida de flujo de 1.75 m/s en un tramo corto de la Calle El Conde. Teniendo en cuenta lo anterior, y al considerar un mapa de estabilidad física de personas, es posible concluir que la amenaza por inundación en el Parque Colón es catalogada como baja. No es una zona en la cual se esperen acumulaciones importantes de agua y/o velocidades de flujo que pongan en peligro la estabilidad de personas y/o vehículos, dada la condición predominantemente plana de este parque.

Calle El Conde

Para el evento extremo de inundación pluvial de 100 años de período de retorno con cambio climático, las profundidades de inundación en el sentido longitudinal de Calle El Conde varían entre 5 y 35 cm. Por su parte las velocidades medias de flujo varían entre 0.05 y 1.2 m/s. La combinación de estas dos magnitudes de análisis ofrece un indicador directamente relacionado con la estabilidad al vuelco de personas. Teniendo en cuenta los resultados del modelo de amenaza por inundación, se observa que el indicador de estabilidad al vuelco de

personas oscila entre 0.02 y 0.22 m²/s. Estos valores se encuentran muy alejados del valor mínimo de volcamiento establecido para una persona de 50 kg de peso (0.45 m²/s). Por tanto, en la Calle El Conde existe un riesgo bajo de afectación a la estabilidad de transeúntes por efecto de eventos de inundación.

Donde es posible esperar un riesgo moderado de estabilidad de transeúntes en la Calle El Conde, corresponde a la intersección con la Calle Palo Hincado y el tramo longitudinal hacia la Calle Espaillat.

En las intersecciones, se estima que la profundidad máxima esperada es de 35 cm, para la intersección con la Calle Santomé en el escenario de cambio climático y 100 años de período de retorno. En general, para el resto de las intersecciones, las profundidades de inundación oscilan entre los 5 y 25 cm.

En promedio, se espera que para las intersecciones de la Calle El Conde se de un incremento del 13.9% en las profundidades de inundación para el escenario con cambio climático, con respecto al histórico. Mientras que se espera un incremento únicamente del 5.9% en las velocidades de inundación.

Edificaciones

No se evidencia afectación considerable sobre las edificaciones de CCSD. La precipitación extrema que puede caer sobre CCSD se puede acumular en solares con topografías favorables a anegación y en las zonas bajas de CCSD, pero no se observan zonas inundables al interior de manzanas edificadas.

A partir de los pasos definidos en el documento de Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático del BID, se

establece que no se justifica la elaboración de una Evaluación Probabilista de Riesgo por inundación en edificaciones para la CCSD. Lo anterior debido a que las principales zonas inundables y afectaciones menores se pueden presentar en calles y algunos espacios públicos para los cuales es suficiente contar con los resultados cuantitativos de un modelo de amenaza por inundación, pero no es necesario avanzar a la elaboración de componentes de exposición, vulnerabilidad, y cálculo de riesgo sobre edificaciones.

Con base en los resultados anteriores, se concluye que la prioridad es identificar medidas de adaptación para aumentar la resiliencia a inundaciones influidas por el posible aumento de precipitación extrema con influencia del cambio climático. A continuación, se presentan algunas de ellas:

Alternativas de adaptación para incrementar la resiliencia al cambio climático en la CCSD

1

Las soluciones de adaptación y resiliencia al cambio climático en la calle El Conde y Parque Colón se agrupan dentro de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

(SUDS). Se plantea el incremento de la capacidad de infiltración del suelo a partir de dos esquemas:

- i. Cisternas de almacenamiento de agua de escorrentía en las intersecciones de calle El Conde.
- ii. Pavimento permeable en zonas específicas del Parque Colón.
- iii. Alcorques inundables distribuidos longitudinalmente sobre la Calle El Conde.

2

Es importante resaltar que la propuesta, diseño y construcción de este tipo de soluciones para la CCSD, no implica en ningún momento el reemplazo de la infraestructura de drenaje pluvial existente. Por el contrario, se busca generar un apoyo sostenible al sistema de alcantarillado pluvial de la Calle El Conde y el Parque Colón, en donde i) se reduzca el riesgo de inundación, y ii) se almacene el agua de escorrentía para diferentes usos.

El paso por seguir para implementar las medidas de adaptación y contribuir a incrementar la resiliencia al cambio climático es el dimensionamiento y diseño de ingeniería de cada estructura propuesta. Este diseño tendrá en cuenta los resultados del modelo de amenaza por inundación pluvial realizados en el Plan de Adaptación.



TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE TABLAS	16
ABREVIATURAS	

1

INTRODUCCIÓN	18
1.1 Desafío y Justificación: Adaptación como estrategia de largo plazo	22
1.2 Contexto y área de estudio.....	26

2

MARCO LEGAL Y DE POLÍTICAS PÚBLICAS EN REPÚBLICA DOMINICANA	30
2.1 Políticas en materia de Gestión del Riesgo de Desastres	33
2.2 Políticas y marco legal en materia de adaptación y fortalecimiento de resiliencia al cambio climático	34
2.3 Marco legal en Ordenamiento territorial	35

3

METODOLOGÍA	52
3.1 Componentes del riesgo de desastres	41
3.2 Etapas de gestión del riesgo de desastre por inundación con influencia de Cambio Climático (BID, 2019)	45
3.2.1 Screening: Amenazas y vulnerabilidades más relevantes	46
3.2.2 Evaluación cualitativa	47
3.2.3 Evaluación cuantitativa	49

4

SCREENING Y CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	38
4.1 Paso 1: exposición a amenazas	54
4.1.1 Inundación por desbordamiento del río Ozama	55
4.1.2 Inundación costera – marea de tormenta	56
4.1.3 Inundación pluvial	58
4.2 Paso 2: Criticidad y vulnerabilidad	64
4.2.1 Pérdida de servicios esenciales	64
4.2.2 Interacción con el entorno natural y antrópico	65
4.2.3 Características físicas	66

5

EVALUACIÓN CUALITATIVA 68

- 5.1 Paso 3: Narrativa 70
 - 5.1.1 Narrativa de riesgo de desastres para Plan de Adaptación..... 70
- 5.2 Paso 4: Análisis cualitativo 74
 - 5.2.1 Método y resultados del análisis cualitativo de riesgo y cambio climático 74

6

EVALUACIÓN CUANTITATIVA 82

- 6.1 Modelo de amenaza por inundación 82
 - 6.1.1 Datos de entrada y productos generados en el marco del Plan de Adaptación 85
 - 6.1.2 Modelo hidrológico..... 87
 - 6.1.3 Modelo hidrodinámico 88
 - 6.1.4 Resultados 91
 - 6.1.5 Conclusiones de modelo de amenaza por inundación en la CCSD100
- 6.2 Modelo de exposición103
- 6.3 Modelo de vulnerabilidad106
- 6.4 Modelo de riesgo.....108

7

ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE 110

- 7.1 Medidas de adaptación al cambio climático en diseños de espacios públicos en la CCSD – Caso Calle El Conde y Parque Colón..... 114

8

CONCLUSIONES 118

9

REFERENCIAS124

10

ANEXOS126

- 10.1 **ANEXO A:** Memoria de taller de amenaza por inundación en la CCSD 126
- 10.2 **ANEXO B:** Documento de resultados de amenaza por inundación para la Ciudad Colonial de Santo Domingo – República Dominicana 126
- 10.3 **ANEXO C:** Reporte: Consultoría para la elaboración de levantamientos topográficos y batimétricos con drones para el Plan de Adaptación 126
- 10.4 **ANEXO D:** Formatos de inspección para modelo de exposición 126
- 10.5 **ANEXO E:** Detalle de propuestas de drenaje sostenible para espacios públicos de la CCSD 126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Obras priorizadas en el Programa de Fomento al Turismo en Ciudad Colonial – Primera operación entre 2012-2016.	27
Figura 2	Obras priorizadas en el Programa de Fomento al Turismo en Ciudad Colonial – Segunda operación entre 2017- actualidad.	28
Figura 3	Línea de tiempo de marco normativo de ordenamiento territorial en República Dominicana. Fuente: (Banco Interamericano de Desarrollo - BID, 2023)	36
Figura 4	Componentes de la gestión del riesgo de desastres. Adaptado de las prioridades del Marco de Sendai (2015-2030) (UN Secretary-General, 2016)	40
Figura 5	Cómo se compone el riesgo de desastres y cambio climático. Fuente: (Barandiarán et al., 2019).	42
Figura 6	Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático. Fuente: (Barandiarán et al., 2019).	45
Figura 7	Criticidad y vulnerabilidad del proyecto. Fuente: (Barandiarán et al., 2019).	47
Figura 8	Resumen de actividades para desarrollar una evaluación cuantitativa completa del riesgo. Fuente: (Barandiarán et al., 2019)	49
Figura 9	Ejemplo de acciones graduales e incrementales en la metodología de Evaluación del Riesgo.	51
Figura 10	Izq.: Áreas inundables en el río Ozama para un período de retorno de 50 años. Fuente: (Mesa et al., 2016). Der.: Áreas inundables en el río Ozama para un período de retorno de 100 años. Fuente: (Belliard, 2020)	55
Figura 11	Mapa de inundación en Santo Domingo a partir de marea de tormenta por huracanes. Modelo: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes (SLOSH). Fuente: (Zachry et al., 2015)	57
Figura 12	Promedio proyectado de la mayor anomalía de precipitación en 1 día para 2060-2079 (Anual) – República Dominicana; (Período de referencia: 1995-2014), SSP2-4.5, Ensamble multi-modelos. Fuente: (World Bank Group, 2021)	60
Figura 13	Cambio relativo estimado de magnitud de precipitaciones extremas en regiones de República Dominicana en escenario de cambio climático. Fuente: (Banco Interamericano de Desarrollo, Deltares & CSI Ingenieros, 2020)	61
Figura 14	Distribución de las tendencias positivas (azul) y negativas (rojo) en las series pluviométricas y porcentaje de variación con respecto al período de normal climática entre 1939-1968. Fuente: (Izzo et al., 2021)	62
Figura 15	Riesgo Físico total para los barrios del Distrito Nacional. Fuente: (DGODT, 2012)	71
Figura 16	Pasos del método Delphi seguidos en la definición del Plan de Adaptación.	75
Figura 17	Cronología en la generación de eventos de inundación pluvial en la CCSD.	76
Figura 18	Izq.: Resultado de MDT para la CCSD. Der.: Resultado de MDT para el río Ozama.	86
Figura 19	Puntos de localización geográfica de bocas de visita del sistema de drenaje de la CCSD.	87
Figura 20	Metodología de modelo hidrológico Plan de Adaptación.	88
Figura 21	Mallas triangulares flexibles.	88
Figura 22	Interfaz de usuario en QGIS.	89
Figura 23	Representación de mapa de profundidades.	90
Figura 24	Mapa de amenaza por inundación fluvial – profundidad de inundación [metros] – Escenario de cambio climático – evento de 100 años de período de retorno.	91
Figura 25	Izq.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – profundidad de inundación [m]. Der.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – velocidad media de flujo [m/s] – Escenario cambio climático – evento de 100 años de período de retorno	92
Figura 26	Mapa de estabilidad al vuelco en personas (velocidad x profundidad) [m ² /s] – Escenario de cambio climático – evento de 100 años de período de retorno.	93
Figura 27	Mapas de amenaza por inundación pluvial en el Parque Colón – profundidad de inundación [m] – Escenario de cambio climático – eventos de 2, 10, 25, y 50 años de período de retorno	94
Figura 28	Izq.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – profundidad de inundación [metros] – Cambio climático – 100 años de período de retorno. Der.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – velocidad media de flujo [m/s] – Cambio Climático – 100 años de período de retorno – Parque Colón	96
Figura 29	Izq.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – profundidad de inundación [metros] – Cambio climático – 100 años de período de retorno. Der.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – velocidad media de flujo [m/s] – Cambio Climático – 100 años de período de retorno – Palo Hincado, Espaillat y Santomé	97
Figura 30	Curvas de excedencia de magnitudes (profundidad y velocidad) para intersecciones en Calle El Conde.	99
Figura 31	Arr.: Fichas de resultados de inspección estructural en muestra estadística de edificaciones en la CCSD. Ab.: Fichas de inspección de contenidos muebles.	105
Figura 32	Funciones de vulnerabilidad. Izq.: Para velocidad del viento por huracán en edificaciones de acero (Barandiarán et al., 2019). Der.: Para velocidad y profundidad de inundación (Olaya et al., 2023)	107
Figura 33	Resumen de actividades para desarrollar una evaluación de riesgo (Barandiarán et al., 2019).	108
Figura 34	Vista isométrica de tramo 01 – Calle El Conde con Palo Hincado. Fuente: (Barinas, Taveras, Vargas, & Kemp, 2023)	114
Figura 35	Diseño de drenaje pluvial adaptado y resiliente a efectos del cambio climático de tramo 01 – Calle El Conde con Palo Hincado. Fuente: (Barinas et al., 2023)	116
Figura 36	Diseño de drenaje pluvial adaptado y resiliente a efectos del cambio climático de tramo 01 – Calle El Conde con Palo Hincado. Fuente: (Barinas et al., 2023)	116
Figura 37	Sistema de alcorques inundables de drenaje sostenible propuestos para la Calle El Conde – Planta Típica. Fuente: (Barinas et al., 2023)	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Dimensión 1 – Pérdida de servicios esenciales. Fuente: (Barandiarán et al., 2019) -----	65
Tabla 2	Dimensión 2 – Interacción con el entorno natural y antrópico -----	65
Tabla 3	Dimensión 3 – Características físicas -----	66
Tabla 4	Resumen de soluciones planteadas para inundación en la Calle El Conde -----	79
Tabla 5	Resumen de medidas de intervención priorizadas -----	80
Tabla 6	Sectores socioeconómicos y tipos de soluciones priorizadas -----	80
Tabla 7	Tipos de medidas de reducción del riesgo por inundación. Fuente: (UNISDR, 2009) -----	113

ABREVIATURAS

ADN	Ayuntamiento de Distrito Nacional
APRECC	Asociación de Propietarios y Residentes de la Ciudad Colonial
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAASD	Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo
CC	Cambio Climático
CCSD	Ciudad Colonial de Santo Domingo
CMIP5	Quinto Proyecto de Intercomparación del Modelo Acoplado
CMIP6	Sexto Proyecto de Intercomparación del Modelo Acoplado
DNPM	Dirección Nacional de Patrimonio Monumental
ER	Evaluación de Riesgo
FDP	Función de Distribución de Probabilidad
GFDRR	Fondo Mundial para la Reducción de los Desastres y la Recuperación
GRD	Gestión del Riesgo de Desastre
INDRHI	Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos
IPCC	Intergovernmental Panel for Climate Change
MARENA	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MCG	Modelos de Circulación General
MCR	Modelos de Circulación Regional
MDE	Modelo Digital de Elevación (Digital Elevation Model)
MITUR	Ministerio de Turismo de la República Dominicana
MOPC	Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones
ONAMET	Oficina Nacional de Meteorología
PGRD	Plan de Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático
PIDTUCCSD	Programa Integral de Desarrollo Turístico y Urbano de la Ciudad Colonial de Santo Domingo
RCP	Representative Concentration Pathways (Trayectorias de concentración representativas)
SBN	Soluciones Basadas en la Naturaleza
SIG	Sistema de Información Geográfico
SREX	(IPCC) Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption
SSP	Shared Socioeconomic Pathways (Trayectorias Socioeconómicas Compartidas)
SUDS	Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible
Tr	Período de Retorno

1

INTRODUCCIÓN

El Plan de Adaptación a Inundaciones con Influencia del Cambio Climático para la Ciudad Colonial de Santo Domingo (en adelante “Plan de Adaptación”) tiene el propósito de fortalecer la capacidad de adaptación al cambio climático en la Ciudad Colonial de Santo Domingo (CCSD) ante inundaciones.

Este Plan también busca compartir conocimiento sobre gestión de riesgo de desastres (GRD) que respaldan la toma de decisiones en la implementación de medidas de adaptación para incrementar la resiliencia ante inundaciones influidas por eventos de precipitación exacerbados por el cambio climático en la CCSD. Esta información servirá para enriquecer

los procesos de planificación territorial, rehabilitación urbana y diseño arquitectónico, entre otros aspectos. El Plan de Adaptación concentra sus esfuerzos en la rehabilitación urbana de la Calle El Conde (ver Fotografía 1) y el Parque Colón, dos áreas clave para la revitalización de la Ciudad Colonial.



Imagen: Adobe Stock

Este documento se divide en **7 secciones:**

1

Introducción del documento, objetivos y contexto

2

Marco legal y de políticas públicas en República Dominicana

3

Metodología

4

Resultados de paso a paso en la implementación de metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático en proyectos BID

5

Alternativas de reducción del riesgo de desastre en CCSD

6

Conclusiones

7

Anexos



1.1 DESAFÍO Y JUSTIFICACIÓN: ADAPTACIÓN COMO ESTRATEGIA DE LARGO PLAZO

En un contexto de cambio climático tan dinámico, en donde el Sexto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (AR6 – IPCC, 2022) determina que hay un “alto nivel de confianza” que el cambio climático puede afectar la magnitud y frecuencia de los eventos amenazantes y, por tanto, puede generar que los efectos sobre la población

e infraestructura sean mayores a futuro, es indispensable que la toma de decisiones con respecto al desarrollo de infraestructura de los ecosistemas urbanos tengan en cuenta los posibles impactos del cambio climático para hacer GRD y la adaptación que resulten en aumento de la resiliencia climática.



Imagen: Adobe Stock

Caja 1

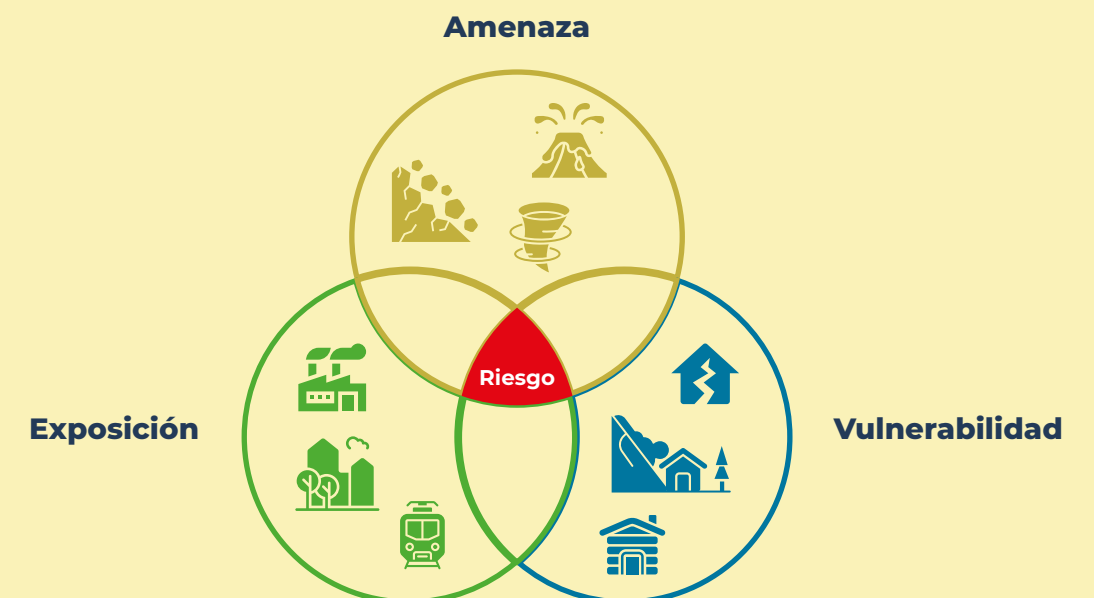
Conceptos Clave – Introducción

Gestión del Riesgo de Desastres (GRD)

Es el proceso de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia de este, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como la posterior recuperación (rehabilitación y reconstrucción). Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible, y la reducción de pérdidas y daños físicos.

Reducción del Riesgo de Desastres (RRD)

Es la práctica de reducir el riesgo de desastres mediante esfuerzos sistemáticos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y la propiedad, una gestión sensata de los suelos y el medio ambiente, y el mejoramiento de la preparación ante lo eventos adversos.



Para llegar a soluciones y medidas específicas que contribuyan a aumentar la resiliencia en proyectos, un paso previo importante es la elaboración de un análisis de riesgo de desastres y cambio climático¹ mediante una Metodología para la Evaluación del Riesgo de Desastre y Cambio Climático que brinda un marco claro y práctico para la adecuada consideración de estos riesgos en los proyectos. El Plan de Adaptación es un ejemplo de aplicación de esta metodología y, finalmente, en la generación de acciones de Reducción del Riesgo de Desastre (RRD).

La RRD es un pilar fundamental del desarrollo sostenible y en la disminución de los daños y pérdidas económicas originadas por desastres. A nivel global, cada año, alrededor de 350 millones de personas se ven afectadas por eventos catastróficos, y lamentablemente, el 60% de estos sucesos acontecen en regiones vulnerables², donde los peligros y conflictos se entrelazan, agudizando problemáticas como la pobreza, la inseguridad alimentaria y la vulnerabilidad³. Localmente, la República Dominicana es uno de los países más afectados por los impactos socioeconómicos sufridos durante las últimas décadas por la ocurrencia de eventos de amenaza de origen natural (sismos, inundaciones, huracanes, etc.). Según la base de datos EM-DAT (Guha-Sapir & Below, 2017), en la región de El Caribe entre 1900 y 2022 el país se ubica en la 3ra posición en total de muertos (5.465) y 6to en daños económicos totales (US\$ 6.426 Millones).

El crecimiento económico en la República Dominicana se ve restringido debido a las pérdidas y daños causados por eventos

climáticos extremos asociados al Cambio Climático, especialmente por el efecto de tormentas tropicales asociadas al “Corredor de los Huracanes”. Entre 1961 y 2014, los daños hidrometeorológicos representaron aproximadamente el 0,69% del PIB anual (Banco Mundial, 2015). Además de los daños directos, el Banco Central (2021) informó que la economía experimentó una recuperación de 15 meses después de un fenómeno atmosférico, con pérdidas económicas de alrededor de US\$1.100 millones, equivalente al 1,5% del PIB de 2020. Se anticipa que la frecuencia e intensidad de estos eventos aumentarán con el calentamiento global (IPCC, 2023b).

En este contexto crítico, la inversión en la reducción de riesgos y en el fortalecimiento de la capacidad de recuperación trasciende el propósito de salvar vidas y medios de subsistencia. Representa, además, una inversión altamente beneficiosa desde una perspectiva económica. La Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) estima que cada dólar destinado a la prevención y reducción de riesgos puede generar ahorros de hasta 15 dólares en la fase de recuperación posterior a un desastre. Asimismo, cada dólar invertido en infraestructuras resilientes a desastres se traduce en un ahorro de 4 dólares en costos de reconstrucción⁴. Estos esfuerzos no solo preservan vidas, sino que también impulsan un desarrollo sostenible y resiliente, generando un impacto positivo tanto a nivel humano como económico.

Caja 2

Preguntas a resolver en el Plan de Adaptación a inundaciones por Cambio Climático

En un contexto de cambio climático, y de muy posible aumento de magnitudes y frecuencias de amenazas naturales, **¿qué medidas de reducción del riesgo de desastre se pueden implementar en proyectos de renovación urbana?, ¿Cuáles en la Ciudad Colonial de Santo Domingo?**



Objetivos específicos

- ✓ Presentar la implementación de la Metodología para la Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático.
- ✓ Presentar procesos y resultados útiles para informar y apoyar procesos de Ordenamiento Territorial en la República Dominicana.
- ✓ Presentar ejemplos concretos de medidas de reducción del riesgo de desastres en proyectos de renovación urbana, a partir de análisis cuantitativos incluyendo los posibles efectos proyectados del del cambio climático sobre el comportamiento de la precipitación a futuro.
- ✓ Presentar los resultados de adaptación a los impactos observados y proyectados del cambio climático sobre los eventos extremos de precipitación en la Ciudad Colonial de Santo Domingo.

¹ Documento disponible en: <https://publications.iadb.org/es/metodologia-de-evaluacion-del-riesgo-de-desastres-y-cambio-climatico-para-proyectos-del-bid>

² OCAH. 2018. Datos y tendencias humanitarias mundiales 2018.

³ “Hallegatte, Stéphane; Bangalore, Mook; Bonzanigo, Laura; Fay, Marianne; Kane, Tamaro; Narloch, Ulf; Rozenberg, Julie; Treguer, David; Vogt-Schilb, Adrien. 2016. Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty. Cambio climático y desarrollo. Washington, DC: Banco Mundial. © Banco Mundial.

⁴ Datos oficiales de la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR): <https://www.undrr.org/es/sobre-undrr/financiamiento>

1.2 CONTEXTO Y ÁREA DE ESTUDIO

La CCSD ostenta el título de ser el primer asentamiento europeo en América y ha sido reconocida como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 1990. Este distrito histórico abarca una extensión de 1,06 kilómetros cuadrados, equivalente a 116 manzanas, y se encuentra rodeado por murallas que lo definen de manera distintiva. Dentro de sus límites, la ciudad alberga una rica variedad de usos, que van desde áreas residenciales hasta comerciales, turísticas y gubernamentales, todo ello coexistiendo armónicamente con un patrimonio cultural de gran relevancia, tanto tangible como intangible, que ocupa un lugar destacado en el contexto nacional. Aunque el patrimonio tangible de la Ciudad Colonial constituye su principal atractivo, no se debe subestimar la importancia de su patrimonio intangible, que se basa en la diversidad social y cultural de su población. Esta comunidad, mientras mantiene viva sus costumbres y tradiciones, también participa activamente en una vida urbana dinámica y en constante evolución.

La CCSD se posiciona como un punto estratégico para el desarrollo tanto turístico como urbano. Su renombre en el ámbito turístico se fundamenta principalmente en su papel como cuna de la Ciudad Colonial, lo que la convierte en un epicentro del turismo cultural y patrimonial en Santo Domingo. Existen múltiples razones que respaldan la importancia de la CCSD para la industria turística:

a **Riqueza Patrimonial y Cultural:** Este enclave concentra una cantidad significativa de activos patrimoniales y culturales de gran relevancia.

b **Abundancia de Museos:** La CCSD ostenta el título de albergar la mayor cantidad de museos en Santo Domingo, lo que enriquece aún más su atractivo turístico.

c **Clúster de Economía Creativa:** Además, se erige como un verdadero clúster de la economía creativa, destacándose en áreas como el arte, la música y la gastronomía local. Se estima que el 28% de sus negocios forman parte de las industrias creativas.

Sin embargo, a pesar de su potencial, la CCSD ha enfrentado desafíos significativos en su desarrollo urbano a lo largo de la historia. Durante la segunda mitad del siglo XX, como en otros centros históricos de la región, los residentes y las actividades comerciales migraron hacia zonas más modernas de la ciudad. Factores como la “revolución de abril del 65” y las inversiones públicas expansivas en el Gran Santo Domingo (GSD) durante el período de la dictadura, sin un plan de desarrollo urbano adecuado, contribuyeron al deterioro del espacio público y de las condiciones de habitabilidad en la CCSD.

Este declive resultó en un éxodo significativo de su población, especialmente de aquellos con ingresos más altos. De hecho, la población de la CCSD se redujo drásticamente, pasando de 16,430 residentes en 1981 a 7,750 en 2015, lo que representa una disminución del 53% en 35 años. La densidad del área se estima en 73.11 habitantes por hectárea, considerablemente inferior a la de otros centros históricos como La Paz y Quito, que tienen densidades de 146.67 y 108.17, respectivamente. Además, la relación entre el número de turistas que visitan la CCSD y aquellos que visitan el GSD es baja, con solo un 33% de turistas optando por explorar la CCSD, lo que pone de manifiesto la subutilización del potencial turístico de esta valiosa área histórica⁵.

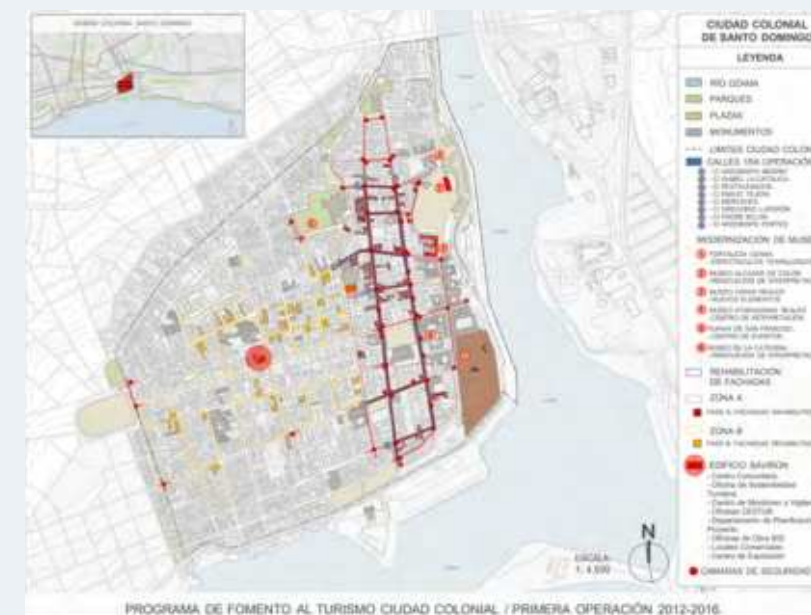
A pesar de su destacado valor patrimonial y cultural, la Ciudad Colonial de Santo Domingo (CCSD) también se caracteriza por albergar hogares en condiciones de marginalidad y segregación, con una alta presencia de familias de bajos ingresos y niveles considerables de degradación urbano-espacial. Aunque no existen datos desagregados sobre la pobreza, se estima que aproximadamente el 60% de la población de la CCSD no ha completado la educación secundaria. Esta realidad es especialmente evidente en la zona norte de la CCSD, específicamente en las comunidades de San Lázaro, San Miguel, San Antón y Santa Bárbara. En estos barrios, las condiciones socioeconómicas de la población y la condición física de las viviendas son factores subyacentes del alto riesgo por inundación que experimentan y que se puede ver exacerbado a futuro por los cambios en las tendencias de precipitación extrema debido al cambio climático⁶.

La CCSD tiene el potencial de convertirse en un centro de atracción turística de reconocimiento

mundial. Esto generaría la diversificación del turismo de la República Dominicana, contribuyendo al crecimiento económico y al bienestar social de los dominicanos. Reconociendo este potencial, el Gobierno Dominicano ha solicitado al Banco el apoyo para la revitalización de la CCSD desde 2011 a través de dos programas de préstamos. El primero fue el “Programa de Fomento al Turismo” (DR-L1035), con un financiamiento del Banco de US\$30 millones. Su objetivo principal era incrementar el ingreso y el empleo generado por el turismo en la CCSD. El programa concluyó en 2018 y obtuvo logros importantes, incluyendo la recuperación integral de más de 2,5 kilómetros de calles; la recuperación de más de 900 fachadas; la instalación de luminarias en espacios públicos; la implementación de un centro de monitoreo de seguridad y vigilancia; y el diseño y ejecución de un programa de formación y capacitación en oficios turísticos, beneficiando a más de 300 personas (Ver Figura 1).

Figura 1

Obras priorizadas en el Programa de Fomento al Turismo en Ciudad Colonial – Primera operación entre 2012-2016.



⁵ En 2015, 5.1 millones de turistas visitaron RD y 1.4 al GSD

⁶ Hábitat para la Humanidad (HH). (2021). Diseño de Programa de Mejoramiento de Vivienda para Ciudad Colonial.

Para alcanzar la revitalización integral y sostenible de la CCSD se requiere de inversiones en diferentes áreas, incluyendo transporte y movilidad, ordenamiento territorial y gestión del suelo, vivienda, y hábitat, seguridad, y capacidad fiscal e institucional. Por ello, el Gobierno pidió un segundo préstamo al Banco en 2016 – el “Programa Integral de Desarrollo Turístico y Urbano de la Ciudad Colonial” (PIDTUCCSD) (DR-L1084; 3879/OC-DR). Esta operación, actualmente en ejecución por el MITUR, cuenta con un financiamiento de US\$90 millones. Este

programa tiene un objetivo más amplio que el anterior y busca revitalizar la CCSD en sus aspectos urbanos, económicos y de turismo cultural a través de: (i) la recuperación de espacios públicos y monumentos históricos; (ii) el mejoramiento de condiciones de habitabilidad para los residentes; (iii) el desarrollo de las economías locales; y (iv) el fortalecimiento de la gestión de la CCSD. El programa tiene previsto terminar su implementación en 2025 (Ver Figura 2).

inundaciones) (Ver Caja 3), se plantea como uno de los objetivos principales del programa la generación del Plan de Adaptación, el cual es un insumo de información relevante para la toma de decisiones de ordenamiento territorial y de procesos de rehabilitación urbana.

El Plan de Adaptación busca asegurar que la CCSD continúe siendo un símbolo de la rica historia de América y un atractivo destino

turístico, mientras se adoptan medidas para reducir los impactos del cambio climático y se fomenta una gestión urbana sostenible. Con la protección de su patrimonio y la mejora de la calidad de vida de sus habitantes, se aspira a que esta ciudad continúe inspirando a generaciones futuras con su esplendor histórico y su capacidad de adaptarse a los desafíos del presente y el futuro.

Figura 2

Obras priorizadas en el Programa de Fomento al Turismo en Ciudad Colonial – Segunda operación entre 2017- actualidad



La implementación de los componentes del PIDTUCCSD tiene como eje transversal el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático. De acuerdo con el informe de Amenazas y Riesgos Naturales⁷, la mayor amenaza para el Distrito Nacional está asociada

a eventos de huracán dada su ubicación costera en una de las áreas más activas de la cuenca del Atlántico Norte. En ese sentido, para garantizar el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático y su influencia en las amenazas naturales hidrometeorológicas (huracanes e

Caja 3

Eventos históricos de inundación en el Distrito Nacional y la Ciudad Colonial de Santo Domingo

Fecha	Tipo inundación	Causa	Total afectados
3/09/1930	Ciclón tropical	San Zenón	12,000
17/08/1995	Tormenta		2,500
4/10/2001	Ciclón tropical	Iris	
2/09/2004	Ciclón tropical	Frances	250
9/09/2004	Ciclón tropical	Iván	
16/09/2004	Ciclón tropical	Jeanne	14,009
26/03/2007	Fluvial	Lluvia extrema	3,830
21/08/2007	Ciclón tropical	Dean	1,600
28/10/2007	Ciclón tropical	Noel	76,728
18/08/2008	Ciclón tropical	Tormenta tropical Fay	
26/08/2008	Ciclón tropical	Huracán Gustav	6,257
15/07/2010	Fluvial		9,500
29/10/2010	Ciclón tropical	Huracán Tomas	12,000
4/08/2011	Ciclón tropical	Tormenta tropical Emily	7,000
24/08/2011	Ciclón tropical	Huracán Irene	37,000
24/10/2012	Ciclón tropical	Huracán Sandy	22,000
23/12/2013	Fluvial		
3/11/2014	Fluvial		300
28/08/2015	Ciclón tropical	Huracán Erika	2,133
7/05/2016	Lluvia extrema		
3/10/2016	Ciclón tropical	Huracán Matthew	48
7/11/2016	Fluvial	Lluvia extrema	2,792,000
20/04/2017	Tormenta		10,287
9/07/2018	Lluvia extrema	Tormenta tropical Beryl	7,390
5/11/2022	Lluvia extrema		
17/11/2023	Lluvia extrema	Lluvia extrema por perturbación tropical	22,236

Fuente: EM-DAT.

⁷ Documento disponible en: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Amenazas%20y%20riesgos%20naturales%20Republica%20Dominicana_Compendio%20de%20mapas.pdf

2

MARCO LEGAL Y DE POLÍTICAS PÚBLICAS EN REPÚBLICA DOMINICANA

La República Dominicana ha tomado medidas significativas para fortalecer su resiliencia y sostenibilidad en las últimas décadas, que abarcan escalas nacionales y locales.

En este capítulo, exploraremos brevemente el marco legal y las políticas públicas que respaldan tres áreas cruciales: la gestión del riesgo de desastres, la adaptación y resiliencia al cambio climático y el ordenamiento territorial. Estas políticas, enmarcadas en acuerdos internacionales y regulaciones nacionales, reflejan un compromiso continuo con la protección de vidas y recursos, la promoción de la resiliencia y el desarrollo sostenible en un entorno de cambios climáticos cada vez más evidentes y desafiantes.

Este capítulo no pretende detallar y/o analizar el marco legal y normativo de la República Dominicana en estos temas. Por el contrario, el objetivo de esta sección es identificar para el lector las normas más relevantes que enmarcan los tres temas principales del Plan de Adaptación: gestión del riesgo de desastres, resiliencia y adaptación al cambio climático, e instrumentos de ordenamiento territorial.

Caja 4

Adaptación vs. Resiliencia

En el contexto del cambio climático y la gestión del riesgo de desastres, las diferencias entre los conceptos de adaptación y resiliencia son:



Adaptación

Se refiere al proceso de ajuste de sistemas naturales o humanos en respuesta a los cambios climáticos observados o esperados. Se concentra en modificar prácticas, políticas y tecnologías para reducir la vulnerabilidad a los impactos climáticos.

Ejemplos: Construir infraestructuras resistentes al clima; puentes, vías, sistemas de drenaje sostenible, entre otros., modificar prácticas agrícolas para hacer frente a cambios en las condiciones climáticas, desarrollar variedades de cultivos resistentes al calor (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023).



Resiliencia

La capacidad de los sistemas sociales, económicos y ecológicos interconectados para hacer frente a un evento peligroso, tendencia o perturbación, respondiendo o reorganizándose de manera que mantengan su función, identidad y estructura esenciales. La resiliencia es un atributo positivo cuando mantiene la capacidad de adaptación, aprendizaje y/o transformación (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023).

En resumen, la adaptación al cambio climático se centra específicamente en ajustarse a las condiciones climáticas cambiantes, mientras que la resiliencia, en el contexto del cambio climático y la gestión del riesgo de desastres, aborda la capacidad de enfrentar y recuperarse de eventos extremos, considerando también factores sociales, económicos y ambientales.

2.1

POLÍTICAS EN MATERIA DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

1

Ley No. 147-02: es el principal marco legal en materia de gestión del riesgo de desastres en el país. Establece las políticas, los procedimientos y las responsabilidades para la gestión de riesgos y la prevención de desastres. También crea el Centro de Operaciones de Emergencia, que coordina las acciones en caso de emergencias.

4

Reglamento No. 146-12: Este reglamento regula la operación del Sistema Nacional de Atención a Emergencias y Seguridad 911.

6

Estrategia Nacional de Reducción de Riesgos (ENRRD): Esta estrategia tiene como objetivo reducir la vulnerabilidad del país a los desastres naturales, que pueden ser exacerbados por el cambio climático. Incluye medidas para mejorar la gestión de riesgos y la resiliencia de las comunidades.

2

Ley No. 147-13, sobre la Comisión Nacional de Emergencias y Planes de Contingencia: complementa la Ley No. 147-02 y establece la Comisión Nacional de Emergencias como un órgano encargado de coordinar la planificación, la preparación y la respuesta a desastres.

5

Plan Nacional de Emergencia y Planes de Contingencia.



3

Ley No. 202-04: amplía las disposiciones relacionadas con la gestión de riesgos y la atención de desastres. Incluye regulaciones específicas sobre la respuesta a emergencias, la evaluación de daños y la reconstrucción.

7

Acuerdos Internacionales: La República Dominicana es signataria de varios acuerdos internacionales relacionados con la gestión del riesgo de desastres, incluido el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, que establece objetivos y principios para la reducción del riesgo de desastres a nivel mundial.

2.2

POLÍTICAS Y MARCO LEGAL EN MATERIA DE ADAPTACIÓN Y FORTALECIMIENTO DE RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO

1

Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCCRD): establece los objetivos generales de adaptación, mitigación y fortalecimiento de la resiliencia, y proporciona un plan de acción con medidas específicas en diferentes sectores.

4

Acuerdo de París - 2015: La República Dominicana es signataria del Acuerdo de París y ha presentado su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) que establece sus compromisos para la mitigación y la adaptación al cambio climático.

7

Ley No. 64-15: establece el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), que tiene como objetivo la conservación de la biodiversidad y la protección de áreas críticas en términos de cambio climático.

2

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC): El PNACC es un componente importante de la ENCCRD. Este plan se enfoca en identificar y abordar los impactos del cambio climático en áreas clave, como la agricultura, la gestión del agua, la salud y la infraestructura.

5

Ley No. 64-00 - “Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales”, establece el marco legal para la gestión ambiental. Incluye disposiciones relacionadas con la conservación de recursos naturales y la mitigación del cambio climático.

3

Plan Nacional de Estrategia de Cambio Climático (2011-2030): establece las políticas y estrategias para abordar el cambio climático en la República Dominicana, incluyendo acciones de mitigación y adaptación.

6

Ley No. 1-12 - “Ley de Estrategia Nacional de Desarrollo 2030”, establece las políticas y estrategias para el desarrollo sostenible del país. Incluye consideraciones sobre el cambio climático y la adaptación.



2.3

MARCO LEGAL EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL

1

Ley No. 1-12 - “Ley de Estrategia Nacional de Desarrollo 2030”, establece las políticas generales de desarrollo del país y proporciona directrices para el ordenamiento territorial y el desarrollo sostenible.

3

Ley No. 64-00 - “Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales”, incluye disposiciones relacionadas con la conservación del medio ambiente y la protección de los recursos naturales, lo que tiene implicaciones en el ordenamiento territorial.

6

El Plan de Revitalización Integral de la Ciudad Colonial (2006) tiene como objetivo guiar el desarrollo socioeconómico futuro de la Ciudad Colonial y asegurar la coherencia en las decisiones. El Plan Regulador zonifica y controla las áreas de conservación y transformación para mantener la Ciudad Colonial y promover su desarrollo armonioso. Establece criterios de intervención en edificios históricos, controla las áreas de transformación, define parámetros de edificación y promueve la puesta en valor de espacios públicos y recorridos culturales. Además, categoriza los bienes culturales inmuebles según su ubicación y período de construcción, determinando las intervenciones permitidas en función de su clasificación.

2

Ley No. 6-66 - “Ley de Suelos y Uso de la Tierra”, regula el uso, la ocupación y la protección de los suelos, y establece las bases para la planificación y el ordenamiento territorial en el país.

4

Ley No. 202-04: regula la gestión de riesgos, emergencias y desastres, tiene importancia en la planificación territorial, ya que aborda aspectos relacionados con la prevención de desastres y la gestión de riesgos en diferentes áreas del territorio.

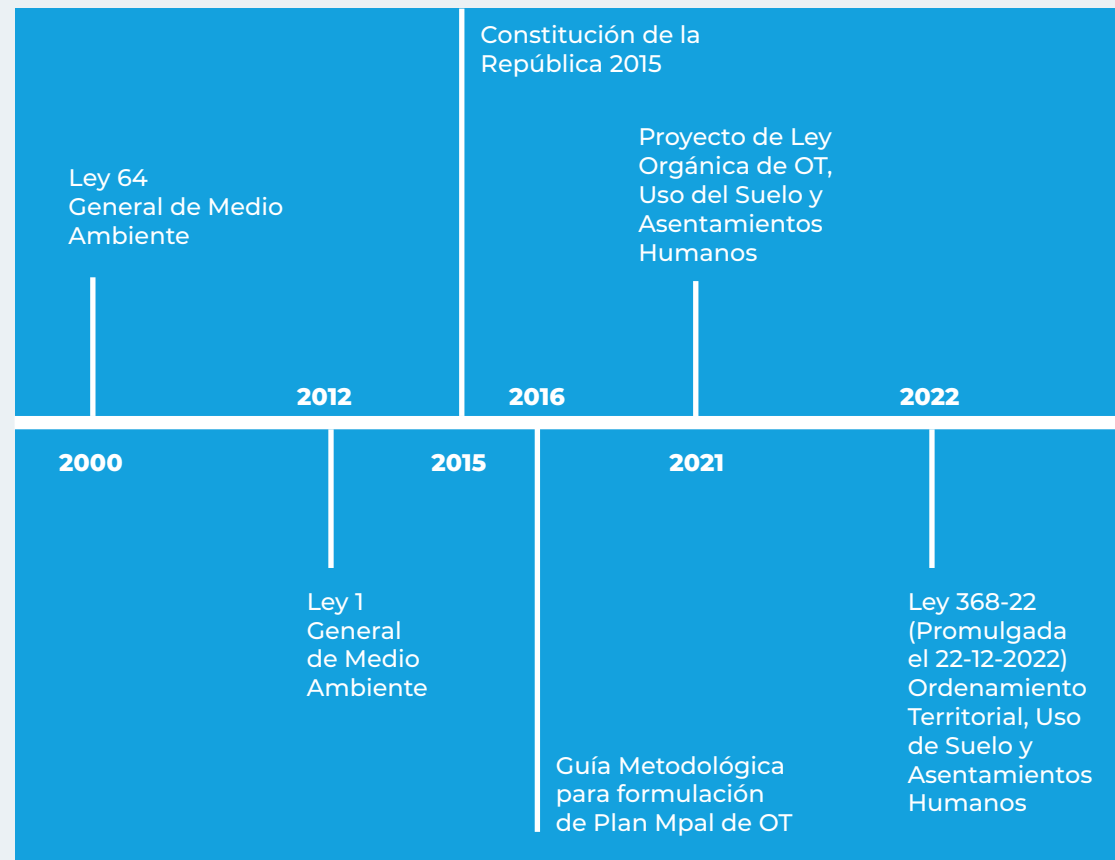
5

Ley No. 340-06 - “Ley sobre Compras y Contrataciones de Bienes, Servicios, Obras y Concesiones”, establece disposiciones relacionadas con la planificación y ejecución de obras públicas y proyectos de infraestructura que afectan el ordenamiento territorial.



Figura 3

Línea de tiempo de marco normativo de ordenamiento territorial en República Dominicana. Fuente: (Banco Interamericano de Desarrollo - BID, 2023)



3

METODOLOGÍA

En el marco del Acuerdo de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030), impulsado por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), se reafirman y establecen procesos fundamentales de la GRD que guían a las naciones hacia un futuro más resiliente, y a evitar la producción de nuevos riesgos.

Estos procesos se establecen en términos de prioridades de los países y abarcan: i) la identificación y comprensión del riesgo de desastres, ii) fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo, iii) implementación de políticas y estrategias de reducción del riesgo, y iv) el aumento de la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.

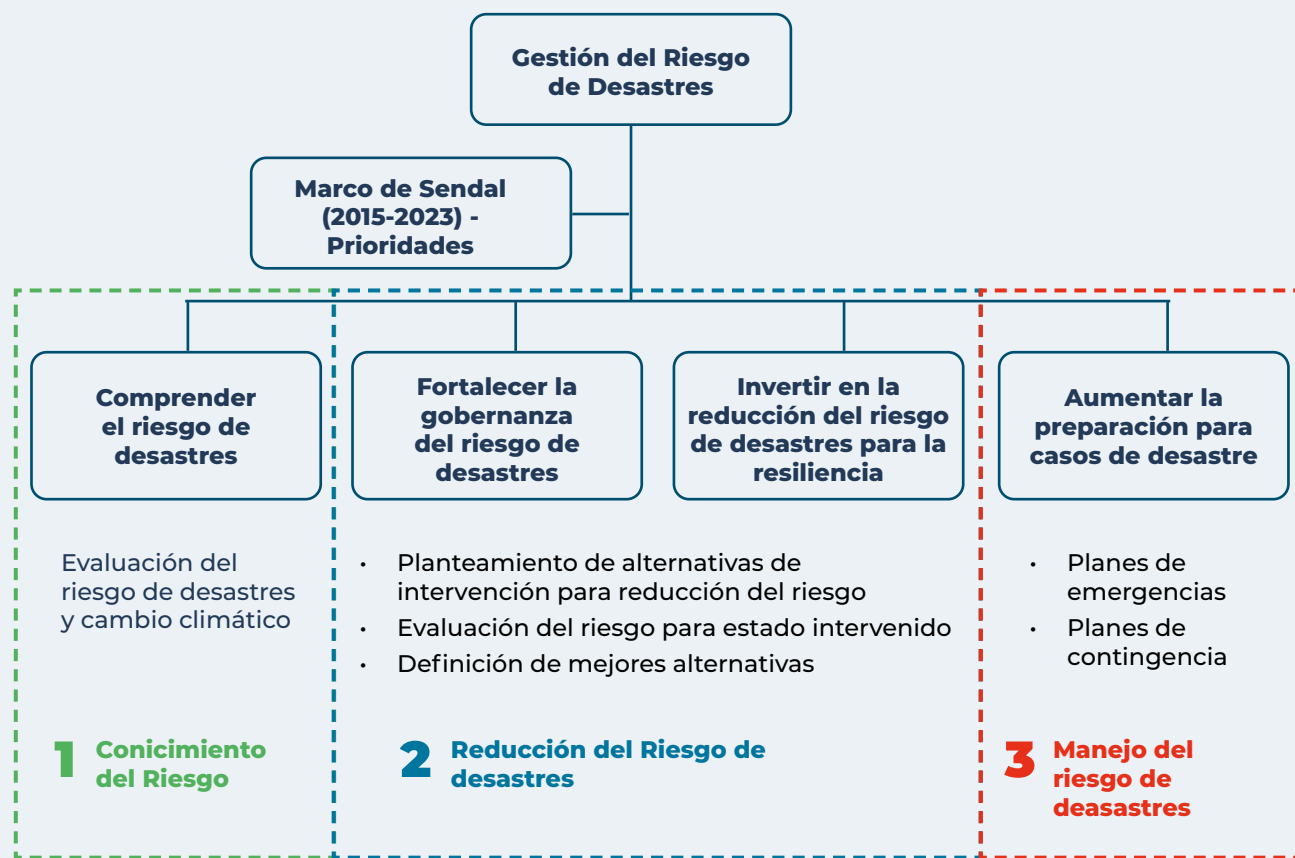
Así pues, el Marco de Sendai (2015-2030) ofrece un encuadre de pensamiento frente a la GRD en todos los países firmantes, dentro de los que se encuentra la República Dominicana. Dicho encuadre plantea que la GRD es un proceso social, económico y ambiental que se puede entender en tres componentes principales:

i) conocimiento del riesgo, ii) reducción del riesgo, y iii) preparación y manejo de desastres. Los dos primeros componentes se enfocan en soluciones de adaptación antes del desastre, mientras que el tercer componente se enfoca en soluciones post-desastre (Ver Figura 4).

En línea con lo anterior, el BID desarrolló una metodología para facilitar los procesos de identificación y evaluación de los riesgos de desastres y cambio climático y las oportunidades en materia de resiliencia en todos los proyectos relevantes durante sus fases de identificación, preparación e implementación. Dicha metodología se establece con todo detalle y rigor en el documento titulado: Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático para proyectos del BID (Barandiarán, Esquivel, Lacambra, Suarez, & Zuloaga, 2019).

Figura 4

Componentes de la gestión del riesgo de desastres. Adaptado de las prioridades del Marco de Sendai (2015-2030) (UN Secretary-General, 2016)



En este capítulo se hace un recuento de los componentes principales de la metodología aplicada en el proceso de fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático en la CCSD.

Pero se invita al lector a consultar el documento de metodología del Banco para profundizar en contenidos y aspectos técnicos de cada componente de análisis⁸.

⁸ Documento disponible en: <https://publications.iadb.org/es/metodologia-de-evaluacion-del-riesgo-de-desastres-y-cambio-climatico-para-proyectos-del-bid>

3.1 COMPONENTES DEL RIESGO DE DESASTRES

El riesgo de desastres se entiende como la posibilidad de que se produzcan muertes, lesiones, daños y pérdidas en activos de un sistema, una sociedad o una comunidad en un período de tiempo específico en función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta del sistema (UN

Secretary-General, 2016). En ese contexto, se entiende que el riesgo de desastre únicamente se puede materializar cuando existe un evento que amenaza un conjunto de elementos de interés (personas, infraestructura, cultivos, etc.) que pueden sufrir daños en función de la vulnerabilidad al evento amenazante.



Por ejemplo: producto de la dinámica fluvial, climática y meteorológica, eventos de inundación por desbordamiento de ríos ocurren todos los días en diferentes partes del mundo sin que el ser humano las registre como eventos desastrosos o incluso como eventos de inundación. Esto ocurre porque en esos

casos de dinámica fluvial en donde los ríos ocasionalmente anegan zonas de su ronda hídrica, no existe ningún elemento expuesto de interés para el ser humano; ninguna edificación, carretera, industria, asentamiento humano, cultivos, etc. En ese caso lo único que se tiene es la ocurrencia de un evento amenazante, pero no hay elementos expuestos. Por tanto, no hay daño y no hay riesgo.

En un segundo caso hipotético, empleando el mismo ejemplo anterior, imaginemos que ocurrió el mismo fenómeno amenazante sobre una zona urbana, con una magnitud importante. Lo suficiente para destruir, por ejemplo, puentes vehiculares, edificaciones de madera, de mampostería, y generar numerosas pérdidas en contenidos muebles. Y asumamos que existen edificaciones construidas con materiales infinitamente rígidos e impermeables, así como sus contenidos muebles. En este segundo caso tenemos que; i) ocurrió un fenómeno amenazante, ii) en efecto hay unos elementos expuestos (edificaciones), pero todavía el riesgo es cero, en virtud del ejemplo. ¿Por qué ocurre esto? Esencialmente porque la vulnerabilidad de las edificaciones infinitamente rígidas e impermeables es nula con respecto a eventos de inundación. Es decir, por más que ocurran eventos amenazantes de este tipo, los daños que se experimentan son nulos porque las edificaciones tienen la capacidad de absorber los impactos del evento.

Caja 5

Evaluación del riesgo de desastres

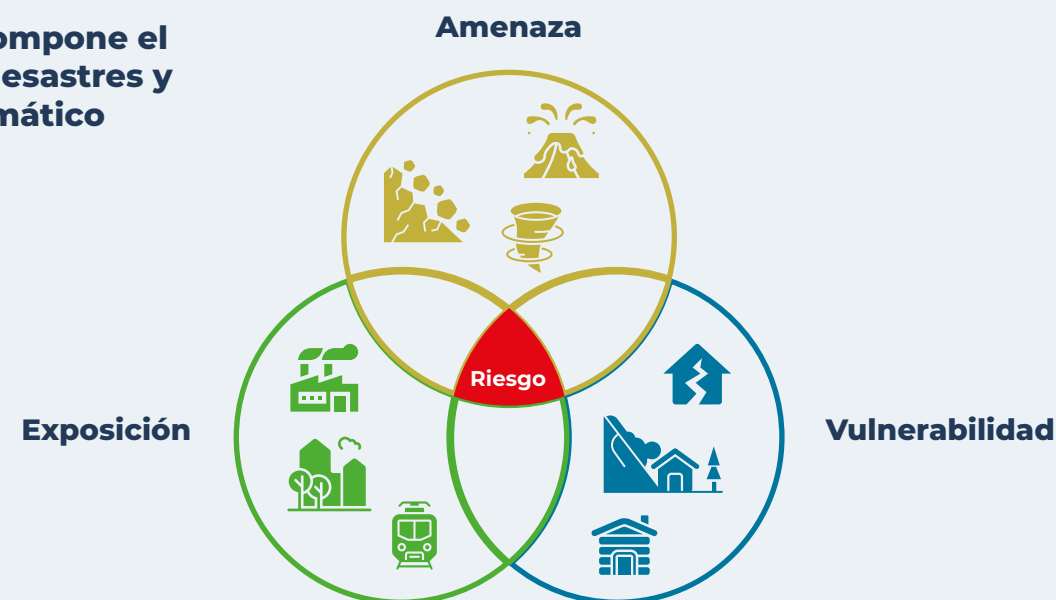
Es un proceso que puede adoptar un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo para comprender la naturaleza y la magnitud del riesgo de desastres. Este proceso implica analizar las posibles amenazas y evaluar las condiciones actuales de exposición y vulnerabilidad que, en conjunto, tienen el potencial de provocar daños a personas, propiedades, servicios, medios de subsistencia y al entorno ambiental (UN Secretary-General, 2016)

Por supuesto, el ejemplo dos no ocurre en la realidad, puesto que todos los elementos expuestos, por resistentes que sean, siempre van a tener un nivel de vulnerabilidad particular con respecto a eventos extremos. En estos casos reales, donde ocurre un

evento, hay elementos expuestos de interés, y tienen una vulnerabilidad particular, es donde podemos hablar de riesgo y donde en efecto se pueden experimentar daños y afectaciones (Ver Figura 5).

Figura 5

Cómo se compone el riesgo de desastres y cambio climático



Fuente: (Barandiarán et al., 2019).

Caja 6

Relación entre el cambio climático con la Gestión del Riesgo de Desastres

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en su Informe especial sobre la gestión de riesgos asociados a fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático (IPCC, 2012), define el cambio climático como una alteración persistente de las condiciones climáticas. Esta transformación puede resultar de procesos naturales internos, influencias externas o cambios antropogénicos sostenidos en la atmósfera o el uso de la tierra. Es crucial destacar que este informe se enfoca en los impactos del cambio climático en lugar de explorar sus causas.

El informe distingue entre la variabilidad climática natural y el cambio climático global provocado, poniendo énfasis en proyectar posibles futuros escenarios de emisiones y forzamientos radiativos para ilustrar la dirección y magnitud de los cambios anticipados. Además, reconoce que la variabilidad climática natural establece una conexión crucial entre la ciencia del cambio climático y la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD). Esto es especialmente relevante a corto plazo, ya que las alteraciones climáticas pueden ocasionar impactos notables, como eventos de temperatura extrema y condiciones meteorológicas intensas.

En este contexto, la adaptación al cambio climático se ha vuelto esencial, y se reconoce la intersección fundamental entre el riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático, tanto por parte del IPCC como de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). Además, se subraya que los efectos del cambio climático evolucionarán con el tiempo, con respuestas que variarán en rapidez y magnitud. Esto ha dado origen al concepto de “riesgo del cambio climático,” que incorpora la variabilidad y la incertidumbre en la gestión del riesgo de desastres relacionados con eventos hidrometeorológicos.

Caja 7

Componentes del riesgo



El componente de amenaza en este contexto hace referencia a los fenómenos de origen natural que representan un riesgo para la población y la propiedad, y que, por lo tanto, pueden ocasionar daños, pérdidas económicas, lesiones y, en última instancia, la pérdida de vidas. La Metodología abarca tanto las amenazas de tipo geofísico, como terremotos, deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas y tsunamis, como aquellas relacionadas con el clima, como incendios, huracanes, inundaciones pluviales, fluviales y costeras, olas de calor y sequías. **En el PRAICC-CCSD, puntualmente, se hace énfasis únicamente en las amenazas hidrometeorológicas de inundaciones pluviales, fluviales y costeras.**



El componente de exposición se define como la convergencia en el espacio y el tiempo de personas o recursos (ya sean físicos o ambientales) con las amenazas naturales. En consecuencia, cualquier comunidad (según lo señalado por Hallegatte y otros en 2017), así como los activos, servicios o poblaciones ubicados en áreas afectadas por las amenazas naturales, se consideran expuestos a dichas amenazas y, por ende, susceptibles de sufrir daños.



El componente de vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad de una entidad a sufrir perjuicios o daños. En el caso de activos, sistemas y personas, esta vulnerabilidad está determinada por sus características intrínsecas, internase individuales, que naturalmente los hacen más propensos o, por el contrario, más resistentes a sufrir daños. En este contexto, la vulnerabilidad se enfoca en la posibilidad de ser afectado exclusivamente por amenazas naturales. Además, otro aspecto importante que define la vulnerabilidad es la capacidad de recuperación de un sistema, activo o comunidad después de un desastre. A largo plazo, la capacidad de aprender de las experiencias pasadas (es decir, la capacidad adaptativa) también puede resultar altamente beneficiosa.

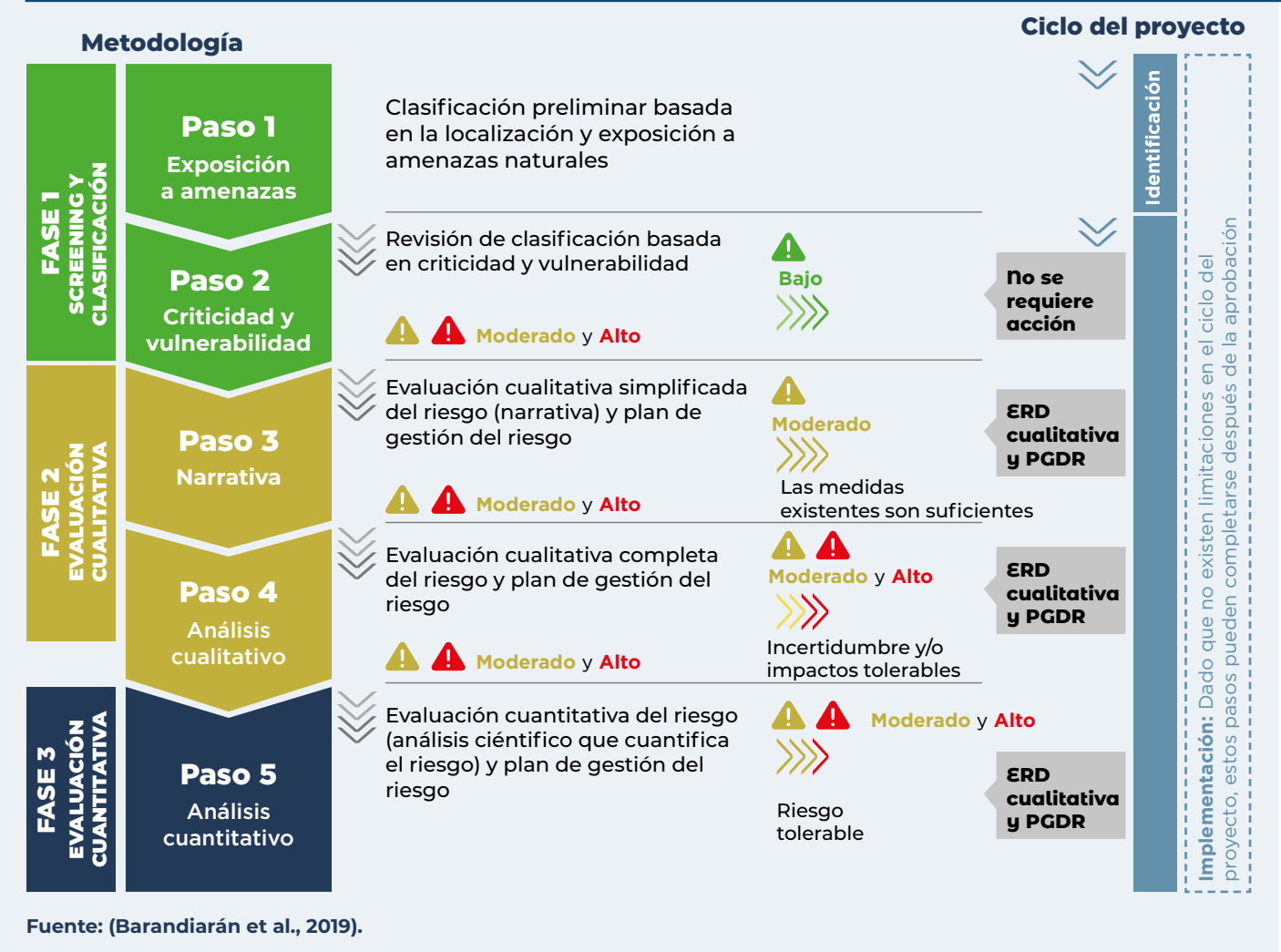
3.2

ETAPAS DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE POR INUNDACIÓN CON INFLUENCIA DE CAMBIO CLIMÁTICO (BID, 2019)

La metodología de evaluación de riesgo se divide en 3 fases; i) screening y clasificación, ii) evaluación cualitativa, y iii) evaluación cuantitativa (Ver Figura 6).

Figura 6

Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático



Uno de los objetivos de esta metodología es la gradualidad y la eficiencia en el uso de los recursos de cada proyecto. El enfoque se centra en análisis incrementales en función de los

resultados de cada paso. A continuación, se especifican las características más relevantes de cada una de estas fases.

3.2.1 Screening: Amenazas y vulnerabilidades más relevantes

La fase 1, denominada screening y clasificación, está compuesta de dos pasos principales; i) análisis de exposición a amenazas, y ii) criticidad y vulnerabilidad. El primer paso está diseñado para hacer una primera clasificación del proyecto en términos de su localización, y la exposición ante un conjunto de amenazas naturales sin vincular ningún tipo de análisis de vulnerabilidad de los elementos expuestos ante las amenazas. Para este primer paso es válido el uso de información secundaria y disponible en bases de datos de sistemas de información geográfico (SIG) internacionales y/o nacionales. El resultado principal de este paso es binario:

i

El proyecto no está en una zona de amenaza y se para el análisis en este punto.

ii

El proyecto está en una zona de amenaza y se debe avanzar al paso 2.

El segundo paso vincula, a nivel general y sin detalle, la vulnerabilidad y criticidad del proyecto ante los eventos naturales que lo amenazan. El objetivo de este paso es ayudar a definir mejor el alcance de la operación, identificar las características de criticidad del proyecto, complementar la clasificación inicial del riesgo con base en las amenazas y decidir (según la clasificación resultante) si es necesario realizar una evaluación adicional del riesgo (Ver Figura 7).

El resultado de este segundo paso puede ser de 2 tipos:

i

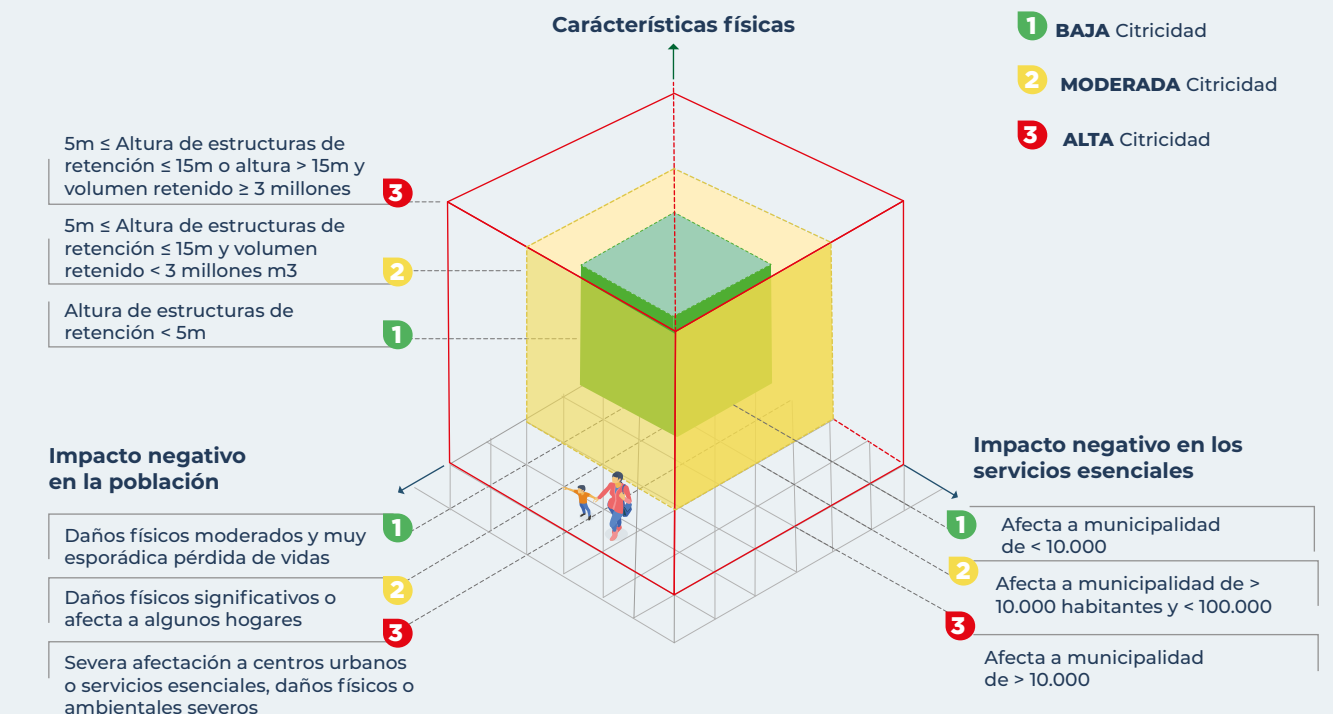
El proyecto se encuentra ubicado en zona de amenaza, pero tiene vulnerabilidad y criticidad baja, por tanto, no se requiere acción.

ii

El proyecto se encuentra ubicado en zona de amenaza, y además tiene una vulnerabilidad y criticidad medida o alta. Por tanto, debe avanzar a una evaluación cualitativa de riesgo.

Figura 7

Criticidad y vulnerabilidad del proyecto



3.2.2 Evaluación cualitativa

La fase 2, denominada evaluación cualitativa, está compuesta también de dos pasos principales; i) narrativa, y ii) análisis cualitativo. El primero consiste en un análisis simplificado del riesgo que permita construir una narrativa.

Se aplica a proyectos con riesgo moderado y alto, implica la recopilación de datos relevantes de estudios, documentos y consideraciones de diseño previas, junto con información sobre la capacidad de adaptación del proyecto o las comunidades. El objetivo es documentar la incorporación de la gestión del riesgo de desastres y el cambio climático en el proyecto. Además, este paso sirve como filtro inicial para identificar proyectos de riesgo moderado y alto que deben avanzar al siguiente paso y

aquellos que pueden ser excluidos del proceso si han abordado adecuadamente los aspectos relacionados con los riesgos.

El resultado de este paso puede ser de dos tipos:

i

La narrativa arroja que en antes del proyecto se abordaron los elementos riesgo de forma suficiente y adecuada y no es necesario generar acciones sucesivas

ii

La narrativa de riesgo arroja resultados moderados o altos y se debe avanzar a una evaluación cualitativa completa de riesgo y un Plan de Gestión del Riesgo de Desastres (PGRD).

Caja 8

Plan de Gestión del Riesgo de Desastres

Un plan de gestión del riesgo de desastres es un documento estratégico y operativo que tiene como objetivo principal prevenir, mitigar, prepararse para responder y recuperarse de situaciones de desastre o emergencia. Este plan se desarrolla con la finalidad de proteger la vida humana, los bienes, el medio ambiente y los recursos críticos de una comunidad o una organización. Los PGRD suelen incluir: cuantificación del riesgo, metodologías y estrategias de reducción, preparación y respuesta, recuperación y reconstrucción, coordinación y comunicación, capacitación y simulacros, monitoreo y evaluación.

Un PGRD es esencial para garantizar la seguridad y la resiliencia de las comunidades y organizaciones ante eventos adversos. Debe ser adaptado a las características específicas de cada contexto y estar respaldado por un compromiso continuo de implementación y mejora.

El segundo paso de la evaluación cualitativa implica llevar a cabo una evaluación cualitativa exhaustiva del riesgo y desarrollar un plan de gestión del riesgo de desastres para todos los proyectos de alto riesgo, así como para aquellos de riesgo moderado que lo requieran según lo determinado en el paso anterior. Esto implica un análisis de modos de falla en colaboración con expertos en el tema y en el sector, evaluando cualitativamente todas las posibles formas en que un proyecto podría fallar debido a la ocurrencia de un fenómeno natural. Se consideran las causas de la falla y las consecuencias tanto para la estructura como para el entorno y las comunidades circundantes,

incluyendo una estimación aproximada de los impactos que se evitarían si el proyecto no se llevase a cabo.

Esta evaluación inicial cualitativa permite determinar si es necesario realizar una evaluación cuantitativa detallada y, en caso afirmativo, se enfoca en las áreas específicas de la operación y los temas que realmente lo requieran. Además, se incluye la elaboración de un PGRD y cambio climático para las partes de la operación que no pongan en riesgo su viabilidad técnica o económica; aquellas que sí lo hagan deben avanzar a la Fase 3.

3.2.3 Evaluación cuantitativa

La fase 3 de la metodología es la evaluación cuantitativa completa del riesgo para todos aquellos proyectos que sean calificados con riesgo moderado o alto en los pasos previos. En este punto se debe modelar de manera cuantitativa aspectos específicos que requieren una investigación más profunda, como atributos físicos, estructuras, modos de falla o amenazas. Se realiza una evaluación científica y matemática de la vulnerabilidad, amenaza y riesgo para estos aspectos seleccionados, incluyendo la estimación de impactos que no ocurrirían sin el proyecto. También se lleva a cabo una evaluación de la tolerabilidad al riesgo y la viabilidad técnica y económica para cumplir con la política del Banco y las normas de tolerabilidad sectoriales. Se ofrecen diversos métodos, técnicas y modelos para calcular el riesgo, adaptados a diferentes tipos de amenazas, estructuras y niveles de detalle.

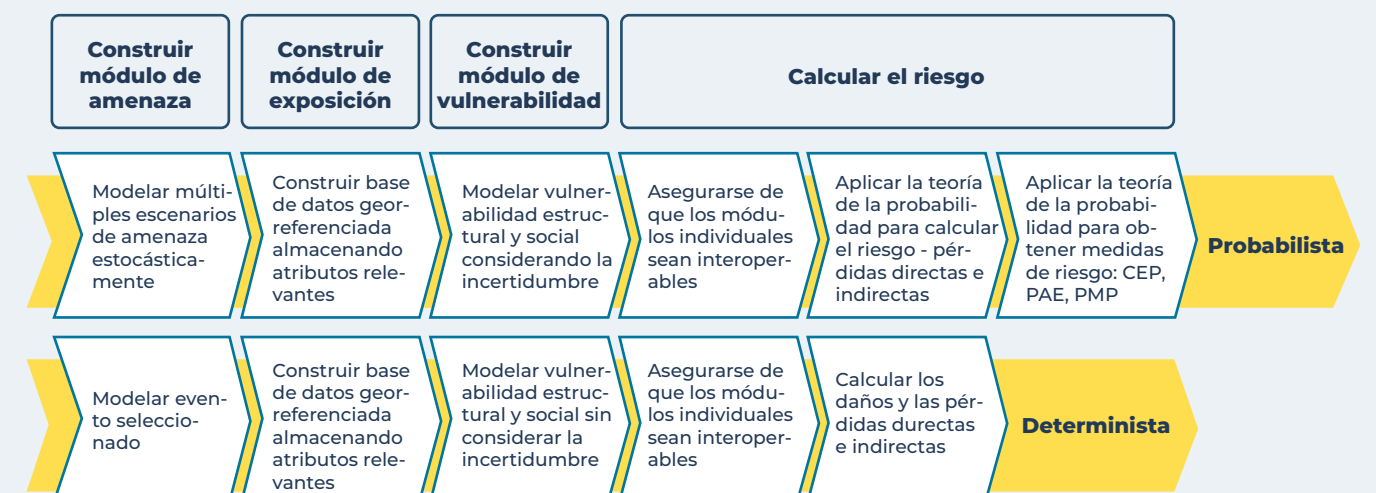
Además, para sistemas con incertidumbre significativa, se consideran métodos innovadores

como la metodología de Decisiones Robustas (RDM), que utiliza modelos de simulación para evaluar el desempeño de acciones en una amplia gama de futuros plausibles. El PGRD se desarrolla con base en los resultados de la evaluación cuantitativa del riesgo e incluye medidas de diseño (estructurales o de ingeniería), medidas de construcción (planes de respuesta de emergencia), y medidas de operación (cambios en procesos y procedimientos), entre otras. Estas medidas deben incluir un indicador de costo-beneficio y nivel de prioridad.

La Figura 8 presenta un resumen de actividades para desarrollar una evaluación cuantitativa completa de riesgo a partir de dos enfoques distintos; i) probabilista, que involucra todas las incertidumbres del proceso de generación de pérdidas, y ii) determinista, que no involucra incertidumbres en todos los componentes y, en cambio, hace estimaciones para eventos puntuales de interés para el proyecto.

Figura 8

Resumen de actividades para desarrollar una evaluación cuantitativa completa del riesgo



Fuente: (Barandiarán et al., 2019)

Caja 9

De este capítulo, los mensajes más importantes para el lector son:

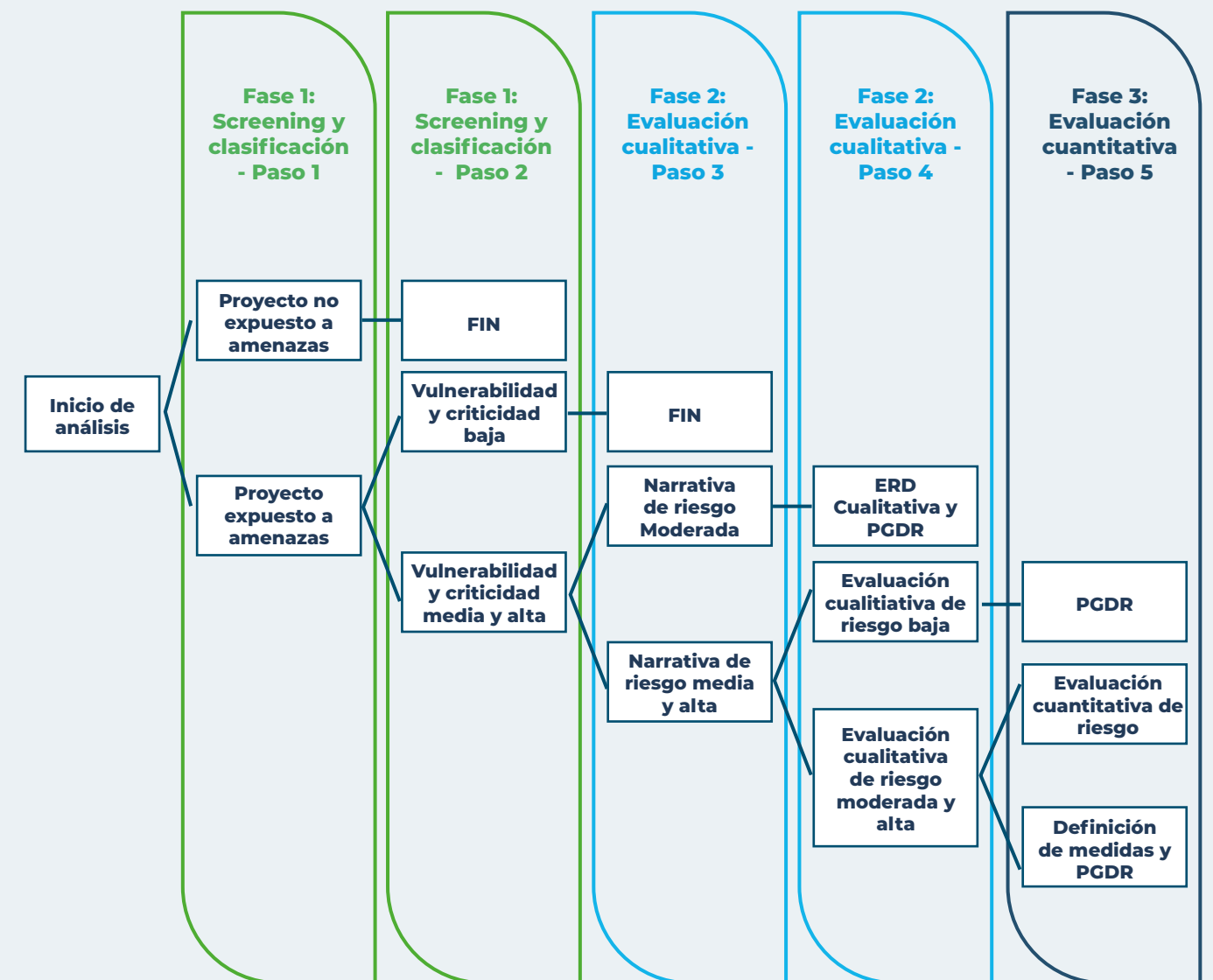
- 1 Existe la necesidad de analizar, medir y cuantificar el riesgo y sus componentes previamente al desarrollo de un proyecto de renovación urbana y ordenamiento territorial con enfoque de resiliencia al cambio climático.
- 2 La metodología tiene como objetivo principal la idea encapsulada en la famosa cita de Voltaire: “Lo perfecto es enemigo de lo bueno”. Esto implica que, en determinadas circunstancias de recursos y particularidades de cada proyecto, no es necesario buscar la perfección en términos de complejidad técnica, científica o de exhaustividad. En muchos casos, un enfoque más sencillo y progresivo puede ser más efectivo y producir mejores resultados.

Por último, la Figura 9 presenta un resumen de las condiciones de gradualidad, condicionalidad y progresividad a las que le apunta la metodología del Banco. Es importante resaltar allí que el proceso es una constante toma de

decisiones racionales en las que se debe tener en cuenta los resultados de las fases previas en función de los objetivos, alcance y recursos de cada proyecto.

Figura 9

Ejemplo de acciones graduales e incrementales en la metodología de Evaluación del Riesgo



Fuente: (Barandiarán et al., 2019).

4

SCREENING Y CLASIFICACIÓN DEL RIESGO

El objetivo de esta sección es el de clasificar y analizar i) la exposición a amenazas, y ii) la criticidad y vulnerabilidad de los elementos expuestos ante las amenazas de interés. En el Plan de Adaptación, puntualmente interesa analizar la amenaza por inundación con influencia de cambio climático en la CCSD. En los capítulos subsiguientes, se presentan los resultados del paso a paso del análisis de base del Plan de Adaptación que conduce a la generación de alternativas de gestión del riesgo y al fortalecimiento de la resiliencia a efectos del cambio climático en proyectos de rehabilitación urbana.

4.1

PASO 1 EXPOSICIÓN A AMENAZAS

La CCSD se encuentra rodeada por el río Ozama al este y el mar Caribe al sur. Adicionalmente experimenta lluvias extremas por la ocurrencia de temporadas de precipitación, tormentas tropicales y el fenómeno El Niño Oscilación Sur, entre otros fenómenos. El enfoque sobre la amenaza de inundación en la CCSD se da por la alta exposición a este tipo de amenaza y por la influencia que puede tener el cambio climático en la modificación de la frecuencia y magnitud de este tipo de evento (IPCC, 2023a).

Para determinar la exposición a inundaciones de diferentes fuentes en la CCSD, se hace uso de información y/o modelos disponibles. En esta fase no se busca realizar modelaciones, ni emplear esfuerzos y recursos en levantamiento de información primaria y de campo. En cambio, se busca realizar análisis elementales a partir de información existente y accesible. Para ello, en la metodología que sigue este estudio se realiza un proceso de “screening” de la zona de análisis y las amenazas conocidas que potencialmente pueden afectarla.

Para el Plan de Adaptación se analizan fundamentalmente tres forzamientos de inundación sobre la CCSD. Estos forzamientos son: desbordamiento del río Ozama, marea de tormenta e inundación costera, y eventos extremos de precipitación.

Caja 10

Conceptos Clave



Forzamiento: Fuerzas externas actuantes sobre un sistema natural. A gran escala es posible hacer referencia al forzamiento climatológico y meteorológico. A escalas regionales y locales es posible hacer referencia a forzamientos hidrológicos como la precipitación o los caudales máximos para un lapso dado.

4.1.1

Inundación por desbordamiento del río Ozama

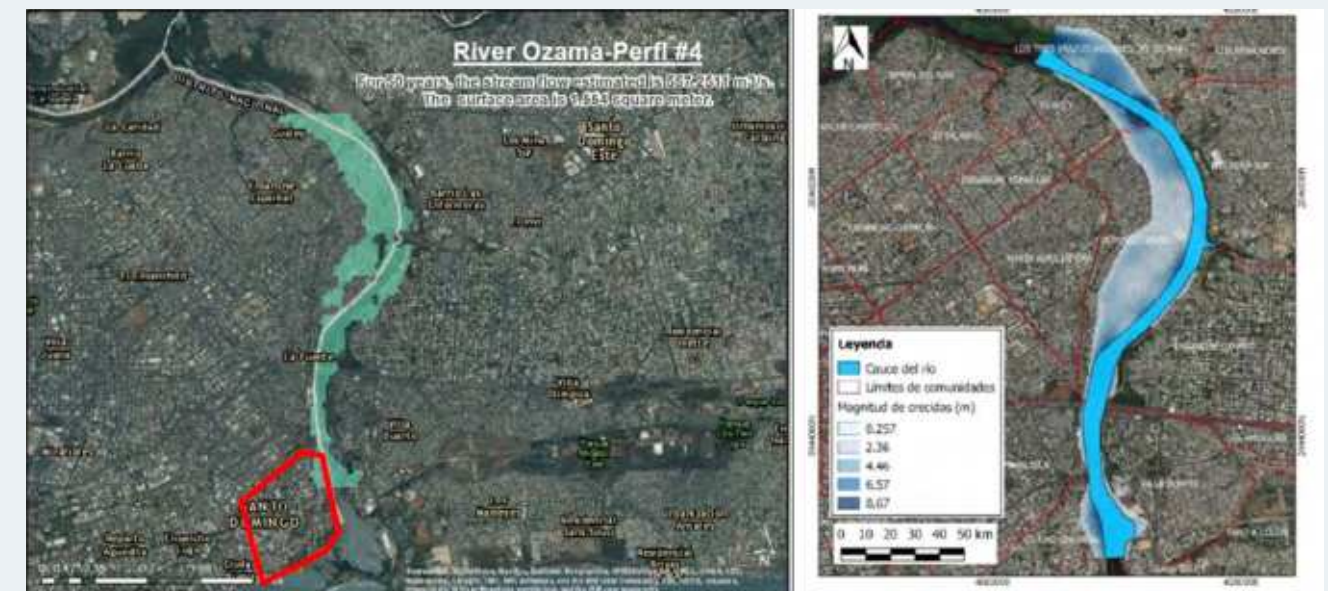
En el año 2016, se realizó un proyecto titulado “Análisis de inundación para las áreas vulnerables de Santo Domingo” (Mesa, González, & Angeles, 2016)⁹. En este estudio se realizó un modelo hidrológico e hidrodinámico del río Ozama con el objetivo de generar mapas de amenaza por inundación para condiciones históricas. En la Figura 10 (Izq.) se presenta un mapa de áreas inundables en el río Ozama para un período de retorno de 50 años. En este mapa, si bien el modelo realizado no plantea resultados hasta la desembocadura del río Ozama, se evidencia que para eventos extremos (50 años de período de retorno o más) es posible esperar afectaciones

en juntas de vecinos de la región norte de la CCSD, particularmente Santa Bárbara, María de Toledo, y San Antón.

Otro estudio de este estilo, desarrollado para el río Ozama, es el titulado “Análisis de variabilidad climática y el riesgo a inundaciones del río Ozama, Santo Domingo, República Dominicana” (Belliard, 2020), en el cual se realizan análisis hidrológicos e hidrodinámicos y se obtienen mapas de amenaza por inundación para el río Ozama para eventos de 100 años de período de retorno, entre otros (Ver Figura 10 – Der.).

Figura 10

Izq.: Áreas inundables en el río Ozama para un período de retorno de 50 años



Fuente: (Mesa et al., 2016). Der.: Áreas inundables en el río Ozama para un período de retorno de 100 años.

Caja 11

De esta sección de screening por inundación del río Ozama, los mensajes más importantes para el plan de adaptación de CCSD son:

1

Hay 3 puntos principales a considerar: los resultados de los proyectos de Análisis de inundación del río Ozama, la localización de la CCSD y que a futuro es posible esperar que en condiciones de cambio climático las precipitaciones y caudales extremos potencialmente pueden incrementarse.

2

Teniendo en cuenta lo anterior, es racional pensar que a futuro es posible que existan afectaciones por desbordamiento del río en las juntas de vecinos al norte de la CCSD. Por lo tanto, efectivamente hay una exposición a la amenaza por inundación por desbordamiento de río.

3

El resultado de esta fase es positivo. Es decir, sí es necesario avanzar a la siguiente fase de análisis por este tipo de forzamiento.

4.1.2 Inundación costera – marea de tormenta

En el año 2016, se realizó un proyecto titulado Dada la localización geográfica de la CCSD, es racional pensar en que puede haber una afectación por marea de tormenta en el evento de la ocurrencia de un huracán de categorías 3, 4 o 5. Para analizar este tema en esta fase, se emplearon los resultados del modelo titulado “Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes (SLOSH)” (Zachry, Booth, Rhome, & Sharon, 2015) de la NOAA (National Oceanic

and Atmospheric Administration) de los Estados Unidos¹⁰. Este modelo plantea resultados indicativos de las zonas de inundación y posibles alturas de inundación que se pueden presentar en la República Dominicana -entre otros países de la cuenca de El Caribe- por la ocurrencia de huracanes. La Figura 11 presenta el mapa de inundación en Santo Domingo a partir de la marea de tormenta por huracanes (Zachry et al., 2015).

Figura 11

Mapa de inundación en Santo Domingo a partir de marea de tormenta por huracanes. Modelo: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes (SLOSH).



Fuente: (Zachry et al., 2015)

¹⁰Información adicional de este proyecto se puede encontrar en el portal SLOSH-NOAA: <https://www.nhc.noaa.gov/surge/slosh.php>

Caja 12

De esta sección de screening por inundación costera en la CCSD, los mensajes más importantes para el lector son:

1

La localización de la CCSD hace pensar que está expuesta a inundación costera. Asimismo, al estar rodeada al oriente por el río Ozama, es racional pensar que los eventos extremos de inundación se pueden ver agravados por situaciones extremas conjuntas de elevación del nivel del mar y de incremento de caudal del río.

2

El resultado de esta fase es positivo. Es decir, sí es necesario avanzar a la siguiente fase de análisis por este tipo de forzamiento.

4.1.3 Inundación pluvial

La inundación pluvial es producto de eventos extremos de inundación concentrados en lapsos cortos (de pocos minutos hasta algunas horas o días), en donde se producen volúmenes de escorrentía, que posteriormente se acumulan en zonas bajas y generan inundaciones.

En este sentido, es importante considerar no solo las condiciones históricas de precipitación que han producido inundaciones en la CCSD,

sino que es igual o más relevante tener en cuenta las condiciones extremas de precipitación que se pueden presentar a futuro en el marco de un clima cambiante. Para ello, existen múltiples modelos climáticos (Modelos de Circulación General -MCG) que ofrecen estimaciones de tendencias de cambio de variables climáticas a futuro bajo diferentes supuestos de desarrollo socioeconómico, entre otras características.

Caja 13

Conceptos Clave



Volumen de escorrentía: cantidad de agua que fluye superficialmente sobre una superficie después de una lluvia o un evento de precipitación en lugar de infiltrarse en el suelo. Esta agua de escorrentía se mueve a lo largo de la superficie terrestre y puede acumularse en arroyos, ríos, lagos u otras áreas bajas.



Modelos de Circulación General (MCG): Modelos climáticos que representan de manera numérica el sistema climático, basados en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación. Proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible y permiten investigar y simular el clima para fines operativos, en particular, predicciones climáticas diarias, mensuales, estacionales e interanuales (Planton, 2013).



Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSPs): son descripciones de posibles futuros socioeconómicos sin intervención de políticas climáticas. Se basan en cinco narrativas diferentes, incluyendo desarrollo sostenible, rivalidad regional, desigualdad, desarrollo con combustibles fósiles y desarrollo de término medio. Combinar estas trayectorias con proyecciones climáticas proporciona un marco integral para analizar impactos climáticos y políticas (Planton, 2013).

Con respecto a este tema, se toman dos referencias principales del posible cambio de tendencia en las magnitudes de precipitación a futuro en un escenario con cambio climático. La primera, corresponde al Portal de Conocimiento sobre el Cambio Climático (CCPK, por sus siglas en inglés) del Banco Mundial (World Bank Group, 2021), en el cual se ofrece una amplia gama de indicadores climáticos para analizar los posibles escenarios climáticos futuros y los riesgos asociados a los cambios en el clima. Los datos se presentan en términos de medias proyectadas o cambios

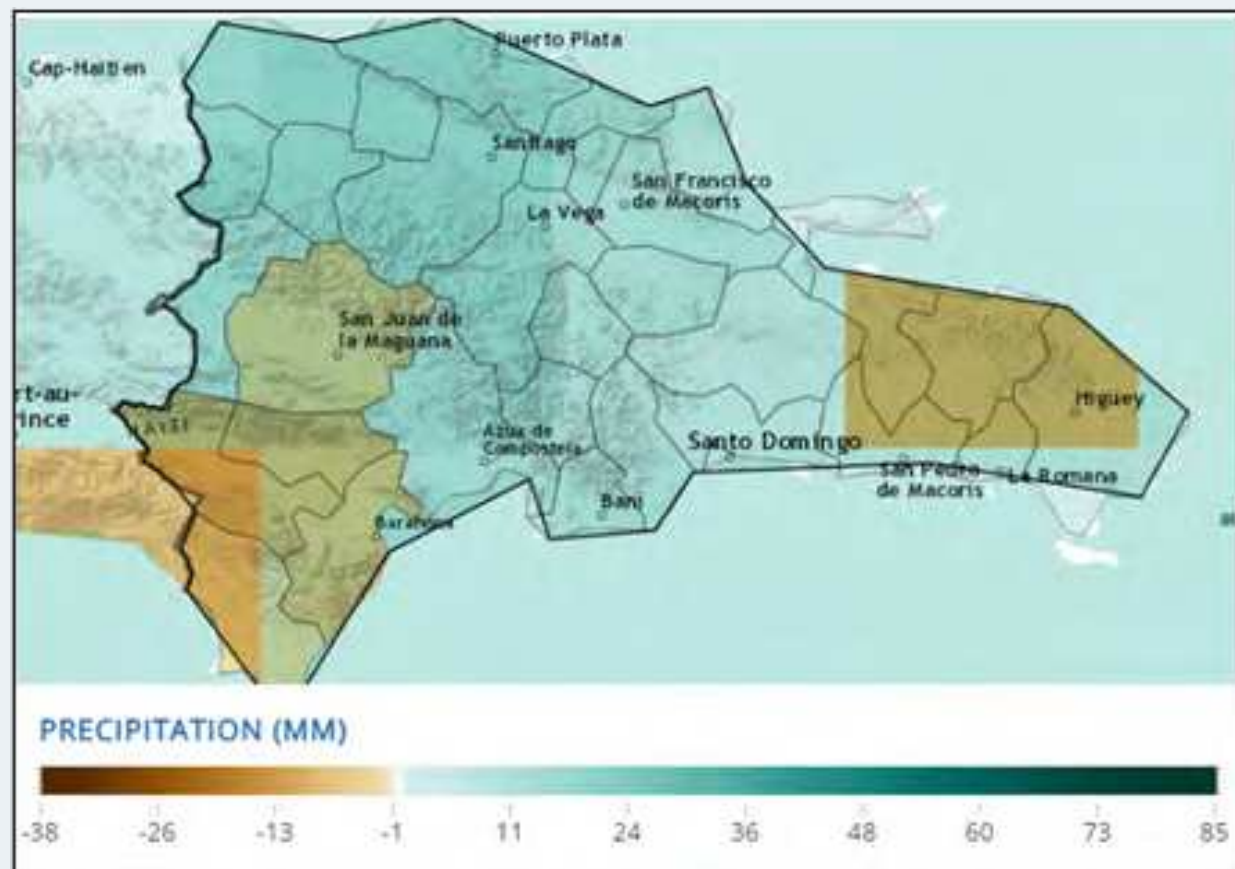
(anomalías) y se representan espacialmente a través de gráficos de ciclos estacionales, series temporales y mapas de calor, lo que permite observar cambios estacionales a largo plazo. Estos datos se pueden analizar anual o estacionalmente, y también se proporcionan datos mensuales para su descarga. Además, es posible personalizar el análisis seleccionando diferentes escenarios climáticos, escenarios de emisiones y Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSPs), que ofrecen una visión de los climas futuros basados en diferentes condiciones de emisiones y desarrollo. Los

datos de proyección climática se derivan de compilaciones de modelos climáticos globales de los Proyectos de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIPs), supervisados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático

(IPCC). Los datos presentados corresponden al CMIP6, la sexta fase de estos proyectos, y respaldan el Sexto Informe de Evaluación del IPCC. La resolución de presentación de los datos es de 1.0° x 1.0° (100 km x 100 km) para el SSP 5.

Figura 12

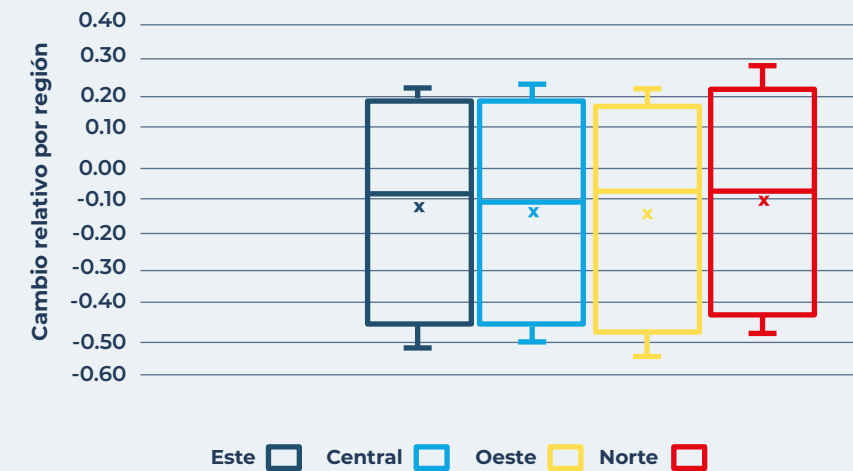
Promedio proyectado de la mayor anomalía de precipitación en 1 día para 2060-2079 (Anual) – República Dominicana; (Período de referencia: 1995-2014), SSP2-4.5, Ensamble multi-modelos



Fuente: (World Bank Group, 2021)

Figura 13

Cambio relativo estimado de magnitud de precipitaciones extremas en regiones de República Dominicana en escenario de cambio climático



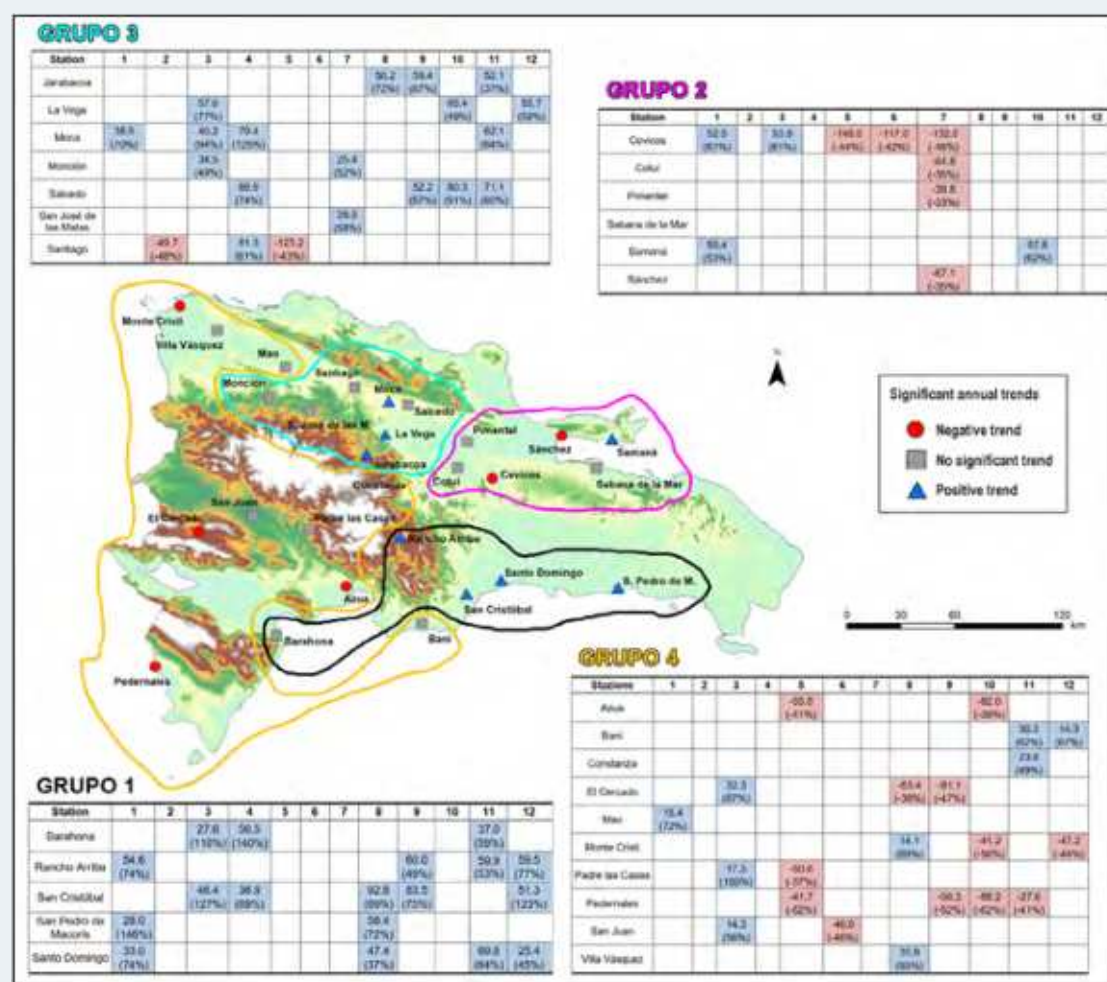
Fuente: (Banco Interamericano de Desarrollo, Deltares & CSI Ingenieros, 2020)

Por último, un estudio muy relevante tenido en cuenta en el Plan de Adaptación, es el titulado “Tendencias históricas de lluvia y temperatura en la República Dominicana” (Izzo, Aucelli, & Maratea, 2021), en el cual se realizó un análisis de los datos históricos de lluvia y temperatura entre 1930s y 2007 (Ver Figura 14). Allí, se confirman cambios de tendencia en las dos variables climáticas y su variación espacial en función de factores orográficos, meteorológicos, entre otros. De dicho estudio, es posible concluir que

en el área del Distrito Nacional incluso para datos históricos de series pluviométricas ya se encuentran tendencias positivas (incremento de magnitudes de precipitación) a finales del siglo XX en comparación con datos históricos de precipitación para la condición de normal climática establecida entre los años 1939-1968. Esto refuerza mucho más la necesidad de considerar condiciones de cambio climático en instrumentos de planificación territorial.

Figura 14

Distribución de las tendencias positivas (azul) y negativas (rojo) en las series pluviométricas y porcentaje de variación con respecto al período de normal climática entre 1939-1968



Fuente: (Izzo et al., 2021)

La segunda referencia considerada corresponde a uno de los resultados del proyecto conjunto entre el BID y el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), en el cual se estableció qué modelos climáticos se ajustan mejor a los patrones espaciales y temporales de precipitación mensual en las 5 diferentes regiones climáticas de la República Dominicana. A partir de este análisis, estimaron

cuál puede llegar a ser el cambio relativo de precipitaciones en cada región con cambio climático (ver Figura 13). Respecto a esto, un resumen de los hallazgos se puede encontrar en el documento "Transporte Resiliente al Cambio Climático: ¿Cómo priorizar la inversión? – Caso de República Dominicana" (Olaya, Suardi, Lefevre, & Rodriguez-Portel, 2022).

Caja 14

De esta sección de screening por inundación pluvial en la CCSD, los mensajes más importantes para el lector son:

- 1 En la actualidad, no es suficiente realizar análisis hidrológicos únicamente empleando de información histórica registrada en campo. Para garantizar que a futuro se puede contar con un cierto grado de resiliencia a los efectos del cambio climático, es imprescindible realizar análisis considerando los posibles cambios de magnitudes de precipitación y/o temperaturas a futuro.
- 2 Dado que es posible esperar que en ciertas zonas de la República Dominicana y en Santo Domingo, puntualmente, se incrementen las intensidades de eventos extremos de precipitación, es razonable pensar que los eventos de inundación pluvial también pueden volverse más críticos.
- 3 El resultado de esta fase es positivo. Es decir, sí es necesario avanzar a la siguiente fase de análisis por este tipo de forzamiento.

4.2 PASO 2 CRITICIDAD Y VULNERABILIDAD

Dado que la CCSD está efectivamente expuesta a amenazas de inundación fluvial, costera y pluvial, el segundo paso de la fase de screening tiene como objetivo determinar la criticidad y vulnerabilidad del proyecto de renovación urbana de la Calle El Conde y el Parque Colón. Este paso pretende proporcionar una guía para evaluar aspectos como la población beneficiada por el proyecto, su valor, la ubicación geográfica, la naturaleza y cantidad de edificios e infraestructura involucrada, así como el entorno humano y natural en la zona de influencia del proyecto.



A continuación, se presenta un análisis breve de la evaluación de criticidad y vulnerabilidad del proyecto de renovación urbana en la CCSD, a partir de tres dimensiones: pérdida de servicios esenciales, interacción con el entorno natural y antrópico, y características físicas.

4.2.1 Pérdida de servicios esenciales

En la Tabla 1 se presenta una guía del nivel de criticidad por pérdida de servicios esenciales de una vía, que en este caso se refiere a la Calle El Conde. En proyectos de infraestructura vial, se evalúa la pérdida de servicios esenciales a través de la conectividad y la capacidad de tránsito afectadas por una posible falla del sistema.

Se utilizan dos indicadores, accesibilidad y tráfico horario. Se asignan rangos cualitativos y cuantitativos a cada indicador, y se considera la categorización más desfavorable obtenida entre los dos criterios para determinar la criticidad/vulnerabilidad en esta dimensión.

Tabla 1

Dimensión 1 – Pérdida de servicios esenciales

Componente	Baja	Moderada	Alta
Nivel de accesibilidad posterior a la falla	Tras fallo, se mantiene una accesibilidad (Muy accesible o Accesible) a los servicios esenciales	Tras fallo, se mantiene una accesibilidad (Moderadamente Accesible) a los servicios esenciales	Tras fallo, se mantiene una accesibilidad (Remota) a los servicios esenciales
Tráfico horario	0- 600 vehículos por hora	600 - 1200 vehículos por hora	Más de 1200 vehículos por hora

4.2.2 Interacción con el entorno natural y antrópico

Los proyectos de infraestructura vial son estructuras lineales que cubren largas distancias, lo que los hace más susceptibles a diversas amenazas y aumenta el riesgo en caso de fallo. Para evaluar esta exposición, se utilizan dos indicadores: la presencia de taludes y la

cercanía a centros urbanos. La tabla muestra los rangos cualitativos para cada indicador, y se utiliza la clasificación más desfavorable para determinar la criticidad/vulnerabilidad en esta dimensión.

Tabla 2

Dimensión 2 – Interacción con el entorno natural y antrópico

Componente	Baja	Moderada	Alta
Taludes	El trazado discurre en pocas o en ninguna parte por taludes de elevadas pendientes y el deslizamiento no provocaría afecciones a la carretera o lo haría de forma poco significativa	El trazado discurre en algunas partes por taludes de elevadas pendientes y el deslizamiento puede provocar la ruina parcial de la carretera	El trazado discurre en su mayoría por taludes de elevadas pendientes y el deslizamiento puede provocar la ruina de una gran parte de la carretera
Centros urbanos	La vía incide sobre un núcleo poco importante para la actividad económica de la zona, generando a su alrededor pocos o inexistentes asentamientos y conectando núcleos poblacionales de poca relevancia	La vía incide sobre un núcleo moderadamente importante para la actividad económica de la zona, generando a su alrededor asentamientos de cierto tamaño y conectando núcleos poblacionales de moderada relevancia.	La vía incide sobre un importante núcleo para la actividad económica de la zona, generando a su alrededor múltiples asentamientos y conectando grandes núcleos poblacionales.

4.2.3 Características físicas

En proyectos de infraestructura vial, las características físicas y estructurales se refieren a obras singulares a lo largo de la vía, como puentes, túneles y obras de drenaje. Estas últimas pueden actuar como barreras e inundar áreas extensas. Se utilizan tres

indicadores (presencia de puentes, túneles y obras de drenaje) para evaluar esta dimensión, y se toma la clasificación más desfavorable para determinar la criticidad/vulnerabilidad en esta área.

Tabla 3

Dimensión 3 – Características físicas

Componente	Baja	Moderada	Alta
Presencia de puentes	La traza de la vía no contiene puentes o si los contiene, son poco relevantes (longitud < 20 m)	La traza de la vía contiene puentes moderadamente relevantes (20 cm < longitud < 100 m)	La traza de la vía contiene puentes relevantes (longitud > 100 m)
Presencia de túneles	La traza de la vía no contiene puentes o si los contiene, son poco relevantes (longitud < 100 m)	La traza de la vía contiene túneles moderadamente relevantes (100 m < longitud < 400 m)	La traza de la vía contiene túneles de gran relevancia (longitud < 400 m)
Presencia de obras de drenaje transversales	La traza de la vía contiene pocas estructuras de drenaje transversales de poca capacidad (luces < 1.2 m)	La traza de la vía contiene un número moderado de estructuras de drenaje transversales y/o de capacidad media (1.2 < Luces < 10 m).	La traza de la vía contiene numerosas estructuras de drenaje transversales y/o de gran capacidad (luces > 10 m).

En el contexto del Plan de Adaptación, tomamos como ejemplo las dimensiones que influyen en un proyecto de infraestructura vial. Esto se debe a que una parte integral del proyecto de revitalización urbana de la Ciudad Colonial de Santo Domingo (CCSD) incluye la rehabilitación de la Calle El Conde. Pero también se debe tener en cuenta que el PIDTUCCSD contempla la renovación del Parque Colón y la mejora de las fachadas de viviendas vulnerables, especialmente en las áreas de las juntas de

vecinos al norte de la CCSD. En tercer lugar, otro aspecto crucial para tener en cuenta es el estatus de Patrimonio Cultural y Arquitectónico de la Humanidad otorgado por la UNESCO en 1990 a la CCSD. Este reconocimiento implica que, al evaluar cualquier impacto en la ciudad en términos de criticidad y vulnerabilidad, es necesario considerar los posibles impactos, por pequeños que sean, a las calles, espacios públicos y edificaciones expuestas.

Caja 15

De esta sección de screening en la CCSD, los mensajes más importantes para el lector son:

- 1 La CCSD, al tener el estatus de Patrimonio Cultural y Arquitectónico de la Humanidad (UNESCO, 1990), es un proyecto no convencional, el cual obliga al mayor rigor y exhaustividad en los análisis técnicos de base para el PRAIICC-CCSD.
- 2 Por pérdida de servicios esenciales, el nivel de accesibilidad peatonal tanto a la CCSD, como a los comercios y viviendas en cercanías de la Calle El Conde se ve afectada. Dada la condición de patrimonio de la CCSD, la criticidad por este aspecto es calificada como alta. En segundo lugar, si bien el tráfico horario de la Calle El Conde no es en términos de vehículos, sino de flujo peatonal, la calificación de criticidad en este aspecto también se califica como alta.
- 3 En términos de Interacción con el entorno natural y antrópico, la criticidad de la CCSD por taludes es calificada como baja. Mientras que, en términos de la criticidad por centros urbanos, la criticidad de la calle El Conde es calificada como alta.
- 4 Por Características físicas, no hay presencia de puentes ni túneles, por tanto, la calificación es baja. Pero existe presencia de obras de drenaje transversales menores. Al ser la Calle El Conde la vía más importante de la CCSD, la calificación de criticidad este aspecto es alta.
- 5 **Teniendo en cuenta las 3 dimensiones de criticidad y vulnerabilidad de la Calle El Conde y la condición de Patrimonio de la Humanidad de la CCSD, esta fase del análisis de screening es positiva. Es decir, se debe avanzar a un análisis cualitativo del riesgo por inundación con influencia de cambio climático.**

5



EVALUACIÓN CUALITATIVA

4.2 PASO 3 NARRATIVA

La narrativa del riesgo tiene como objetivo principal resumir y documentar cómo se ha gestionado hasta el momento el riesgo de desastres y cambio climático en proyectos clasificados con riesgo moderado y alto, teniendo en cuenta los resultados de los pasos previos de la metodología. Cuando no se dispone de información detallada sobre el diseño del proyecto, la narrativa debe identificar limitaciones y áreas que requieren un análisis más profundo en los siguientes pasos. El propósito es evaluar si el proyecto ha recopilado

suficiente información sobre los riesgos identificados y cómo se han abordado en el diseño y las medidas adicionales. En proyectos de riesgo Moderado, si se considera que las medidas existentes son adecuadas, la narrativa puede servir como Evaluación Preliminar de Riesgos y Desastres (ERD) del proyecto. Sin embargo, si persisten riesgos significativos sin tratar, se debe avanzar al siguiente paso. En proyectos de riesgo Alto, el siguiente paso es obligatorio.

5.1.1 Narrativa de riesgo de desastres para Plan de Adaptación

El país se encuentra en la región conocida como el “Corredor de los Huracanes”, una zona propensa a la llegada de tormentas tropicales. Entre los años 1871 y 2018, más de 100 ciclones tropicales impactaron directamente en República Dominicana y Haití. Su condición de país insular lo posiciona entre los más vulnerables a los efectos del cambio climático. Según el Índice de Riesgo Climático Global de 2020, que mide la exposición y vulnerabilidad a fenómenos climáticos extremos, República Dominicana ocupa el puesto 99 si se considera el año base 2018 y el puesto 50 para el período histórico de 1999-2018. Este indicador puede variar significativamente de un año a otro, como se evidencia en 2016 cuando ocupaba el undécimo lugar. El país enfrenta eventos recurrentes como inundaciones por lluvias extremas, ciclones tropicales y sequías, que impactan negativamente en el medio ambiente, las personas, la economía, los medios de vida y el desarrollo sostenible. En los años 2014 y 2015, el país experimentó una de las peores sequías en dos décadas que, junto con inundaciones,

afectaron a miles de personas y causaron daños significativos en la infraestructura vial. Entre 2016 y 2017, 15 provincias y 644 obras de conectividad de transporte resultaron afectadas, con daños que superaron los US\$394 millones según el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC).

Esta alta vulnerabilidad se ha manifestado en años recientes con el impacto de fenómenos como El Niño, La Niña y los huracanes Matthew, Irma y María, así como la tormenta Beryl. El Banco Mundial estimó en 2015 que las pérdidas económicas anuales promedio debido a desastres en República Dominicana rondan los US\$420 millones (el 0.69% del PIB).

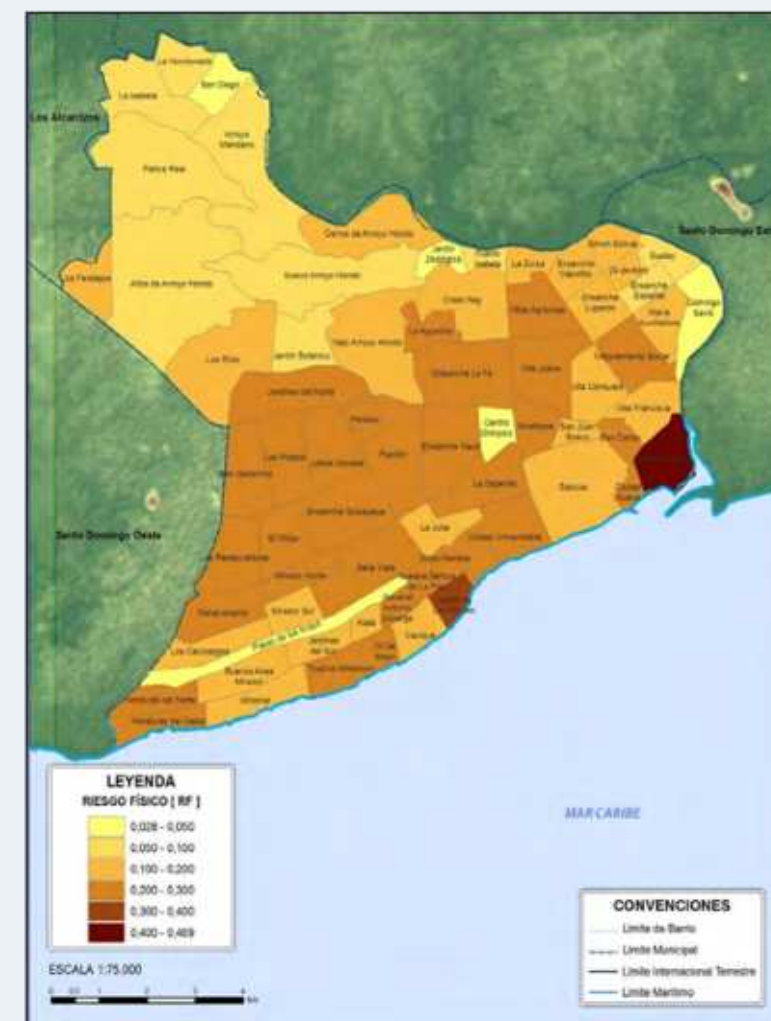
Para la región de Centroamérica y el Caribe, el IPCC proyecta un aumento en la evapotranspiración, una disminución en la humedad del suelo y anomalías de más del 10% en la precipitación, junto con incrementos significativos en precipitación severa. Se anticipa un aumento en la temperatura de más de 1°C

para el año 2100 y un incremento en el nivel del mar. En el caso de República Dominicana, se espera un aumento en la temperatura media, particularmente en los valores anuales de temperatura máxima (entre 2°C y 3°C), mientras que las precipitaciones podrían disminuir sustancialmente, especialmente en las provincias del sur y oeste del país. Además, se prevé un aumento en los eventos climáticos extremos, tanto inundaciones como sequías.

A nivel local, el documento de Amenazas y Riesgos Naturales (DGODT, 2012) señala que el Distrito Nacional enfrenta una amenaza significativa relacionada con huracanes (por viento) debido a su ubicación costera en una de las zonas más activas de la cuenca del Atlántico Norte. Esto se refleja en un alto índice de Riesgo Físico, especialmente en la CCSD, como se puede observar en la Figura 15.

Figura 15

Riesgo Físico total para los barrios del Distrito Nacional



Fuente: (DGODT, 2012)

Considerando los resultados del análisis de riesgo efectuado en 2012, que abarcó la evaluación de la exposición y vulnerabilidad de estructuras ante múltiples amenazas, como inundaciones pluviales y sísmicas, junto con la consideración de la fragilidad socioecológica y la falta de resiliencia de la población en los diferentes barrios del Distrito Nacional; y tomando en cuenta los hallazgos de los pasos 1 y 2 de esta metodología, que indican: i) la vulnerabilidad de la CCSD a inundaciones provocadas por el desbordamiento del río Ozama, exacerbada por mareas de tormenta; ii) la probabilidad de futuras inundaciones pluviales agravadas por el cambio climático y eventos de precipitación extrema; iii) la alta criticidad y vulnerabilidad de la CCSD frente a estas amenazas debido a su condición de Patrimonio de la Humanidad y su importancia económica, social, cultural y arquitectónica a nivel global; y iv) la ausencia de estudios detallados que proporcionen una comprensión precisa de la intensidad, frecuencia y extensión de estas amenazas, así

como de su agravamiento debido al cambio climático, junto con la falta de un análisis específico a escala de detalle (1:2000) en la CCSD en relación con las amenazas antes descritas, se concluye que existe una carencia crítica de información necesaria para tomar decisiones informadas sobre las alternativas de adaptación y el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático en el marco de las operaciones del PIDTUCCSD.

Dadas las características topográficas de la CCSD, la cual tiene una diferencia de altura promedio de 12m en las juntas de vecinos de zona sur, y de 26m en promedio en las juntas de vecinos de la zona norte. Por lo anterior, las inundaciones costeras por elevación del nivel del mar se descartan para el análisis de este Plan de Adaptación, pero se incluyen para la modelación de inundaciones fluviales por desbordamiento del río Ozama como condición de frontera del modelo hidrodinámico.



Imagen: Adobe Stock

Caja 16

De esta sección de evaluación cualitativa en la CCSD, los mensajes más importantes para el lector son:

- 1 La CCSD, al tener el estatus de Patrimonio Cultural y Arquitectónico de la Humanidad (UNESCO, 1990), es un proyecto no convencional, el cual obliga al mayor rigor y exhaustividad en los análisis técnicos de base para el PRAIICC-CCSD.
- 2 En los pasos 1 y 2 de la aplicación de la metodología para el componente de rehabilitación de Calle El Conde y Parque Colón de la CCSD, se ha hecho evidente la posibilidad de ocurrencia de eventos de inundación fluvial y pluvial, agravados por efectos de cambio climático que no se han cuantificado para la escala de detalle que exige la CCSD.
- 3 También hay una alta criticidad y vulnerabilidad de la CCSD en cuanto a pérdida de servicios esenciales, características físicas e interacción con el medio antrópico y sus dinámicas socioeconómicas.
- 4 Hay un déficit crítico de información a escalas de detalle (1:2000 o menores) para la toma de decisiones en la CCSD. La información existente y recopilada se encuentra a escalas nacionales, regionales y locales a nivel del Distrito Nacional, pero no específicamente de la CCSD. Por tanto, no se cuenta con datos e información apta para la toma de decisiones de Gestión del Riesgo de Desastres para la adaptación y el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático en la CCSD.
- 5 Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda pasar al paso 4 de la metodología, involucrando análisis detallados de tipo cualitativo, con el objetivo de subsanar la deficiencia de información de los componentes de amenaza, exposición y vulnerabilidad en las escalas de detalle que requiere el proyecto.

4.2 PASO 4 ANÁLISIS CUALITATIVO

El cuarto paso implica una evaluación cualitativa exhaustiva de riesgos para proyectos considerados de alto riesgo y para proyectos de riesgo moderado que, según el paso previo, lo requieran debido a deficiencias críticas identificadas en la narrativa del riesgo. Esta evaluación cualitativa de todos los riesgos permite determinar la necesidad de llevar a cabo una evaluación cuantitativa detallada y enfocarla específicamente en partes clave de la operación y áreas que lo demanden. Este proceso incluye el desarrollo de un plan de gestión de riesgos de desastres y cambio climático para los riesgos y aspectos de la operación que puedan abordarse mediante análisis cualitativo.

Aquellas operaciones en las que el análisis cualitativo y su respectivo plan de gestión de riesgos no resuelvan incertidumbres significativas o no mitiguen adecuadamente

los riesgos (donde aún persisten riesgos que podrían afectar la viabilidad técnica, económica o representar un peligro para el proyecto y las comunidades circundantes) deben avanzar hacia la fase de cuantificación de esas incertidumbres o riesgos críticos.

El análisis cualitativo emplea herramientas que permiten: (i) categorizar los riesgos en general y por categorías específicas del proyecto (diferente al proceso de screening y clasificación de los Pasos 1 y 2), (ii) identificar las causas y consecuencias de dichos riesgos, (iii) señalar las acciones de reducción del riesgo a corto y largo plazo, y (iv) determinar si es necesario realizar un análisis de riesgo cuantitativo y cómo enfocarlo. El análisis cualitativo incluye la contribución de expertos, enfoques grupales sistemáticos y técnicas de razonamiento inductivo.

5.2.1 Método y resultados del análisis cualitativo de riesgo y cambio climático

Se pueden emplear varias técnicas para realizar un análisis cualitativo, entre las cuales se incluyen el análisis de modos de falla, consultas con un grupo selecto de expertos o la utilización de matrices de riesgo. Para más detalle sobre los métodos se recomienda al lector consultar la referencia: (Barandiarán et al., 2019). En el marco del Plan de Adaptación se empleó el método Delphi, creado por la Rand Corporation en la década de 1950, debido a que dentro de los actores que se encuentran involucrados en el PIDTUCCSD (Representantes de la comunidad de la CCSD, ADN, MITUR, CAASD, DNPM, Consultores externos, y BID) existe un conocimiento y experiencia en temas relacionados con: drenaje pluvial y alcantarillado, patrimonio cultural y arquitectónico, planificación territorial, desarrollo socioeconómico a través del turismo, infraestructura vial y de espacios

públicos, cambio climático, gestión del riesgo de desastres, entre otros, que son transversales al objetivo de adaptación y fortalecimiento de resiliencia al cambio climático en la CCSD, en el marco del PIDTUCCSD.

Con el objetivo de aprovechar este conocimiento y experiencia existentes en todos los actores del proyecto, el método Delphi surge como una de las herramientas más interesantes para el análisis cualitativo de riesgo por inundación en la CCSD.

En la siguiente figura se presentan los pasos y actividades principales que fueron desarrolladas entre abril de 2022 y enero de 2023, siguiendo el método Delphi, en el marco del proyecto de Evaluación de Riesgo por Inundación con influencia de Cambio Climático para la CCSD, como insumo para el Plan de Adaptación.

Caja 17

El método Delphi

El método Delphi es una técnica de investigación creada por la Rand Corporation, y que es empleada para obtener opiniones y consensos de un grupo de expertos en un tema específico. Su objetivo es predecir tendencias futuras, evaluar situaciones o resolver problemas complejos a través de la recopilación de información cualitativa y cuantitativa de manera sistemática (Garson, 2012).

Figura 16

Pasos del método Delphi seguidos en la definición del Plan de Adaptación



En esta sección se presenta un resumen de los resultados más relevantes de cada paso implementado para la fase de evaluación cualitativa del Plan de Adaptación. En primera instancia, desde el mes de abril de 2022 se inició un trabajo de identificación de los actores más relevantes dentro de los grupos del PIDTUCCSD que tuvieran relación con la temática de adaptación y resiliencia al cambio climático. En el ANEXO A se presentan los expertos que fueron seleccionados y tuvieron participación dentro del Plan de Adaptación, dentro de los que se encuentran representados: el Ayuntamiento

del Distrito Nacional, la Comunidad Civil, Consultores de espacios públicos y viviendas, la CAASD, el MITUR, y el BID. Se buscó contar con una diversidad de experiencia y áreas de especialización entre los expertos, que van desde especialistas en desarrollo urbano y cambio climático, hasta ingenieros civiles, arquitectos, Patrimonio Monumental, entre otros. Y la participación de actores locales con experiencia en bienes raíces en la CCSD, y presidentes de asociaciones de propietarios y residentes, lo cual busca mantener una conexión directa con la comunidad y sus intereses.

Posteriormente, se siguió un proceso sistemático de intercambio de datos, información y conocimiento relacionado con los temas transversales a la gestión del riesgo de desastres y a la resiliencia al cambio climático: amenazas por inundación, exposición, vulnerabilidad, riesgo, cambio climático, adaptación y resiliencia, entre otros. El intercambio de estas informaciones se dio en el marco de reuniones presenciales y virtuales entre abril y noviembre de 2022. Los contenidos y resumen principal del intercambio sistemático de datos en los temas antes mencionados, se presenta en el ANEXO A:

Memoria de taller de amenaza por inundación en la CCSD del Plan de Adaptación. En este anexo se resume el trabajo de los pasos 2, 3 y 4 de la fase 4 de esta metodología (ver Figura 6). A continuación, se presentan los resultados principales obtenidos mediante el método Delphi para el paso 4 de la metodología, obtenidos a partir de los hallazgos conjuntos entre expertos en el taller de amenaza por inundación para la CCSD, llevado a cabo el 28 de noviembre de 2022 en la ciudad de Santo Domingo.

5.2.1.1 Resultados y taller de amenaza por inundación

El taller tuvo tres objetivos principales: i) concientizar sobre la importancia de planificación con visión prospectiva en términos de posibles efectos de cambio climático en la CCSD, ii) presentar estudios previos de amenaza por inundación en la CCSD, y a partir

de dichos estudios, iii) llegar a consensos sobre alternativas de adaptación y fortalecimiento de resiliencia al cambio climático en el marco del PIDTUCCSD. Para lograr el primer objetivo, se presentó la narrativa de la problemática de inundación pluvial en la CCSD.

Figura 17

Cronología en la generación de eventos de inundación pluvial en la CCSD



Caja 17

Factores de agravamiento de los procesos de inundación bajo influencia de cambio climático en un entorno urbano

1

El primero tiene que ver con el fenómeno de generación de aguaceros extremos y corresponde a las condiciones de cambio climático que ya se están experimentando a nivel global, regional y local. Según los MCGs considerados en el PRAIICC-CCSD, es posible esperar escenarios críticos a futuro en los cuales los aguaceros extremos incrementen su intensidad en un 25% en comparación con eventos extremos históricos registrados en pluviómetros (Deltares & CSI Ingenieros, 2020). Ante esta situación es poco lo que se puede hacer a nivel local de CCSD, pero es un factor agravante del problema que se debe tener en cuenta en los diseños de obras de infraestructura resiliente.

2

El segundo es la excesiva impermeabilización del suelo en las ciudades a partir de la construcción de calles, andenes, edificios, plazas, etc. Esto implica una mayor demanda a los sistemas de alcantarillado urbano y, por tanto, el riesgo de inundación debido a taponamientos y/o malfuncionamiento de estos sistemas se incrementa.

3

El tercero la acumulación de residuos sólidos en las calles. Esto tiene dos causas principales, la primera es falta de educación cívica de los ciudadanos y/o de la población flotante, y la segunda es la deficiencia en la gestión de residuos sólidos de la ciudad en términos de falta de infraestructura de disposición temporal de residuos, falta de personal de recolección, error en las rutas y frecuencias de recolección, entre otros.



Presentación de resultados

La presentación de resultados corresponde a las medidas de intervención propuestas para la gestión de un evento extremo de inundación pluvial en CCSD, puntualmente en la Calle El Conde y en la Plaza Colón (Ver Fotografía 3). En el ANEXO A de este documento se presenta la totalidad de fotografías de la sesión.



Fotografía 3. Presentación sesión interactiva: Grupo 3



Principales hallazgos

En la sesión interactiva, cada grupo respondió una serie de preguntas orientadoras, y propuso un conjunto de medidas de intervención para la gestión del riesgo por inundación en la Calle El Conde y en la Plaza Colón.

Los tipos de soluciones principales se debían agrupar en: Estructurales (E), No Estructurales (NE), Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). A continuación, se presenta un resumen de cada posible solución establecida por los cuatro grupos para cada problema planteado.



Imagen: Adobe Stock

Tabla 4

Resumen de soluciones planteadas para inundación en la Calle El Conde

Tipo de solución	Solución
E	Adicionar más bocas en calle Santomé y calles perpendiculares (Av. Mella y Las Mercedes)
NE	Limpieza de bocas / mantenimiento
E	Construcción de elementos en Av. Mella que sirvan de barrera de drenaje y direccionamiento.
E	Colocar pavimento permeable en intersecciones de Calle El Conde.
NE	Concientización de la población
E	Creación de tanques o sistemas de recolección de agua lluvia en patios internos
E	Creación de nuevas infraestructuras
E	Revisión de sistemas existentes para planes futuros de mejoramiento de alcantarillado
E	Añadir alcantarillas transversales para costar flujos
NE	Creación de normativas para manejo de desechos sólidos
SUDS	Superficies permeables
SUDS	Franjas permeables en Calle El Conde
SUDS	Creación del sistema de alcorques conectados en Calle El Conde
SUDS	Creación de puntos recolectores de residuos sólidos



Imagen: Adobe Stock

La segunda etapa de las preguntas orientadoras consistió en priorizar las medidas de intervención más apropiadas en términos de:

- ➔ Urgencia de implementación
- ➔ Disponibilidad de recursos financieros
- ➔ Factibilidad
- ➔ Percepción de la comunidad en función del paisajismo de CCSD
- ➔ Potencial eficiencia frente a la reducción de inundación

A continuación, se presentan los resultados de las medidas priorizadas a nivel general.

Tabla 5

Resumen de medidas de intervención priorizadas

Orden	Medida priorizada
1	Nuevas infraestructuras de alcantarillado urbano sostenible
2	Superficies permeables
3	Revisión periódica y mantenimiento de sistemas de alcantarillado existentes
4	Concientización a la población – Educación con respecto a la gestión de residuos sólidos
5	Creación de tanques de recolección de agua lluvia en patios interiores

En la penúltima fase de la sesión de preguntas orientadoras, se solicitó a los participantes que indicaran en la tabla cuáles sectores se

beneficiarían de los tipos de soluciones de adaptación priorizadas y por qué.

Tabla 6

Sectores socioeconómicos y tipos de soluciones priorizadas

Industria o sector	Tipo de solución (1 a 5 priorizadas en el grupo)	Nota/explicación
Turismo	1 a 5	El sector del turismo se beneficia tanto de espacios públicos (calles, andenes, plazas, parques, etc.), como de espacios privados (restaurantes, cines, museos, catedrales, comercio, etc.). Por lo tanto, se beneficia de todas las soluciones priorizadas.
Hospitales	1 a 5	Los hospitales, contrario al caso del sector turismo, priorizan en mayor medida las condiciones físicas de sus instalaciones. Por lo tanto, el hecho de poder recolectar el exceso de lluvia para uso posterior, así como infraestructuras de drenaje urbano sostenible que permitan gestionar el agua de escorrentía de forma adecuada en los alrededores, son soluciones prioritarias.
Hogares	1 a 5	Para el caso de hogares se presenta la misma situación que con hospitales
Comercio	1, 4 y 5	En el caso del comercio, es justificable priorizar también la concientización y educación a la población en términos de la gestión integral de residuos sólidos. Lo anterior porque el estado de los espacios públicos aledaños impacta directamente en la actividad económica que desarrollan.
Industria	No aplica	No aplica

Caja 19

De esta sección de evaluación cualitativa en la CCSD, los mensajes más importantes para el lector son:

- 1 La evaluación cualitativa en el marco del PRAICC-CCSD se realizó teniendo en cuenta los pasos procedimentales del método Delphi (Rand Corporation) para concientizar sobre los potenciales efectos del cambio climático y la importancia de visión prospectiva en instrumentos de planificación territorial.
- 2 En términos cualitativos, como resultado de la consulta en el grupo de expertos, existe un riesgo bajo por inundación fluvial y costera en la CCSD. Pero vale la pena tener en cuenta las condiciones de cambio climático para verificar cuantitativamente lo que puede ocurrir bajo escenarios extremos.
- 3 En términos cualitativos, como resultado de la consulta en el grupo de expertos, existe un riesgo moderado por inundación pluvial en la CCSD. Puntualmente, hay juntas de vecinos en el norte de la CCSD en las que hay problemas de inundación por las condiciones topográficas, la deficiencia en la red de drenaje, y la acumulación de residuos. En un escenario de cambio climático, donde los eventos extremos de precipitación se pueden exacerbar, es importante cuantificar los impactos de la inundación pluvial en la CCSD.
- 4 **La conclusión principal de esta fase, a partir del método Delphi y los talleres y reuniones con expertos en la CCSD, es que es importante cuantificar los posibles impactos de la inundación pluvial en general para toda la ciudad, pero puntualmente para la Calle El Conde y el Parque Colón, para así poder diseñar alternativas de adaptación y fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático en el marco del PIDTUCCSD. Asimismo, es importante cuantificar los posibles efectos del cambio climático en la inundación fluvial por desbordamiento del río Ozama, sobre todo en las juntas de vecinos del norte.**

6

EVALUACIÓN CUANTITATIVA

En la tercera fase, se llega a la estimación cuantitativa de los componentes del riesgo. La estimación cuantitativa se puede realizar a partir de una variedad de metodologías, y para consultar su detalle se recomienda al lector consultar el documento de “Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático en operaciones BID” (Barandiarán et al., 2019), en donde se plantean métodos simples de análisis por evento y de forma determinista, hasta métodos completamente probabilistas que involucran estudiar diferentes escenarios y eventos, como el que se presenta en (Olaya et al., 2020) y que fue aplicado en la generación del Plan Estratégico de Acción de Carmelo Peralta (Paraguay) (BID, 2022).

Más allá del método seleccionado para la evaluación cuantitativa del riesgo, lo que busca esta fase es determinar la extensión, frecuencia y magnitud con que se pueden igualar o exceder unos efectos indeseados sobre la población, las edificaciones, la infraestructura, etc. Estos efectos indeseados pueden ser, entre otros: pérdida de vidas, daños materiales

directos en edificaciones e infraestructura, pérdidas monetarias indirectas por la salida de servicio de determinadas infraestructuras, etc. En esta sección, se presenta el proceso de análisis de la evaluación cuantitativa del riesgo por inundación en la CCSD, incluyendo los potenciales efectos del cambio climático.

6.1 MODELO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

La modelación de amenaza por inundación incluye dos componentes principales: modelo hidrológico, y modelo hidrodinámico (Ver Caja 17). El modelo hidrológico permite cuantificar los volúmenes de agua excedentes que pueden generar una creciente para el río Ozama, y también los volúmenes de agua de precipitación extrema sobre la CCSD, con influencia del cambio climático. Por otro lado, el modelo hidrodinámico se encarga de transitar dichos volúmenes sobre una superficie digital que

modela las condiciones topográficas del terreno. Finalmente, se reportan unas intensidades de inundación (profundidad y velocidad de flujo) en mapas de amenaza por inundación. Cada uno de dichos mapas se encuentran asociados a períodos de retorno (recurrencia). En el ANEXO B: Documento de resultados de amenaza por inundación para la Ciudad Colonial de Santo Domingo – República Dominicana, se presenta el detalle de la metodología y resultados del modelo de amenaza por inundación en la CCSD.

Caja 12

Componentes de modelo de amenaza por inundación:

1

Para elaborar un modelo de amenaza por inundación es necesario contar con tres pasos principales: modelación hidrológica, modelación hidrodinámica, y representación de la amenaza por inundación.

Una forma sencilla de representar los resultados de un modelo de amenaza por inundación corresponde a los mapas de inundación. Estos contienen información de: extensión/localización geográfica de zonas inundables, magnitud/intensidad de los eventos de inundación, el período de retorno del evento analizado.

Para el caso de CCSD, se analizan los eventos de inundación a partir de dos casos principales: inundación pluvial e inundación fluvial.

Los mapas de amenaza de inundación hacen parte de las medidas preventivas de tipo no estructural para la gestión integral del riesgo de inundaciones, ya que son una valiosa herramienta para principalmente ser usada en la ordenación del territorio.

6.1.1

Datos de entrada y productos generados en el marco del Plan de Adaptación

Para la modelación de amenaza por inundación en el Plan de Adaptación era imprescindible contar con información detallada de terreno y la localización de las bocas de visita y alcantarillas del sistema de alcantarillado de la CCSD. A

continuación, se presentan los resultados principales de estos datos. En el ANEXO C, se presenta el documento técnico que detalla los productos de los que ahora dispone la CCSD en este sentido.

6.1.1.1

Modelo Digital de Terreno (MDT)

El MDT es un producto que se centra en la representación topográfica del terreno natural, excluyendo elementos como edificios, vegetación y otras estructuras artificiales. Contiene información sobre la elevación del suelo en puntos discretos y en forma de malla regular, lo que permite representar la variación del terreno de manera precisa.

La generación de un Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de datos recopilados por drones implica varios pasos y procesos. Aquí tienes una descripción general del proceso: Planificación del vuelo, Adquisición de datos (ver Fotografía

4), Procesamiento de imágenes, Generación de nubes de puntos, Creación del MDT, Exportación y almacenamiento.

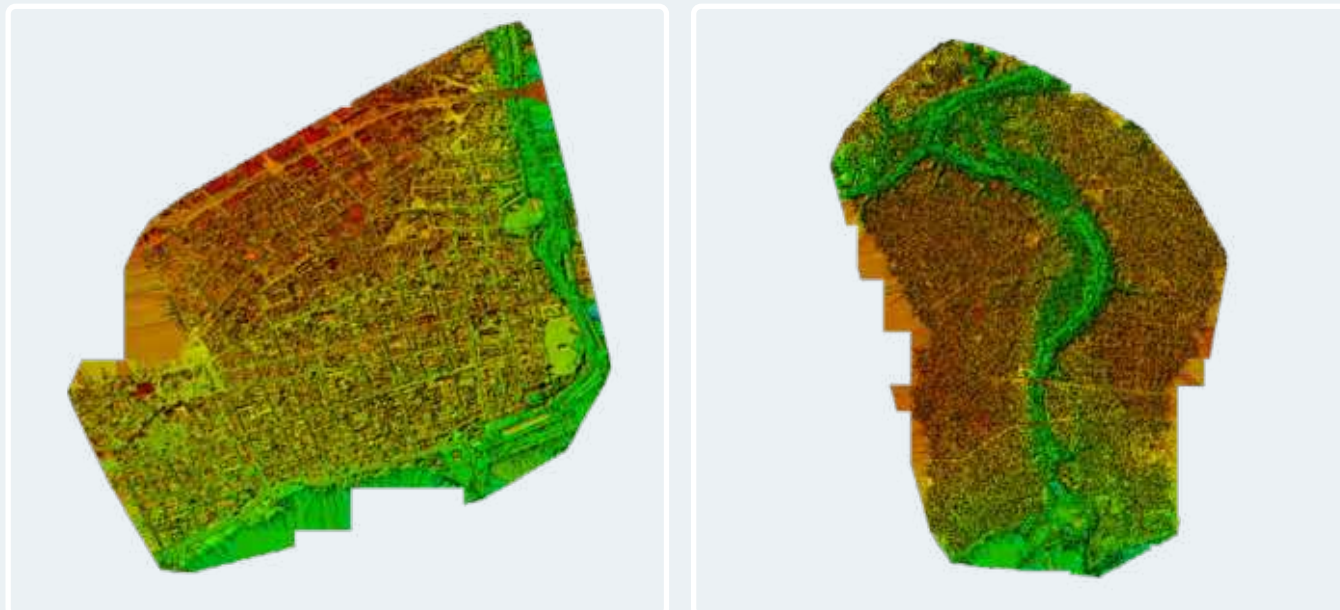
Para el Plan de Adaptación, se realizaron 2 MDT. El primero, con una resolución espacial de 3.23 cm (tamaño de píxel), para las 13 juntas de vecinos de la CCSD. Y el segundo, con una resolución espacial de 7.18 cm para la ribera del río Ozama desde la unión con el río Isabela hasta la desembocadura en el mar Caribe. El resultado del MDT para cada uno de los dos casos, se presenta en la Figura 18.



Fotografía. Proceso de levantamiento de información a partir de drones (izq.) y de comprobación de cotas (der.)

Figura 18

Izq.: Resultado de MDT para la CCSD. Der.: Resultado de MDT para el río Ozama



6.1.1.2

Drenaje CCSD

Uno de los elementos principales considerados en la modelación de inundación pluvial es la red de drenaje y alcantarillado. Para considerar este elemento, en el Plan de Adaptación se llevó a cabo trabajo de campo para la localización de

bocas de visita y alcantarillas de drenaje pluvial en la CCSD. En la Figura 19 se presenta el mapa resultante, en donde se combina el MDT filtrado y la localización de los puntos de drenaje de la CCSD.

Figura 19

Puntos de localización geográfica de bocas de visita del sistema de drenaje de la CCSD



6.1.2 Modelo hidrológico

La metodología empleada en el modelo hidrológico se divide en tres análisis de acuerdo con el número de forzamientos de inundación a modelar: i) desbordamiento del río Ozama, ii) precipitación extrema sobre la CCSD, iii) marea de tormenta como condición de frontera para la desembocadura del río Ozama. Para el primer y segundo análisis, se planteó un modelo hidrológico semi-distribuido de precipitación-escorrentía en la cuenca del río Ozama¹¹, empleando datos de precipitación histórica y los factores de cambio en la tendencia de magnitud de eventos extremos de precipitación con cambio climático (ver Figura 20). Estos factores de cambio se estiman a partir de la comparación de patrones de precipitación histórica en la República Dominicana (teniendo en cuenta datos pluviométricos de instituciones oficiales – ONAMET e INDRHI), y datos de precipitación con influencia de cambio climático a futuro para diferentes Modelos de Circulación General¹², pertenecientes al CMIP5 para los RCP4.5 y RCP8.5. Para este estudio, se emplearon los factores de cambio estimados en el Blue Spot Analysis – “Infraestructura de transporte resiliente” (Deltares & CSI Ingenieros, 2020)¹³. Para el tercer análisis se evaluó la tasa de crecimiento del nivel del mar por cambio climático a futuro y por eventos extremos de marea de tormenta. Mayor detalle de la metodología se puede encontrar en (Olaya et al., 2020), y en el ANEXO B.

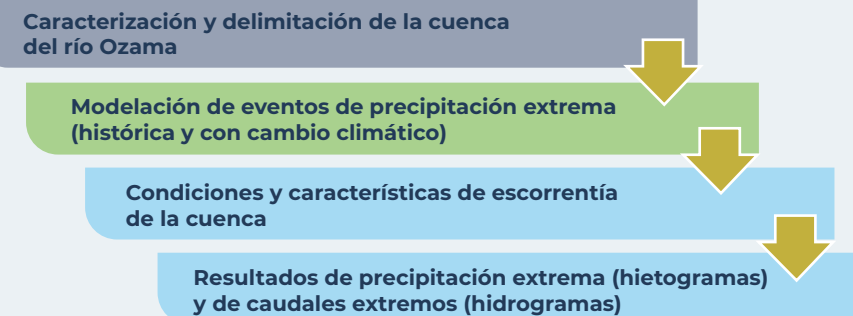
¹¹ Un modelo hidrológico de precipitación-escorrentía es una herramienta matemática utilizada para simular el comportamiento de un sistema hidrológico, específicamente la relación entre la precipitación y la escorrentía en una cuenca hidrográfica. Este tipo de modelo se utiliza para entender cómo las precipitaciones se convierten en escorrentía superficial o subterránea a través de procesos como la infiltración, la escorrentía superficial, la evaporación y el almacenamiento en el suelo. Estos modelos pueden variar en complejidad y enfoque, desde modelos simples que consideran solo la relación entre la precipitación y la escorrentía, hasta modelos más complejos que tienen en cuenta una variedad de factores como la topografía, la vegetación, el uso del suelo, la capacidad de retención del suelo, entre otros.

¹² Un Modelo de Circulación General (MCG), es un tipo de modelo numérico utilizado en la ciencia del clima para simular y predecir el comportamiento del sistema climático de la Tierra. Son herramientas computacionales complejas que integran principios físicos, como las leyes de conservación de la masa, la energía y el momentum, para representar procesos atmosféricos, oceánicos, terrestres y criosféricos a una escala global. Los MCG dividen la atmósfera y los océanos en una cuadrícula tridimensional y resuelven las ecuaciones fundamentales que gobiernan el movimiento y las interacciones entre estos componentes. Utilizan datos observacionales para inicializar y validar sus simulaciones, y pueden proporcionar proyecciones climáticas a diferentes escalas de tiempo, desde días hasta décadas o incluso siglos. Estos modelos son fundamentales para comprender el clima pasado, presente y futuro, así como para evaluar el impacto de diferentes forzamientos radiativos en el sistema climático global. Aunque tienen limitaciones y incertidumbres, los MCG son una herramienta invaluable para la investigación climática y la formulación de políticas relacionadas con el cambio climático.

¹³ Mayores detalles se pueden encontrar en “Transporte Resiliente al Cambio Climático, ¿Cómo priorizar la inversión?” - <https://doi.org/https://publications.iadb.org/es/transporte-resiliente-al-cambio-climatico-como-priorizar-la-inversion-caso-de-republica-dominicana>

Figura 20

Metodología de modelo hidrológico Plan de Adaptación



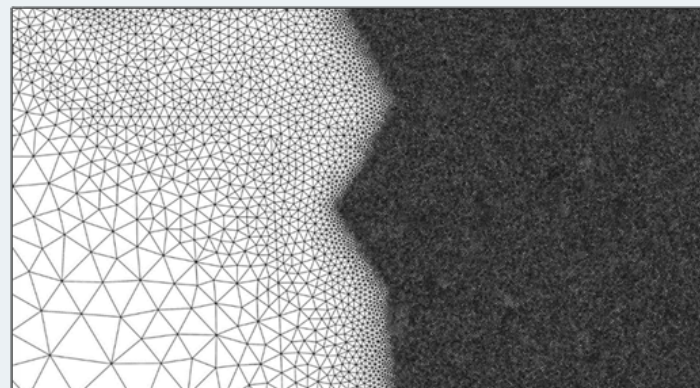
6.1.3 Modelo hidrodinámico

La modelación hidrodinámica de los forzamientos de inundación en la CCSD se realiza a partir del software HydroBID Flood. HydroBID Flood, una avanzada herramienta de modelación se basa en el motor de cálculo del modelo RiverFlow2D y se destaca como un sistema integral de simulación hidráulica e hidrológica. Este modelo abarca la evolución del lecho del río y el transporte de contaminantes en ríos, estuarios y áreas de inundación, empleando el método de volúmenes finitos. Su

capacidad se extiende a la gestión de caudales en cursos de agua y la representación detallada de inundaciones en terrenos complejos, destacando por su alta resolución, velocidad impresionante, estabilidad y precisión sobresaliente. Un aspecto destacado de HydroBID Flood es su habilidad para adaptar mallas de celdas triangulares al terreno, lo que le permite modelar con precisión el flujo en cualquier entorno fluvial, incluso alrededor de puntos críticos, como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Mallas triangulares flexibles

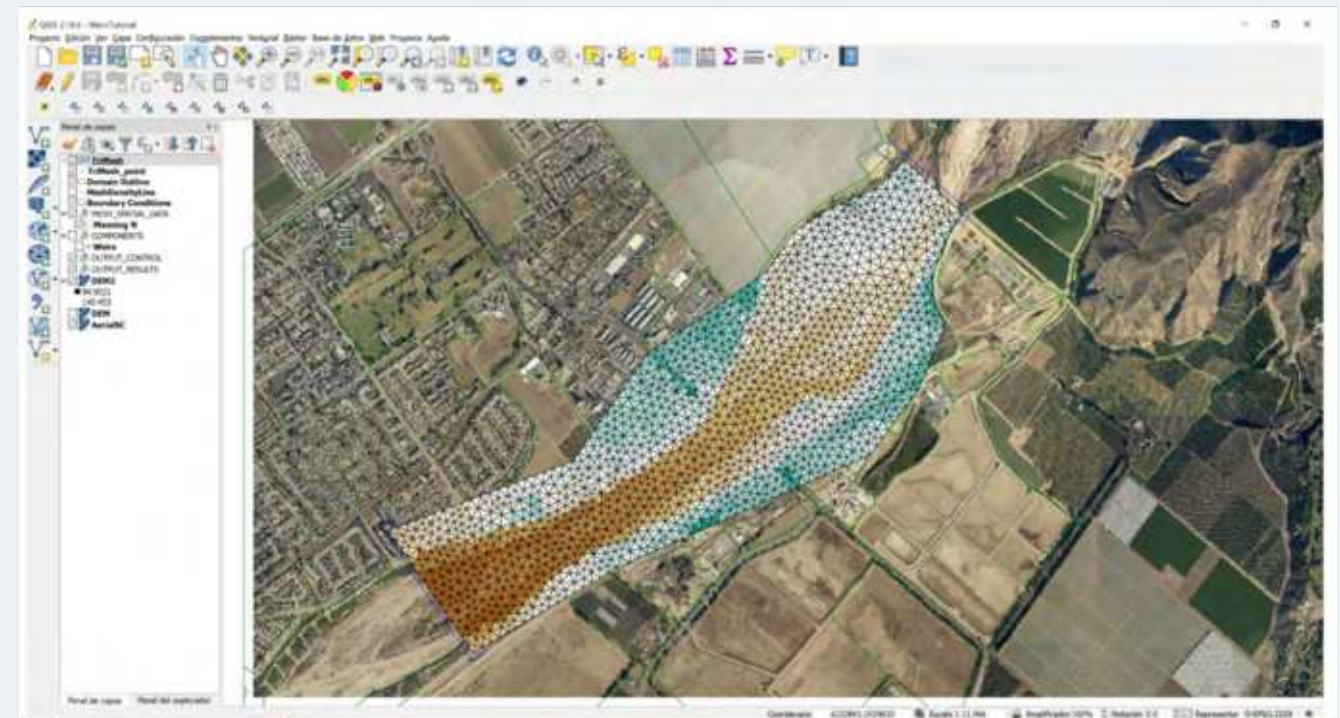


La interfaz de usuario de HydroBID Flood está basada en el Sistema de Información Geográfica QGIS (www.qgis.org). Se ha desarrollado un complemento (plugin) para QGIS que provee interfaz gráfica de usuario de tipo GIS que proporciona funcionalidades interactivas para generar y refinar la malla usada por HydroBID Flood (Figura 22). HydroBID Flood usa objetos

familiares de GIS, como puntos, arcos (polilíneas) y polígonos para construir una representación de alto nivel del modelo, facilitando la asignación de condiciones de contorno y del parámetro que define la rugosidad del fondo de cada celda, permitiendo al usuario gestionar de forma efectiva el proceso de modelado.

Figura 22

Interfaz de usuario en QGIS



HydroBID Flood ofrece un amplio conjunto de herramientas de visualización, incluyendo visualización 3D, animaciones y exportación de gráficos a Google Earth (Figura 23). El motor de cálculo de RiverFlow2D usa un esquema en

volúmenes finitos preciso y estable que elimina las dificultades que el contorno y los inicios "encaliente" de la simulación que presentan algunos modelos bidimensionales en mallas flexibles.

Figura 23

Representación de mapa de profundidades



HydroBID Flood utiliza las ecuaciones de aguas poco profundas resultantes de la integración en la vertical de las ecuaciones de Navier-Stokes. Por lo tanto, el modelo no calcula aceleraciones ni velocidades verticales y consecuentemente no puede resolver flujos secundarios. El esfuerzo de fondo se supone que sigue las direcciones de la velocidad promediada en la vertical. El modelo hidráulico no incluye términos de dispersión ni turbulencia. La disipación turbulenta y las pérdidas de energía se tienen en cuenta mediante el término n de Manning en las ecuaciones de cantidad de Movimiento.

El modelo puede integrar estructuras hidráulicas como alcantarillas, presas, puentes, compuertas y tablas de gasto internas. Las capacidades

hidrológicas incluyen lluvia, infiltración y evaporación espacialmente distribuidas. Esta versión también cuenta con la funcionalidad del cálculo del esfuerzo del viento sobre la superficie del agua. El modelo cuenta con módulos de transporte de sedimentos, erosión de pilas de puente, transporte de contaminantes y calidad del agua.

EL HydroBID Flood se ha acoplado dinámicamente al modelo EPA-SWMM para análisis hidráulico de redes de alcantarillado y drenaje urbano, se utilizará para calcular el flujo de agua en los colectores de drenaje. El desarrollo se centra en el intercambio de agua en las dos direcciones entre los dos sistemas: superficial y subsuperficial.

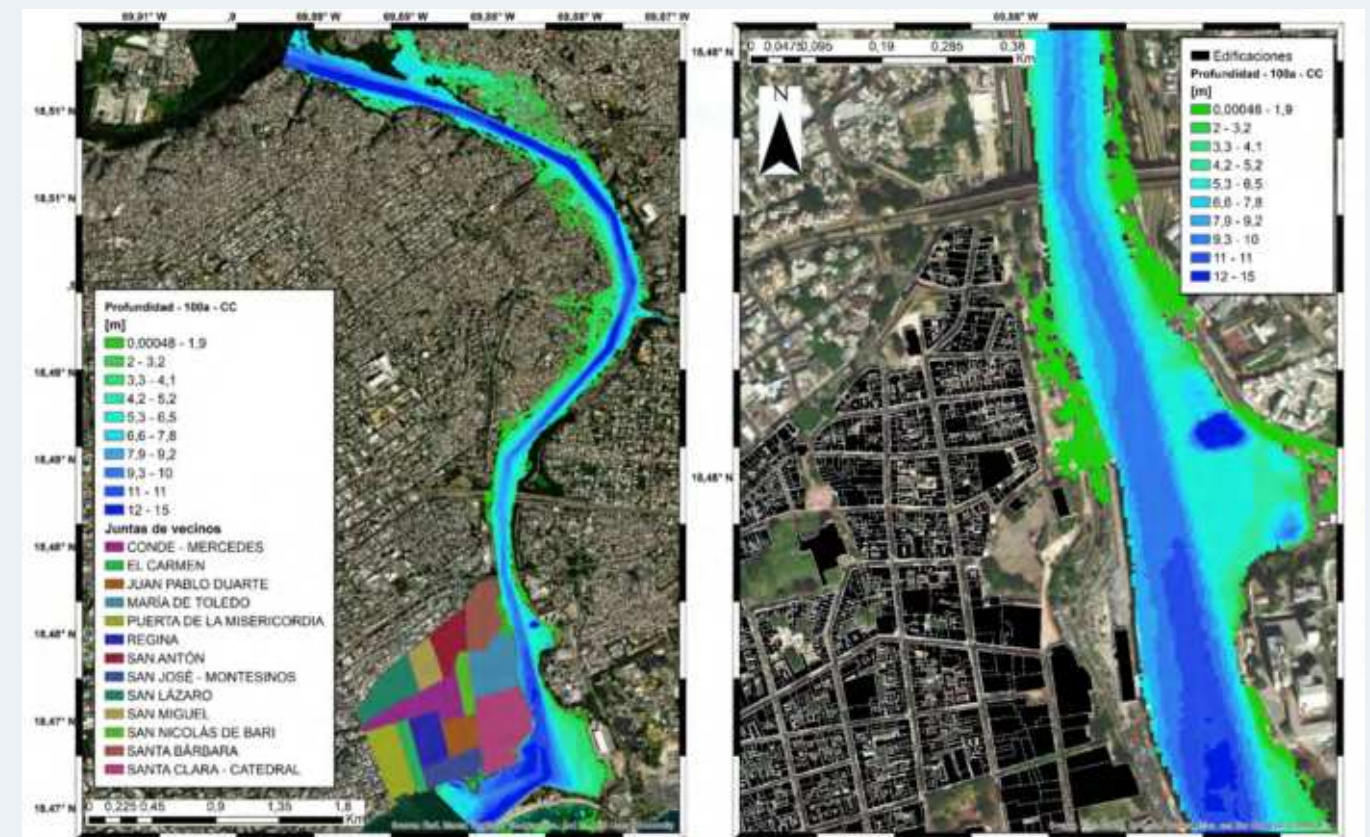
6.1.4 Resultados

En esta sección, se presentan los resultados finales del modelo de amenaza por inundación en la CCSD. En primer lugar, se presentan los mapas de amenaza por desbordamiento del río Ozama. Seguidamente, se presentan los resultados de inundación pluvial por eventos extremos de precipitación.

La siguiente figura presenta el mapa de amenaza por inundación fluvial para el evento extremo de 100 años de período de retorno, en el escenario con cambio climático (RCP 4.5). Se observa una pequeña zona inundable localizada en las juntas de vecinos de Santa Bárbara y de María de Toledo.

Figura 24

Mapa de amenaza por inundación fluvial – profundidad de inundación [metros] – Escenario de cambio climático – evento de 100 años de período de retorno



Un acercamiento a la zona inundable (Figura 24 – derecha) que se presenta en las juntas de vecinos mencionadas evidencia que en ninguna de las dos juntas de vecinos existen edificaciones amenazadas por este forzamiento para el escenario con cambio climático. **Por lo anterior, una primera conclusión importante del Plan de Adaptación es que la inundación fluvial por desbordamiento del río Ozama no debe ser considerada como una amenaza relevante en el programa de rehabilitación de espacios públicos y viviendas de CCSD.**

Por otro lado, a continuación, se presentan los resultados de amenaza por inundación pluvial en la CCSD para el escenario con cambio climático. Seguidamente se detallan los resultados para el Parque Colón y, luego para

la intersección de la Calle El Conde con Palo Hincado. Para ver los resultados de la totalidad de las intersecciones, se recomienda al lector revisar el documento del ANEXO B. En estos dos casos se presentan únicamente los mapas de amenaza por inundación para el escenario con cambio climático, el cual se estima como el más crítico debido al incremento en la tendencia de precipitación extrema a futuro a partir del análisis de MCGs en Santo Domingo.

En el ANEXO B se presenta la totalidad de mapas de amenaza por inundación pluvial por precipitación extrema en CCSD para los escenarios histórico y con cambio climático, tanto para la profundidad de inundación, como para la velocidad media de flujo.

A partir de estos mapas, es posible hacer una operación multiplicativa de las dos magnitudes (profundidad y velocidad de flujo) con el objetivo de generar un nuevo indicador de la “estabilidad de vuelco” de transeúntes. Este indicador es ampliamente utilizado para localizar zonas en donde haya riesgo para la estabilidad de personas, lo cual puede generar heridos y/o fallecidos. El desarrollo de esta teoría, considerando una masa de la persona de 50 kg, lleva a proponer el criterio de estabilidad al vuelco de $(v*y) \leq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$ (Martínez-Gomariz, Gómez, & Russo, 2016) (Re & Kazimierski, 2018). Según este criterio, en la Figura 26 se presenta el mapa de estabilidad de vuelco para CCSD. Se destacan los siguientes casos en donde hay un alto riesgo para la estabilidad de personas por eventos de inundación pluvial:

- ➔ **San Lázaro:** Avenida Ramón Matías Mella, entre calle del Monte y Tejada y Calle Palo Hincado.
- ➔ **Puerta de la Misericordia:** Toda la Calle Palo Hincado. Calle Espaillat entre arzobispo Nouel y Billini.
- ➔ **El Carmen:** Calle Santomé entre arzobispo Nouel y Billini.
- ➔ **Regina:** Calle Sánchez entre Calle Padre Billini y Paseo Padre Billini.
- ➔ **Santa Bárbara:** Calle Restauración entre arzobispo Meriño y Calle Colón. Intersección entre Calle General Cabral y Calle Isabel La Católica.

Figura 25

**Izq.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – profundidad de inundación [m].
Der.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – velocidad media de flujo [m/s] –
Escenario cambio climático – evento de 100 años de período de retorno**



Figura 26

**Mapa de estabilidad al vuelco en personas (velocidad x profundidad) [m²/s] –
Escenario de cambio climático – evento de 100 años de período de retorno**



6.1.4.1 Parque Colón

A continuación, se presentan los mapas de amenaza por inundación pluvial para el Parque Colón en los períodos de retorno de: 2, 10, 25, 50 y 100 años, para la profundidad de agua. El escenario presentado corresponde al de cambio

climático. Adicionalmente, se presenta el mapa de amenaza por velocidad media de flujo para 100 años de período de retorno, con el objetivo de caracterizar el escenario más extremo.

Figura 27

Mapas de amenaza por inundación pluvial en el Parque Colón – profundidad de inundación [m] – Escenario de cambio climático – eventos de 2, 10, 25, y 50 años de período de retorno



Figura 28

Izq.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – profundidad de inundación [metros] – Cambio climático – 100 años de período de retorno. Der.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – velocidad media de flujo [m/s] – Cambio Climático – 100 años de período de retorno – Parque Colón



De acuerdo con los mapas anteriores, para el evento más extremo (100 años de período de retorno) se encuentra que la profundidad máxima de inundación en el Parque Colón es de 0.2 metros (20 cm), con una velocidad medida de flujo de 1.75 m/s en un tramo corto de la Calle El Conde. Teniendo en cuenta lo anterior, y al considerar un mapa de estabilidad al vuelco de personas (ver Figura 26), es posible concluir

que la amenaza por inundación en el Parque Colón es catalogada como baja. Pero, en este caso se recomienda el diseño y construcción de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS), principalmente alrededor del perímetro de la Catedral Primada de Las Américas, con el objetivo de reducir el riesgo de inundación al interior de la Catedral en eventos extremos de precipitación.

6.1.4.2 Calle El conde

Otro punto de concentración relevante en CCSD y que es objeto del PIDTUCCSD es la Calle El Conde. En esta sección se presentan mapas de amenaza por inundación para los eventos extremos evaluados (100 años de período de retorno) para la intersección de la Calle El Conde con Palo Hincado. Adicionalmente, para cada intersección se presentan gráficos de excedencia de magnitudes (profundidad de inundación y velocidad de flujo) para puntos

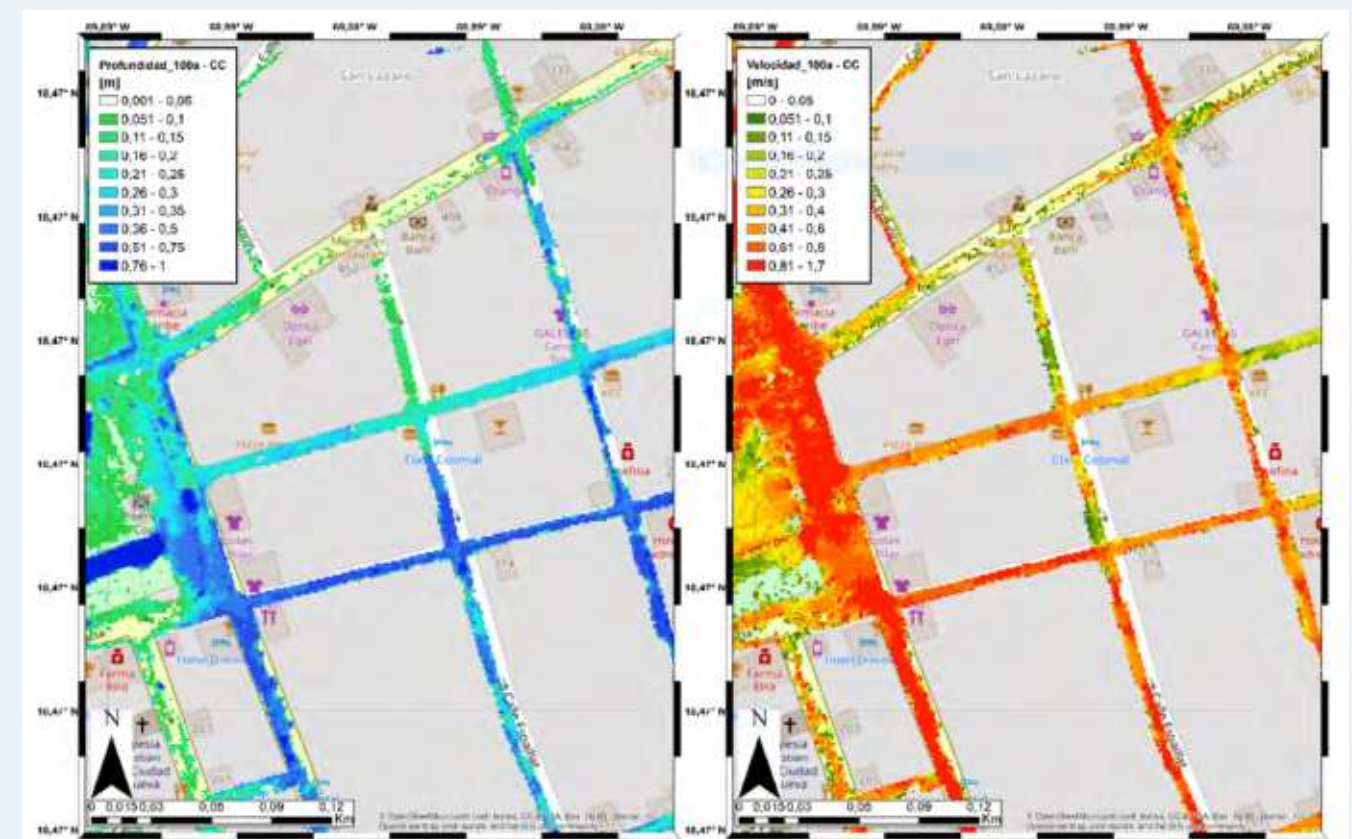
específicos en todas las intersecciones de Calle El Conde, haciendo una comparación entre los escenarios histórico y con cambio climático.

Palo Hincado, Espailat y Santomé

Los mapas de amenaza por inundación que se presentan a continuación corresponden a las intersecciones de la Calle El Conde con las calles de Palo Hincado, Espailat y Santomé.

Figura 29

Mapa de amenaza por inundación pluvial – profundidad de inundación [metros] – Cambio climático – 100 años de período de retorno. Der.: Mapa de amenaza por inundación pluvial – velocidad media de flujo [m/s] – Cambio Climático – 100 años de período de retorno – Palo Hincado, Espailat y Santomé



Apartir de los mapas de amenaza por inundación calculados, es posible estimar las gráficas de excedencia de magnitudes de inundación (ver Figura 30). Estos gráficos representan los valores que se pueden igualar o exceder en un punto geográfico determinado, para todo el conjunto de periodos de retorno evaluados. Por lo tanto, estos gráficos contienen toda la información relevante del modelo de amenaza por inundación para un punto en particular, en este caso las intersecciones de la Calle El Conde.

Por ejemplo, en la intersección de Calle El Conde con Palo Hincado (Ver Figura 30) se observa que la línea roja representa las profundidades de inundación que se pueden igualar o exceder en el escenario con cambio climático para los periodos de retorno entre 2.33 y 100 años. Allí observamos que para 2.33 años de período de retorno es posible esperar profundidades de inundación de 10 cm, mientras que para el

evento de 100 años de período de retorno es posible esperar profundidades de 25 cm, o más. Para el caso de las velocidades de inundación se presenta la misma información comparativa entre los escenarios histórico y con cambio climático. Dado que es posible que a futuro la precipitación extrema con cambio climático incremente su intensidad con respecto al escenario histórico, en general se espera que el escenario con cambio climático sea más crítico que el histórico y que las gráficas de excedencia de magnitudes de inundación reflejen estos resultados. Por lo tanto, es usual que para todas o casi todas las gráficas el escenario con cambio climático (líneas rojas y azules) presenten valores más elevados. Lo anterior quiere decir que, para efectos de diseño de obras de infraestructura y de drenaje urbano es importante que se considere el escenario con cambio climático para el dimensionamiento con el objetivo de garantizar la resiliencia de las infraestructuras.

En términos de profundidad de inundación, se observa que:

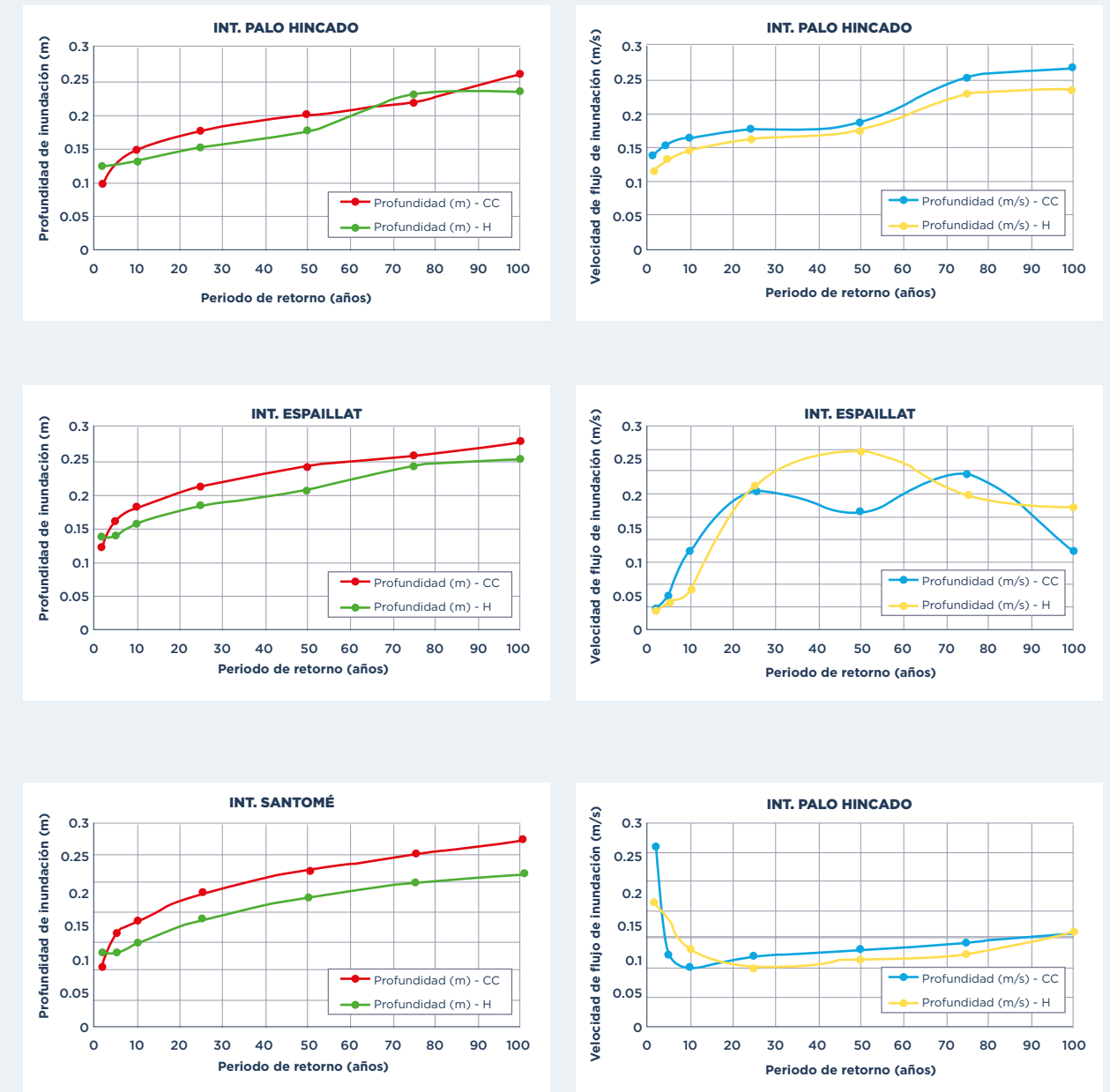
- i. Palo Hincado:** las profundidades críticas varían entre 10 y 25 cm.
- ii. Espaillat:** las profundidades críticas varían entre 10 y 23 cm.
- iii. Santomé:** las profundidades críticas varían entre 10 y 32 cm.

En términos de velocidad media de flujo, se observa que:

- i. Palo Hincado:** las velocidades críticas varían entre 0.8 y 1.6 m/s.
- ii. Espaillat:** las velocidades críticas varían entre 0.5 y 0.6 m/s.
- iii. Santomé:** las velocidades críticas varían entre 0.2 y 0.7 m/s.

Figura 30

Curvas de excedencia de magnitudes (profundidad y velocidad) para intersecciones en Calle El Conde



6.1.5 Conclusiones de modelo de amenaza por inundación en la CCSD

A partir de los resultados del modelo de amenaza por inundación presentados de forma digital e interpretados en términos de mapas, gráficas y tablas en este documento, se presentan las

conclusiones propias para cada uno de los forzamientos analizados (fluvial y pluvial), y cada uno de los espacios públicos relevantes para el estudio (Parque Colón y Calle El Conde).

6.1.5.1 Inundación fluvial

- ➔ El forzamiento por inundación fluvial evaluó para los escenarios histórico y con cambio climático, en los períodos de retorno de: 2.33, 5, 10, 25, 50, y 100 años.
- ➔ El desbordamiento del río Ozama no representa una amenaza real para las edificaciones y espacios públicos de la CCSD. Tanto para el escenario histórico, como para el escenario crítico de cambio climático se evidenció que un evento extremo (100 años de período de retorno) no genera zonas inundables en CCSD que puedan afectar las edificaciones presentes en las juntas de vecinos aledañas al río.
- ➔ Únicamente para las juntas de vecinos de Santa Bárbara y María de Toledo se observa una zona inundable en el evento extremo de 100 años de período de retorno, para el escenario histórico. Pero ninguna edificación, solar y/o predio se ve afectado por la zona inundable.
- ➔ El desbordamiento del río Ozama representa un riesgo para otros barrios de Santo Domingo localizados aguas arriba de CCSD, pero esto excede el interés de este estudio.



El desbordamiento del río Ozama no representa un riesgo significativo para la CCSD, ni en sus edificaciones, ni en sus espacios públicos. Por lo tanto, no es prioritario plantear medidas de reducción del riesgo de desastre por inundación para este caso.

6.1.5.2 Inundación pluvial

- ➔ El forzamiento por inundación pluvial se considera a partir de eventos de precipitación extrema sobre CCSD, y se evaluó para los escenarios histórico y con cambio climático, en los períodos de retorno de: 2.33, 5, 10, 25, 50, y 100 años.
- ➔ Las juntas de vecinos que pueden llegar a ser afectadas por inundación pluvial son: San Lázaro, María de Toledo, Puerta de La Misericordia, Conde – Mercedes, Juan Pablo Duarte, y Santa Clara – Catedral. Las afectaciones se pueden presentar no sólo por la acumulación de agua sobre una zona topográficamente propensa a generar encharcamientos, sino que también en zonas de gran pendiente se pueden generar afectaciones por el incremento en la velocidad de flujo, lo cual puede afectar la estabilidad de personas, vehículos, etc. Esto se debe tener en cuenta en las juntas de vecinos de zona norte como San Lázaro y Santa Bárbara.
- ➔ En términos de estabilidad al vuelco de personas, se destacan los siguientes casos donde existe un alto riesgo para transeúntes:
 - **San Lázaro:** Avenida Ramón Matías Mella, entre calle del Monte y Tejada y Calle Palo Hincado.
 - **Puerta de la Misericordia:** Toda la Calle Palo Hincado. Calle Espaillat entre arzobispo Nouel y Billini.
 - **El Carmen:** Calle Santomé entre arzobispo Nouel y Billini.
 - **Regina:** Calle Sánchez entre Calle Padre Billini y Paseo Padre Billini.
 - **Santa Bárbara:** Calle Restauración entre arzobispo Meriño y Calle Colón. Intersección entre Calle General Cabral y Calle Isabel La Católica.

En cuanto al riesgo para los parques y edificaciones:

➔ Parque Colón

Para el evento más extremo (100 años de período de retorno) se encuentra que la profundidad máxima de inundación en el Parque Colón es de 0.2 metros (20 cm), con una velocidad medida de flujo de 1.75 m/s en un tramo corto de la Calle El Conde. Teniendo en cuenta lo anterior, y al considerar un mapa de estabilidad al vuelco de personas, es posible concluir que la amenaza por inundación en el Parque Colón es catalogada como baja. No es una zona en la cual se esperen acumulaciones importantes de agua y/o velocidades de flujo que pongan en peligro la estabilidad de personas y/o vehículos, dada la condición predominantemente plana de este parque.

➔ Calle El Conde

Para el evento extremo de 100 años de período de retorno, en el escenario de cambio climático, las profundidades de inundación en el sentido longitudinal de Calle El Conde varían entre 5 y 35 cm. Por su parte las velocidades medias de flujo varían entre 0.05 y 1.2 m/s. La combinación de estas dos magnitudes de análisis ofrece un indicador directamente relacionado con la estabilidad al vuelco de personas. Teniendo en cuenta los resultados del modelo de amenaza por inundación, se observa que el indicador de estabilidad al vuelco de personas oscila entre 0.02 y 0.22 m²/s. Estos valores se encuentran muy alejados del valor mínimo de volcamiento establecido para una persona de 50 kg de peso (0.45 m²/s). Por tanto, en la Calle El Conde existe un riesgo bajo de afectación a la estabilidad de transeúntes por efecto de eventos de inundación.

→ Donde es posible esperar un riesgo moderado de estabilidad de transeúntes en la Calle El Conde, corresponde a la intersección con la Calle Palo Hincado y el tramo longitudinal hacia la Calle Espailat.

→ En las intersecciones, se estima que la profundidad máxima esperada es de 35 cm, para la intersección con la Calle Santomé en el escenario de cambio climático y 100 años de período de retorno. En general, para el resto de las intersecciones, las profundidades de inundación oscilan entre los 5 y 25 cm.

→ En promedio, se espera que para las intersecciones de la Calle El Conde se de un incremento del 13.9% en las profundidades de inundación para el escenario con cambio climático, con respecto al histórico. Mientras que se espera un incremento únicamente del 5.9% en las velocidades de inundación.

Edificaciones

→ No se evidencia afectación considerable sobre las edificaciones de CCSD. La precipitación extrema que puede caer sobre CCSD se puede acumular en solares con topografías favorables a anegación y en las zonas bajas de CCSD, pero no se observan zonas inundables al interior de manzanas edificadas.



A partir de los pasos definidos en el documento de Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático del BID (Barandiarán et al., 2019), se establece que no se justifica la elaboración de una Evaluación Probabilista de Riesgo por inundación en edificaciones para la CCSD. Lo anterior debido a que las principales zonas inundables y afectaciones menores se pueden presentar en calles y algunos espacios públicos para los cuales es suficiente contar con los resultados cuantitativos de un modelo de amenaza por inundación, pero no es necesario avanzar a la elaboración de componentes de exposición, vulnerabilidad, y cálculo de riesgo sobre edificaciones.

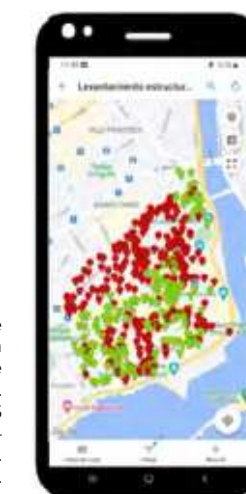
6.2 MODELO DE EXPOSICIÓN

Si bien gracias a los resultados del modelo de amenaza por inundación se concluyó que no es necesario realizar una evaluación del riesgo en edificaciones en la CCSD, en el marco del Plan de Adaptación se realizó un trabajo de campo para la toma de datos relacionados con las características estructurales de las edificaciones, y la caracterización de los contenidos muebles de una muestra estadística de 455 edificios/casas distribuidas en las 13 juntas de vecinos de la CCSD. El objetivo de este trabajo de toma de datos, además de ser un insumo para una potencial evaluación del riesgo por inundación en la CCSD, fue el de complementar el proyecto titulado “Inventario de las condiciones físicas, sociales, legales y financieras de las viviendas sociales de los barrios de la zona norte de la Ciudad Colonial” (Hábitat para la Humanidad, 2022).

El modelo de exposición, como insumo para una evaluación de riesgo por inundación, tiene cuatro objetivos principales:

- Localización exacta de edificaciones de la CCSD.
- Caracterización estructural de las edificaciones de la CCSD: material de fachada, sistema estructural, material techos, número de plantas, porcentaje de aberturas en fachada, entre otros.
- Caracterización de contenidos muebles y categorización de nivel socioeconómico de la vivienda
- Valor económico expuesto de la edificación y sus contenidos muebles.

La toma de datos se realizó en el mes de septiembre de 2022, empleando dispositivos móviles que facilitan la georreferenciación de cada inspección, la digitalización de datos y la toma de fotografías. El equipo de toma de datos se conformó de integrantes de la Policía de Turismo de la CCSD, arquitectos e ingenieros civiles con experiencia en inspecciones a edificaciones (Ver Fotografía 5).



Fotografía 5. Arriba: Equipo de arquitectos, ing. Civiles y policía para la toma de datos en campo de edificaciones y contenidos en la CCSD. Abajo: Imagen de localización de 455 puntos de inspección en la CCSD – Plataforma FULCRUM (<https://www.fulcrumapp.com/>).

Dentro de los datos relevantes para la caracterización de las edificaciones de la CCSD, se encuentran el uso de la edificación, el material del sistema de resistencia sísmica (ver Fotografía 6), entre otros. Para recolectar estos

datos se empleó un cuestionario a los residentes de las edificaciones y se empleó el criterio de experto de cada inspector para juzgar las condiciones y características de construcción de las edificaciones.



Fotografía 6. Toma de datos en campo en Calle General Cabral (arriba) y en Calle arzobispo Meriño (abajo).

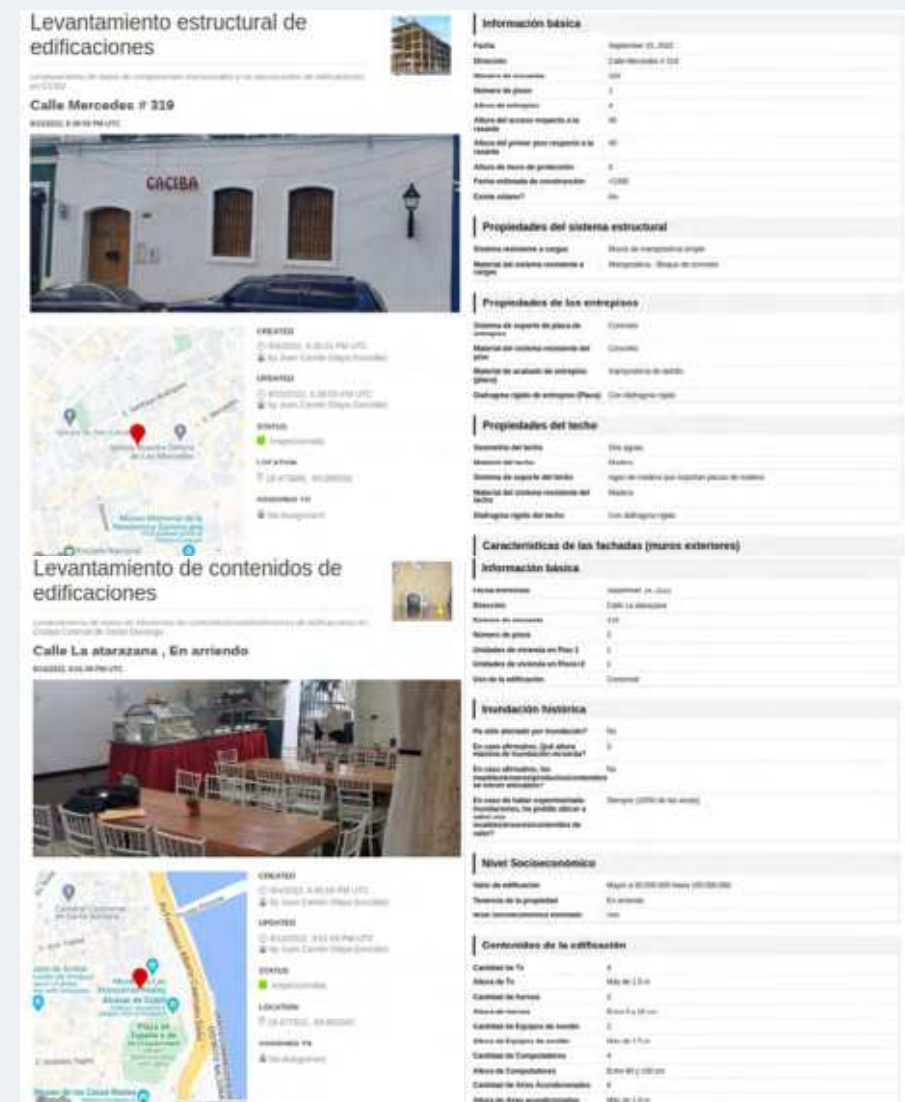
En el ANEXO D: Formatos de inspección para modelo de exposición, se presenta un formato de inspección para la toma de datos en campo de un modelo de exposición como insumo para la evaluación de riesgo por inundación.

El resultado principal de un modelo de exposición es una base de datos donde se

recopila la totalidad de datos muestreados y distribuidos para todas las edificaciones de la CCSD, de acuerdo con unos patrones de asignación particulares. A partir de la base de datos, se reporta la información recopilada empleando fichas de resumen como las que se presentan a continuación.

Figura 31

Arr.: Fichas de resultados de inspección estructural en muestra estadística de edificaciones en la CCSD. Ab.: Fichas de inspección de contenidos muebles



En el ANEXO D se presenta la base de datos (formato excel) de resultados del modelo de exposición construido para el Plan de Adaptación. Adicionalmente, se presenta la

totalidad de fichas de resumen de los 455 edificios muestreados e inspeccionados en las 13 juntas de vecinos de la CCSD.



Si bien en este caso el modelo de exposición no se empleará para una evaluación de riesgo por inundación, estos datos son valiosos para un sinnúmero de aplicaciones de arquitectura, ingeniería civil, ciencias sociales, ordenamiento territorial, entre otros, y por tanto, en el marco del Plan de Adaptación se ponen a disposición de todos los interesados y, dado que se obtuvieron datos para la totalidad de juntas de vecinos de la ciudad, es un complemento a la valiosa información generada en el proyecto “Inventario de las condiciones físicas, sociales, legales y financieras de las viviendas sociales de los barrios de la zona norte de la Ciudad Colonial” (Hábitat para la Humanidad, 2022).

6.3 MODELO DE VULNERABILIDAD

La cuantificación de la vulnerabilidad busca proporcionar una evaluación más precisa de la susceptibilidad inherente de un elemento (edificios, carreteras, etc.) a sufrir daños cuando se enfrenta a amenazas naturales. Esto implica el estudio de las características intrínsecas de las estructuras y las personas expuestas, que determinan su capacidad para resistir las demandas impuestas por eventos naturales. La evaluación del riesgo abarca tanto las pérdidas económicas, principalmente derivadas de daños a las estructuras, como la pérdida de vidas humanas (Barandiarán et al., 2019).

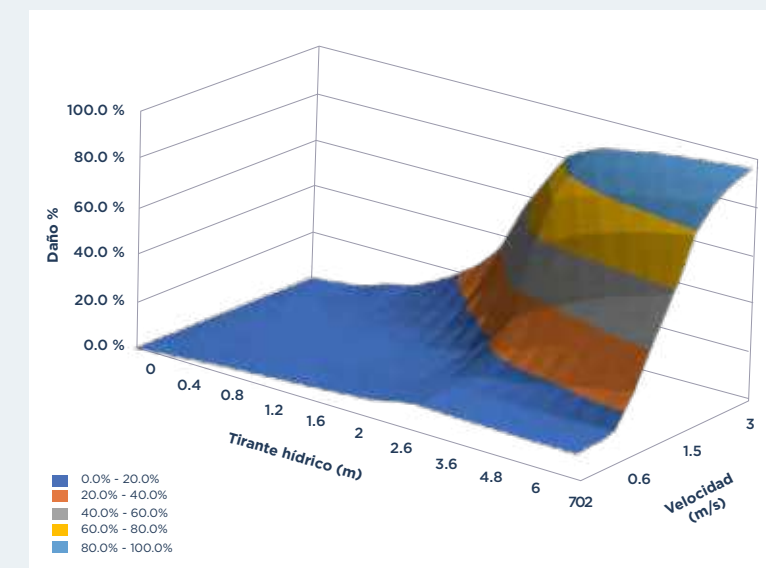
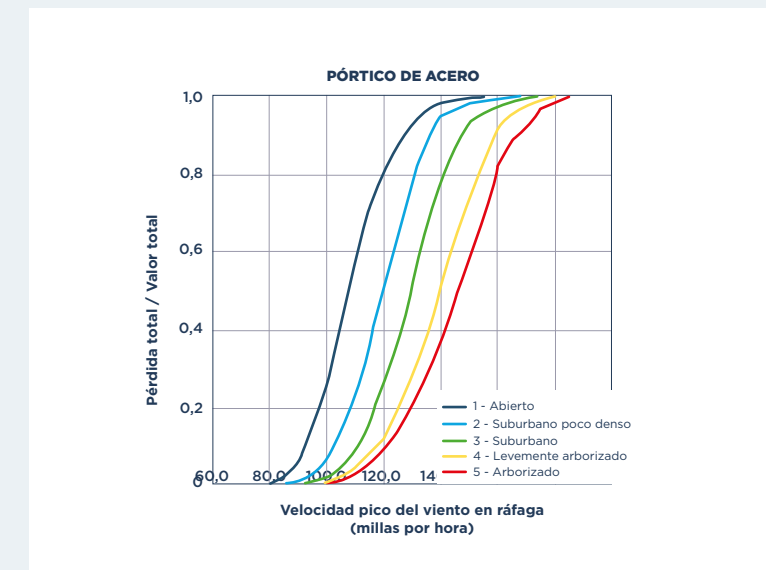
En el marco del Plan de Adaptación, el objetivo de evaluar el riesgo por inundación recae esencialmente en las edificaciones, dado que uno de los componentes principales

del PIDTUCCSD es el de renovación urbana de fachadas en edificios priorizados. En ese sentido, la vulnerabilidad por inundación debe relacionar una o las dos magnitudes de análisis de inundaciones (profundidad y velocidad de flujo) con una relación media del daño que puede experimentar una edificación y/o sus contenidos en un evento extremo.

Dado que en el Plan de Adaptación no se tuvo la necesidad de llegar a la evaluación de riesgo por inundación (paso 5 de la metodología), no se realizó un análisis de vulnerabilidad física de las edificaciones para el cálculo de pérdidas de estructuras y contenidos. Pero, a continuación, se presentan dos ejemplos de funciones de vulnerabilidad que se pueden emplear en evaluaciones cuantitativas de riesgo.

Figura 32

Funciones de vulnerabilidad. Izq.: Para velocidad del viento por huracán en edificaciones de acero (Barandiarán et al., 2019). Der.: Para velocidad y profundidad de inundación (Olaya et al., 2023)



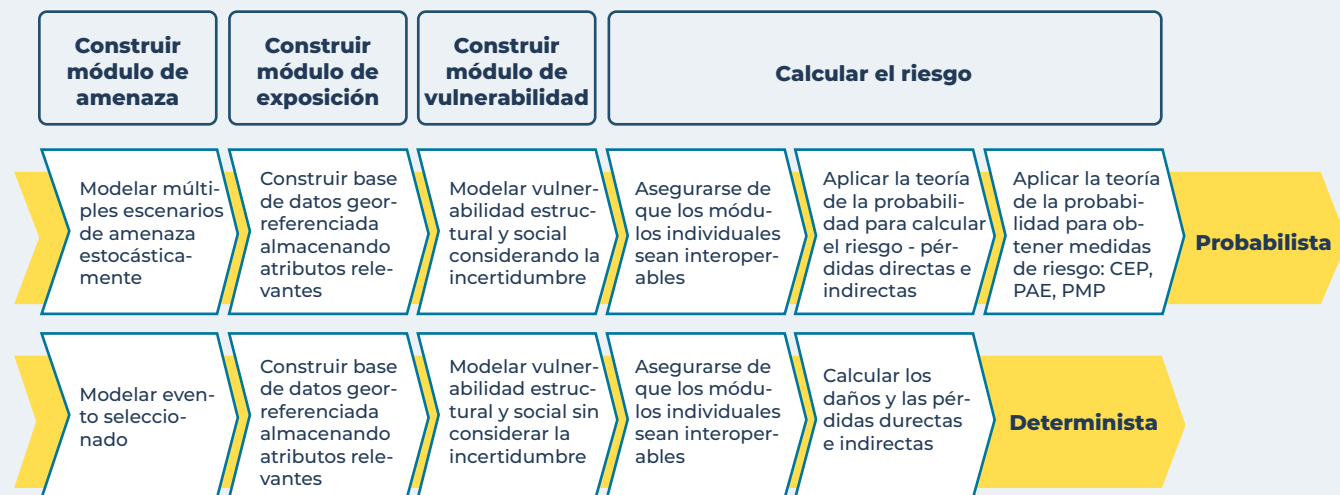
6.4 MODELO DE RIESGO

Por último, el modelo de riesgo por inundación con un enfoque cuantitativo busca estimar métricas e indicadores que son usualmente relacionados con pérdidas económicas de elementos expuestos de interés. En la siguiente figura, se presenta un resumen de actividades necesarias para desarrollar una evaluación de riesgo, según la metodología seguida en el Plan de Adaptación. En este proyecto, dado el enfoque de gradualidad de esfuerzos y alcances en la implementación de la metodología, no se llegó a la evaluación probabilista del riesgo por inundación en la CCSD.

Pero, se recomienda siempre al lector familiarizarse con los contenidos y detalles metodológicos del documento base del Plan de Adaptación (Barandiarán et al., 2019). En esta línea, se recomienda al lector un documento que puede servir de referencia de proyectos en los que se efectuó una evaluación probabilista del riesgo por inundación con influencia del cambio climático, y se tomó como insumo para instrumentos de planificación territorial. Un ejemplo de este tipo de proyecto se encuentra en (Olaya et al., 2023), aplicado en (BID, 2022).

Figura 33

Resumen de actividades para desarrollar una evaluación de riesgo (Barandiarán et al., 2019)



Fuente: (Barandiarán et al., 2019)





7

ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE

El objetivo esencial de una Metodología de Evaluación del Riesgo por inundación, con influencia del cambio climático, es llegar a medidas alternativas de reducción del riesgo. No solo es importante realizar diagnósticos de riesgo de línea base, a partir de los cuales es posible tomar decisiones para la priorización de inversión, generación de instrumentos financieros para protección de activos, entre otros. Sino que el objetivo final es la recomendación de medidas de adaptación que permitan alcanzar mayor resiliencia al cambio climático que, de manera eficaz, lleguen a soluciones graduales de las condiciones de línea base.

Desde un punto de vista conceptual, se hace énfasis en la diferencia existente entre los tipos de medidas de reducción del riesgo por inundación. Esta división principal se reconoce en términos de las medidas que, para su implementación, requieren de la ejecución de obras civiles, las cuales se reconocen como medidas estructurales. Por el contrario, para todas aquellas medidas que no requieren ningún tipo de obra civil y/o infraestructura, se las reconoce como medidas no estructurales. A continuación, se presenta una descripción conceptual de los tipos de medidas de intervención.

Pero, se recomienda siempre al lector familiarizarse con los contenidos y detalles metodológicos del documento base del Plan de Adaptación (Barandiarán et al., 2019). En esta línea, se recomienda al lector un documento que puede servir de referencia de proyectos en los que se efectuó una evaluación probabilista del riesgo por inundación con influencia del cambio climático, y se tomó como insumo para instrumentos de planificación territorial. Un ejemplo de este tipo de proyecto se encuentra en (Olaya et al., 2023), aplicado en (BID, 2022).

Caja 21

Conceptos Clave

Adaptación al cambio climático: Un ajuste en los sistemas naturales o humanos como respuesta a los estímulos climáticos reales o esperados o sus efectos los cuales moderan el daño o explotan las oportunidades beneficiosas. Según el IPCC, la adaptación al cambio climático se define como al ajuste de los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes. La adaptación al cambio climático se refiere a los ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación, entre ellas la preventiva y la reactiva, la pública y privada, o la autónoma y la planificada (UN Secretary-General, 2016).

Tabla 7

Tipos de medidas de reducción del riesgo por inundación

Tipos de medidas de reducción del riesgo por inundación	Medidas estructurales:	Estructuras de retención: presas o embalses aguas arriba de ríos, estanques de retención, etc.
	Medidas no estructurales:	Cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas
Cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación		Sistemas de drenaje: convencionales combinados, separados, SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible), origen pluvial, etc.
		Políticas y planeamiento urbano
		Estudios de amenaza y riesgo por inundación
		Difusión de resultados, talleres - Comunicación
		Coordinación y procedimientos de operación
		Educación de la población
		Seguros e indemnizaciones

A partir de estas definiciones conceptuales, y tomando como referencia las medidas de intervención actualizadas por el Fondo Mundial para la Reducción de los Desastres y la Recuperación (GFDRR, por sus siglas en inglés) (Rajasekar, Shankar, Thool, Dutta, & Bhaisare, 2022) y del BID en (Barandiarán et al., 2019), en esta sección se presentan las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) (Cohen-Shacham, Walters, Janzen, & Maginnis, 2016), que, para el caso de las inundaciones urbanas, buscan reducir el impacto de las inundaciones a partir del concepto de “ciudades esponja”,

mediante el cual se pretende aumentar la capacidad de infiltración de calles, andenes, plazas, así como también desviar y/o retener el agua de escorrentía para uso posterior en otras aplicaciones. De acuerdo con el GFDRR, las SBN tienen otros beneficios adicionales: la mejora de la calidad del agua y del suelo, la reducción del efecto isla de calor, la mejora de los espacios urbanos que pueden ser utilizados para el recreo y la mejora de la biodiversidad urbana. En el ANEXO A se presenta el detalle de las alternativas de reducción del riesgo recopiladas en el estado del arte.

7.1

MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN DISEÑOS DE ESPACIOS PÚBLICOS EN LA CCSD – CASO CALLE EL CONDE Y PARQUE COLÓN

La propuesta de medidas de adaptación y fortalecimiento de resiliencia al cambio climático en espacios públicos de la CCSD se basó en los resultados obtenidos en el modelo de amenaza por inundación pluvial del Plan de Adaptación (Ver sección 6.1.4.2), en donde se identificó una serie de potenciales

afectaciones en las intersecciones de la Calle El Conde. A continuación, se presenta de manera esquemática las propuestas de solución a los volúmenes de escorrentía que pueden afectar la intersección de la Calle El Conde con Palo Hincado (Tramo 01), empleando Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

En la Figura 34, en rojo, se presenta una cisterna, que busca incrementar la capacidad de infiltración de la intersección captando volúmenes de agua para eventos extremos de determinados períodos de retorno. En verde, se presentan SBN denominadas “alcorques inundables”, que también buscan captar y almacenar excesos de agua lluvia. En las Figura 35 y Figura 36 se presenta un detalle del sistema de drenaje propuesto con SUDS. En rojo, se

presentan soluciones a partir de pavimentos permeables en intersecciones de la Calle El Conde.

Para el caso del parque Colón, se plantea el uso de pavimentos permeables en zonas localizadas de acuerdo con los mapas de amenaza por inundación pluvial con influencia de cambio climático (Ver figuras 27 y 28).

Figura 34

Vista isométrica de tramo 01 – Calle El Conde con Palo Hincado



Fuente: (Barinas, Taveras, Vargas, & Kemp, 2023)

Caja 22

Conceptos Clave

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS):

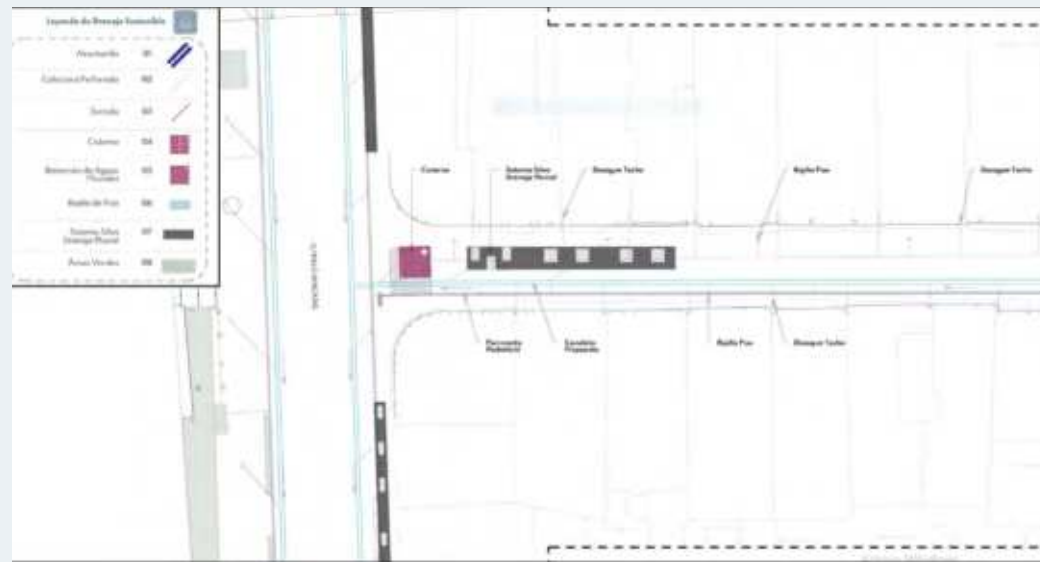
Son enfoques y técnicas diseñados para gestionar eficazmente el agua de lluvia en entornos urbanos de una manera ambientalmente sostenible. Estos sistemas se utilizan para controlar el flujo y la calidad del agua de lluvia en áreas urbanas, minimizar el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad del agua en ríos y cuerpos receptores.

Los SUDS incorporan una serie de prácticas y elementos, como áreas verdes permeables, sistemas de recolección y almacenamiento de aguas pluviales, techos verdes, pavimentos permeables y humedales construidos. Estas soluciones imitan el ciclo natural del agua al permitir que el agua de lluvia se filtre, se infiltre en el suelo y se almacene temporalmente, reduciendo así la escorrentía y mitigando el riesgo de inundaciones urbanas.

El objetivo principal de los SUDS es lograr una gestión sostenible del agua de lluvia en áreas urbanas al tiempo que se promueve la conservación del medio ambiente y se mejora la calidad de vida de los residentes. Estos sistemas también pueden contribuir a la adaptación al cambio climático al abordar los desafíos relacionados con el aumento de las precipitaciones y la variabilidad climática.

Figura 35

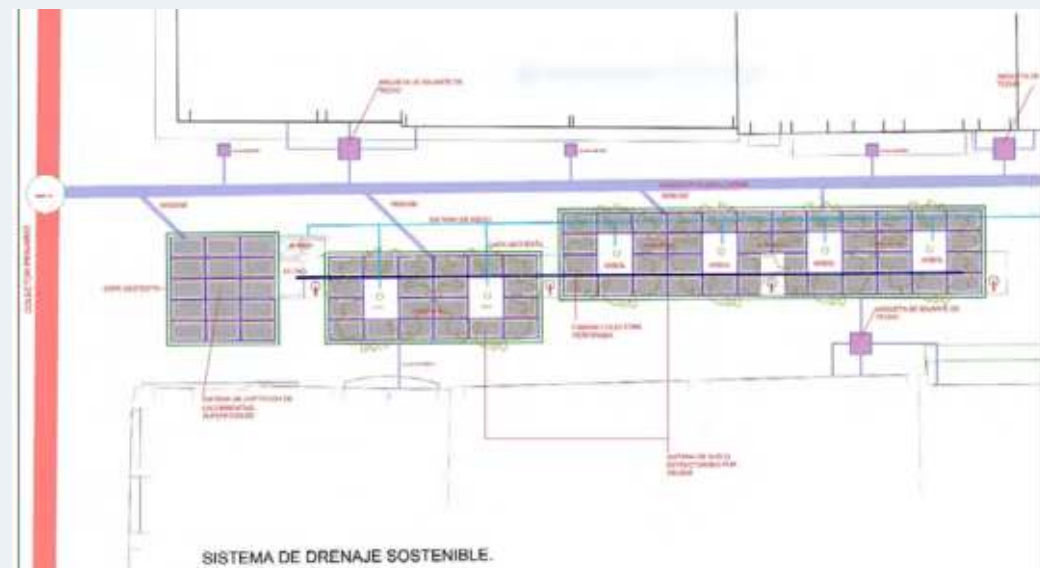
Diseño de drenaje pluvial adaptado y resiliente a efectos del cambio climático de tramo 01 – Calle El Conde con Palo Hincado



Fuente: (Barinas et al., 2023)

Figura 36

Diseño de drenaje pluvial adaptado y resiliente a efectos del cambio climático de tramo 01 – Calle El Conde con Palo Hincado



Fuente: (Barinas et al., 2023)



Es importante resaltar que la propuesta, diseño y construcción de este tipo de soluciones para la CCSD, no implica en ningún momento el reemplazo de la infraestructura de drenaje pluvial existente. Por el contrario, se busca generar un apoyo sostenible al sistema de alcantarillado pluvial de la Calle El Conde y el Parque Colón, en donde i) se reduzca el riesgo de inundación, y ii) se almacene el agua de escorrentía para diferentes usos.

Para finalizar, en la siguiente figura se presenta un esquema de corte típico lateral del sistema de alcorques inundables de drenaje sostenible propuestos como una de las soluciones al riesgo por inundación en la Calle El Conde. En ella, se evidencia que no es un sistema aislado del alcantarillado pluvial existente, sino que se busca que se encuentre vinculado y pueda servir

como un amortiguador de picos de escorrentía. Mayores detalles técnicos de la propuesta de alternativas de adaptación y fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático se pueden encontrar en el ANEXO E: Detalle de propuestas de drenaje sostenible para espacios públicos de la CCSD (Barinas et al., 2023).

Figura 37

Sistema de alcorques inundables de drenaje sostenible propuestos para la Calle El Conde – Planta Típica



Fuente: (Barinas et al., 2023)

CONCLUSIONES

En el Plan de Adaptación se presenta un ejemplo concreto de la implementación de la Metodología para la Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático en proyectos BID, donde se buscaba llegar a medidas de adaptación y fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático en el marco del Programa Integral de Desarrollo Turístico y Urbano de la Ciudad Colonial, específicamente en los proyectos de espacios públicos en Calle El Conde y Parque Colón. 2.

La metodología tiene como objetivo principal la idea encapsulada en la famosa cita de Voltaire: “Lo perfecto es enemigo de lo bueno”. Esto implica que, en función del contexto de recursos y particularidades de cada proyecto, no es necesario buscar la perfección en términos de complejidad técnica, científica o de exhaustividad. En muchos casos, un enfoque más sencillo y progresivo puede ser más efectivo y producir mejores resultados.

A partir de la implementación gradual de la metodología se extraen las siguientes conclusiones relevantes de cada fase:

Screening – Paso 1

Inundación fluvial

- 1 Hay 3 puntos principales a considerar: los resultados de los proyectos de Análisis de inundación del río Ozama, la localización de la CCSD y que a futuro es posible esperar que en condiciones de cambio climático las precipitaciones y caudales extremos potencialmente pueden incrementarse.
- 2 Teniendo en cuenta lo anterior, es racional pensar que a futuro es posible que existan afectaciones por desbordamiento del río en las juntas de vecinos al norte de la CCSD. Por lo tanto, efectivamente hay una exposición a la amenaza por inundación por desbordamiento de río.
- 3 El resultado de esta fase es positivo. Es decir, sí es necesario avanzar a la siguiente fase de análisis por este tipo de forzamiento.

Inundación costera

- 4 La localización de la CCSD hace pensar que está expuesta a inundación costera. Asimismo, al estar rodeada al oriente por el río Ozama, es racional pensar que los eventos extremos de inundación se pueden ver agravados por situaciones extremas conjuntas de elevación del nivel del mar y de incremento de caudal del río.
- 5 El resultado de esta fase es positivo. Es decir, sí es necesario avanzar a la siguiente fase de análisis por este tipo de forzamiento.

Inundación pluvial

- 6 En la actualidad, no es suficiente realizar análisis hidrológicos únicamente empleando de información histórica registrada en campo. Para garantizar que a futuro se puede contar con un cierto grado de resiliencia a los efectos del cambio climático, es imprescindible realizar análisis considerando los posibles cambios de magnitudes de precipitación y/o temperaturas a futuro.
- 7 Dado que es posible esperar que en ciertas zonas de la República Dominicana y en Santo Domingo, puntualmente, se incrementen las intensidades de eventos extremos de precipitación, es razonable pensar que los eventos de inundación pluvial también pueden volverse más críticos.
- 8 El resultado de esta fase es positivo. Es decir, sí es necesario avanzar a la siguiente fase de análisis por este tipo de forzamiento.



Screening – Paso 2

- 1 La CCSD, al tener el estatus de Patrimonio Cultural y Arquitectónico de la Humanidad (UNESCO, 1990), es un proyecto no convencional, el cual obliga al mayor rigor y exhaustividad en los análisis técnicos de base para el Plan de Adaptación.
- 2 Por pérdida de servicios esenciales, el nivel de accesibilidad peatonal tanto a la CCSD, como a los comercios y viviendas en cercanías de la Calle El Conde se ve afectada. Dada la condición de patrimonio de la CCSD, la criticidad por este aspecto es calificada como alta. En segundo lugar, si bien el tráfico horario de la Calle El Conde no es en términos de vehículos, sino de flujo peatonal, la calificación de criticidad en este aspecto también se califica como alta.
- 3 En términos de Interacción con el entorno natural y antrópico, la criticidad de la CCSD por taludes es calificada como baja. Mientras que, en términos de la criticidad por centros urbanos, la criticidad de la calle El Conde es calificada como alta.
- 4 Por Características físicas, no hay presencia de puentes ni túneles, por tanto, la calificación es baja. Pero existe presencia de obras de drenaje transversales menores. Al ser la Calle El Conde la vía más importante de la CCSD, la calificación de criticidad este aspecto es alta.
- 5 Teniendo en cuenta las 3 dimensiones de criticidad y vulnerabilidad de la Calle El Conde y la condición de Patrimonio de la Humanidad de la CCSD, esta fase del análisis de screening es positiva. Es decir, se debe avanzar a un análisis cualitativo del riesgo por inundación con influencia de cambio climático.

Evaluación cualitativa – Paso 3

- 1 La CCSD, al tener el estatus de Patrimonio Cultural y Arquitectónico de la Humanidad (UNESCO, 1990), es un proyecto no convencional, el cual obliga al mayor rigor y exhaustividad en los análisis técnicos de base para el Plan de Adaptación.
- 2 En los pasos 1 y 2 de la aplicación de la metodología para el componente de rehabilitación de Calle El Conde y Parque Colón de la CCSD, se ha hecho evidente la posibilidad de ocurrencia de eventos de inundación fluvial y pluvial, agravados por efectos de cambio climático que no se han cuantificado para la escala de detalle que exige la CCSD.
- 3 También hay una alta criticidad y vulnerabilidad de la CCSD en cuanto a pérdida de servicios esenciales, características físicas e interacción con el medio antrópico y sus dinámicas socioeconómicas.
- 4 Hay un déficit crítico de información a escalas de detalle (1:2000 o menores) para la toma de decisiones en la CCSD. La información existente y recopilada se encuentra a escalas nacionales, regionales y locales a nivel del Distrito Nacional, pero no específicamente de la CCSD. Por tanto, no se cuenta con datos e información apta para la toma de decisiones de Gestión del Riesgo de Desastres para la adaptación y el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático en la CCSD.
- 5 Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda pasar al paso 4 de la metodología, involucrando análisis detallados de tipo cualitativo, con el objetivo de subsanar la deficiencia de información de los componentes de amenaza, exposición y vulnerabilidad en las escalas de detalle que requiere el proyecto.

Evaluación cualitativa – Paso 4

- 1 La evaluación cualitativa en el marco del Plan de Adaptación se realizó teniendo en cuenta los pasos procedimentales del método Delphi (Rand Corporation) para concientizar sobre los potenciales efectos del cambio climático y la importancia de visión prospectiva en instrumentos de planificación territorial.
- 2 En términos cualitativos, como resultado de la consulta en el grupo de expertos, existe un riesgo bajo por inundación fluvial y costera en la CCSD. Pero vale la pena tener en cuenta las condiciones de cambio climático para verificar cuantitativamente lo que puede ocurrir bajo escenarios extremos.
- 3 En términos cualitativos, como resultado de la consulta en el grupo de expertos, existe un riesgo moderado por inundación pluvial en la CCSD. Puntualmente, hay juntas de vecinos en el norte de la CCSD en las que hay problemas de inundación por las condiciones topográficas, la deficiencia en la red de drenaje, y la acumulación de residuos. En un escenario de cambio climático, donde los eventos extremos de precipitación se pueden exacerbar, es importante cuantificar los impactos de la inundación pluvial en la CCSD.
- 4 La conclusión principal de esta fase, a partir del método Delphi y los talleres y reuniones con expertos en la CCSD, es que es importante cuantificar los posibles impactos de la inundación pluvial en general para toda la ciudad, pero puntualmente para la Calle El Conde y el Parque Colón, para así poder diseñar alternativas de adaptación que sean conducentes a alcanzar la resiliencia al cambio climático en el

marco del PIDTUCCSD. Asimismo, es importante cuantificar los posibles efectos del cambio climático en la inundación fluvial por desbordamiento del río Ozama, sobre todo en las juntas de vecinos del norte.

Evaluación cuantitativa – Paso 5

- 1 El desbordamiento del río Ozama no representa un riesgo para la CCSD, ni en sus edificaciones, ni en sus espacios públicos. Por lo tanto, no es necesario plantear ningún tipo de medida de reducción del riesgo de desastre por inundación para este caso. Los análisis indican que el cambio climático parece no incrementar este riesgo base histórico.
- 2 En términos de estabilidad al vuelco de personas, se destacan los siguientes casos donde existe un alto riesgo para transeúntes:
 - San Lázaro:** Avenida Ramón Matías Mella, entre calle del Monte y Tejada y Calle Palo Hincado.
 - Puerta de la Misericordia:** Toda la Calle Palo Hincado. Calle Espaillat entre arzobispo Nouel y Billini.
 - El Carmen:** Calle Santomé entre arzobispo Nouel y Billini.
 - Regina:** Calle Sánchez entre Calle Padre Billini y Paseo Padre Billini.
 - Santa Bárbara:** Calle Restauración entre arzobispo Meriño y Calle Colón. Intersección entre Calle General Cabral y Calle Isabel La Católica.

3 Donde es posible esperar un riesgo moderado de estabilidad de transeúntes en la Calle El Conde, corresponde a la intersección con la Calle Palo Hincado y el tramo longitudinal hacia la Calle Espailat.

4 No se justifica la elaboración de una Evaluación Probabilista de Riesgo por inundación en edificaciones para la CCSD. Lo anterior debido a que

las principales zonas inundables y afectaciones menores se pueden presentar en calles y algunos espacios públicos para los cuales es suficiente contar con los resultados cuantitativos de un modelo de amenaza por inundación, pero no es necesario avanzar a la elaboración de componentes de exposición, vulnerabilidad, y cálculo de riesgo sobre edificaciones.

Alternativas de adaptación conducentes a incrementar la resiliencia al cambio climático en la CCSD



1 Las soluciones de adaptación para incrementar la resiliencia al cambio climático en la calle El Conde y Parque Colón se agrupan dentro de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Se plantea el incremento de la capacidad de infiltración del suelo a partir de dos esquemas:

- ➔ Cisternas de almacenamiento de agua de escorrentía en las intersecciones de calle El Conde.
- ➔ Pavimento permeable en zonas específicas del Parque Colón.
- ➔ Alcorques inundables distribuidos longitudinalmente sobre la Calle El Conde.

2 Es importante resaltar que la propuesta, diseño y construcción de este tipo de soluciones para la CCSD, no implica en ningún momento el reemplazo de la infraestructura de drenaje pluvial existente. Por el contrario, se busca generar un apoyo sostenible al sistema de alcantarillado pluvial de la Calle El Conde y el Parque Colón, en donde i) se reduzca el riesgo de inundación, y ii) se almacene el agua de escorrentía para diferentes usos.

3 El paso a seguir para implementar medidas de adaptación para incrementar la resiliencia al cambio climático es el dimensionamiento y diseño de ingeniería de cada estructura propuesta. Este diseño tendrá en cuenta los resultados del modelo de amenaza por inundación pluvial realizados en el Plan de Adaptación.



10

ANEXOS

- a. Memoria de taller de amenaza por inundación en la CCSD.
- b. Documento de resultados de amenaza por inundación para la Ciudad Colonial de Santo Domingo - República Dominicana
- c. Segundo Informe: Consultoría para la elaboración de levantamientos topográficos y batimétricos con drones para el Plan de Adaptación
 - Presentación de resultados de topobatimetría para el Plan de Adaptación
- d. Formatos de inspección para modelo de exposición
- e. Base de datos de modelo de exposición CCSD
 - Resultados de inspecciones de contenidos muebles para edificaciones de la CCSD
 - Resultados de inspecciones de estructuras de edificaciones de la CCSD
- f. Detalle de propuestas de drenaje sostenible para espacios públicos de la CCSD
- g. Presentación con propuesta de diseño

10.1 ANEXO A: Memoria de taller de amenaza por inundación en la CCSD

10.2 ANEXO B: Documento de resultados de amenaza por inundación para la Ciudad Colonial de Santo Domingo - República Dominicana

10.3 ANEXO C: Reporte: Consultoría para la elaboración de levantamientos topográficos y batimétricos con drones para el Plan de Adaptación

10.4 ANEXO D: Formatos de inspección para modelo de exposición

10.5 ANEXO E: Detalle de propuestas de drenaje sostenible para espacios públicos de la CCSD



