NATURE-BASED INFRASTRUCTURE
GLOBAL RESOURCE CENTRE

Valoración de activos sostenibles de Parques del Río Norte en Medellín, Colombia

REPORTE IBN

Apoyado por

gef

UNIDO

MAVA
FONDATION POUR LA NATURE

Dirección

IISD
International Institute for Sustainable Development

En colaboración con

C40 CITIES
FINANCE
FACILITY

© 2023 International Institute for Sustainable Development | IISD.org

Noviembre 2023

© 2023 International Institute for Sustainable Development

Publicado por el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible

Esta publicación tiene licencia bajo un Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

El Centro de Recursos Globales de **Infraestructura Basada en la Naturaleza (IBN)** tiene como objetivo mejorar los antecedentes de la IBN para prestar servicios en esta esfera y adaptarse al cambio climático, al tiempo que se brindan otros beneficios ambientales, sociales y económicos. Se encarga de proporcionar datos, capacitación y valoraciones personalizadas de proyectos de IBN, que se sustentan en las últimas innovaciones en pensamiento sistémico y modelización financiera.

El Centro es una iniciativa que dirige el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IISD), con el apoyo financiero del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) y la Fundación MAVA, en asociación con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

IISD
nbi.iisd.org
@iisd_sustinfra

ONUDI
unido.org
@unido

GEF
thegef.org
@theGEF

MAVA
mava-foundation.org
@MavaFdn

Valoración de activos sostenibles de Parques del Río Norte en Medellín, Colombia

Noviembre 2023

Nathalia Niño, Marco Guzzetti, y Ronja Bechauf

Foto: iStock

El Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IISD) se responsabiliza por las opiniones, los datos estadísticos y los cálculos que contienen las publicaciones, por lo que no debe considerarse que estos reflejan necesariamente el parecer de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO, por sus siglas en inglés) o el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), ni que estos organismos los ratifiquen. Aunque se pondrá el máximo cuidado para mantener la exactitud de la información que aquí se expone, la ONUDI no asume ninguna responsabilidad por las consecuencias que puedan derivar del uso del material.

NATURE-BASED INFRASTRUCTURE
GLOBAL RESOURCE CENTRE

Apoyado por

Dirección

En colaboración con

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a Esther Wegner, Martina Ferrarino y Norma Cárdenas de la Facilidad de Financiamiento de Ciudades C40 (CFF), por sus aportes y compromiso a lo largo de esta evaluación. También agradecemos el apoyo técnico y los comentarios de Rubén Darío López, Astrid Barrera, Marcela Aristizabal, Joan Mauricio Bustamante, Andrés Felipe Sierra, Jenyfer Botero, María Fernanda Uribe, Rodrigo Alberto Castaño de la Secretaría de Infraestructura Física (SIF) de Medellín, Juan Esteban Monsalve y Marcela Noreña de la Secretaría de Medio Ambiente (SMA) de la ciudad de Medellín.

Andrea M. Bassi, Liesbeth Casier y Benjamin Simmons revisaron el análisis y el informe, y brindaron comentarios valiosos.

C40 CITIES FINANCE FACILITY

Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación

Este reporte forma parte de una colaboración más amplia entre la Facilidad de Financiamiento de Ciudades C40 y IISD para apoyar la fase de preparación de proyectos IBN en ciudades de Colombia y Sudáfrica. La Facilidad de Financiamiento de Ciudades C40 y IISD están colaborando en la creación de evaluaciones económicas integradas de proyectos urbanos de IBN para apoyar su ejecución y mostrar el valor de la naturaleza para las ciudades.

Contribuciones de autores

Todos los autores se enumeran en orden alfabético. Marco Guzzetti realizó el análisis espacial y elaboró el anexo técnico correspondiente. Nathalia Niño desarrolló el modelo de Excel basado en pensamiento sistémico y el análisis de costo-beneficio integrado, coordinó las comunicaciones con C40 CFF y la ciudad de Medellín y dirigió la redacción del informe. Ronja Bechauf aportó a la redacción de algunas secciones del informe.

Resumen ejecutivo

Medellín —la segunda ciudad más grande de Colombia— se ha desarrollado rápidamente en las últimas décadas. Además de los retos que supone el cambio climático, Medellín se enfrenta a las consecuencias del creciente desarrollo urbano. Las riberas del río Medellín, que atraviesa la ciudad, anteriormente estaban rodeadas de espacios verdes. Hoy en día, las riberas de ambos lados del río están ocupadas por construcciones formales e informales, que se erigen en forma de viviendas y comercios, lo cual no solo contribuye a su erosión, sino también reduce las zonas verdes urbanas. El proyecto Parques del Río Norte pretende abordar y mitigar estos problemas.

La ciudad tiene la visión a largo plazo de construir un parque verde que se extienda a lo largo del río por las zonas urbanas de Medellín. En la actualidad, solo se ha completado una zona central del parque de 75.000[1] m^2. Nuestra evaluación se centra en la propuesta de ampliación del parque hacia el norte con 300.000 m^2 (30 hectáreas) más. La primera fase de este proyecto abarca las primeras 7 de las 30 hectáreas del parque, y ya se ha obtenido la financiación y aprobación para avanzar con 2,6 de estas 7 ha. Una vez completadas estas 2,6 ha, la ciudad buscará financiación para las hectáreas restantes.

El proyecto está a cargo de la Secretaría de Infraestructura Física (SIF) de Medellín. Del diseño, la construcción y ejecución de las obras se ocupa la Empresa de Desarrollo Urbano (EDU), empresa del conglomerado público del distrito. Por su parte, C40 CFF brinda asistencia técnica y coopera con la ciudad para la preparación general del proyecto y la futura conexión con posibles financiadores.

Parques del Río Norte busca ofrecer espacios verdes atractivos para caminar y andar en bicicleta, así como mejorar la calidad del aire y del agua, y aumentar los hábitats naturales para la biodiversidad en una ciudad densamente poblada. El proyecto brindará múltiples beneficios a los residentes de Medellín, especialmente a los habitantes de sectores aledaños (comunas 2, 4 y 5), y hará importantes aportes sociales, ya que la creación de espacios públicos agradables fomentará la cohesión de la comunidad y aumentará la conciencia ambiental.

Utilizamos un análisis espacial, modelos basados en Excel y un análisis de costo-beneficio integrado para calcular los resultados sociales, económicos y ambientales de invertir en espacios verdes. Comparamos este escenario de IBN con un escenario en el que no se ejecuta el proyecto. Dado que el proyecto de infraestructura basada en la naturaleza se emplaza a la vera del río Medellín, se puede replicar a lo largo de todo el río en la ciudad, así como en otras ciudades del mundo con características similares.

Evaluamos las intervenciones propuestas en Medellín como IBN; es decir, consideramos que Parques del Río Norte —a lo largo del río Medellín— es una inversión en infraestructura diseñada para hacer frente a las inundaciones, la contaminación y el calor urbano como una alternativa a la infraestructura convencional. Es importante aclarar que muchas organizaciones, entre ellas el C40 CFF, se refieren a estos proyectos como soluciones basadas en la naturaleza (SBN) (véase el apéndice A).

[1] En este estudio, los puntos se usan para la separación de miles y las comas, para la separación de decimales.

En el análisis de costo-beneficio (ACB) integrado se estiman y monetizan indicadores sociales, económicos y ambientales de Parques del Río Norte durante 30 años. Esto nos permite cuantificar externalidades tanto tangibles como intangibles del proyecto y, de este modo, aportar un punto de vista más sistémico (véase la tabla 1).

Tabla 1. Externalidades incluidas en la evaluación

Costos	Costos evitados	Beneficios agregados
Costos de construcción del proyecto	Costo evitado de emisiones de carbono	Ingresos laborales por obras de construcción y mantenimiento
Costos de operación y mantenimiento del proyecto	Gasto energético evitado por reducción de isla de calor	Ingresos por operaciones del parque
	Daños por inundaciones evitados y costo de reconstrucción	Aumento de ingresos de minoristas
	Costo evitado de la contaminación del aire	Aumento del valor de la propiedad
		Beneficios para la salud por la práctica de actividad física

Resultados clave

- Parques del Río Norte, con una extensión de 30 ha, es una inversión económicamente viable que genera 1,67 pesos colombianos (COP) en beneficios sociales, ambientales y económicos por cada COP invertido, en un período de 30 años.
- La IBN reduce efectivamente los riesgos de inundación y erosión alrededor del río Medellín. En la zona norte de influencia del parque, que comprende un área de amortiguamiento[2] de 250 metros a cada lado del parque, la retención de agua aumenta en un 57,68% y evita daños por inundaciones en propiedades e infraestructura por un valor de 1.312,08 miles de millones de COP de aquí a 2053.
- En una ciudad densamente poblada, los nuevos espacios verdes hacen una gran diferencia. Los 300.000 m^2 de Parques del Río Norte generan un aumento de la superficie de espacio verde por habitante (m^2/persona) de 1,32 a 1,44, si se incluye al total de habitantes de Medellín[3]. Además, mejora en un 86,43% la calidad del hábitat y aumenta el almacenamiento de carbono en un 103,75% en el área de amortiguamiento de aquí a 2053.

[2] El área de amortiguamiento es un banco adicional de 250 metros a cada lado del corredor que es considerada como el área de impacto directo del proyecto Parques del Río Norte (véase el ejemplo en la figura 11).

[3] Datos utilizados para el cálculo: 1) población total de Medellín= 2.569.000 habitantes; 2) espacio público antes de la ejecución del proyecto= 3.391.080 m^2 (lo que se traduce en 1.32 m^2/habitante); 3) espacio público después de la ejecución del proyecto= 3.691.080.

- El parque revitalizará los barrios cercanos a las riberas del río al aumentar el valor de las propiedades de la zona de amortiguamiento en 148,88 miles de millones de COP e impulsar los ingresos de comerciantes minoristas en 1.336,83 miles de millones de COP.
- Las personas que viven en las 2.683 propiedades dentro del área de amortiguamiento de Parques del Río Norte se beneficiarán directamente de la reducción de las temperaturas porque disminuirá el gasto energético en 69,87 millones de COP; al reducirse la contaminación del aire, se evitarán 125,91 millones de COP en costos de salud y se ahorrará en el costo social del carbono por un valor de 2,15 miles de millones de COP.
- El parque contará con rutas atractivas para caminar y andar en bicicleta, lo cual genera beneficios en materia de seguridad y salud de las personas a partir de la actividad física por un valor de 2.080,50 miles de millones COP, y nuevos espacios que unen a las comunidades y fomentan la conciencia ambiental.

Estos resultados se pueden utilizar para presentar argumentos a favor de la IBN para la reducción del riesgo de inundaciones, sensación térmica y contaminación, así como referencia en las estrategias de financiamiento de futuras fases del parque.

Los resultados más detallados del análisis de costo-beneficio se muestran en la tabla 2, la cual presenta la valoración en términos monetarios para cada externalidad considerada en este estudio. La primera columna indica los valores sin descontar en miles de millones de COP, la segunda columna indica los valores descontados a una tasa del 3,5% anual en miles de millones de COP y la tercera columna presenta los valores en millones de USD.

Tabla 2. Análisis de costo-beneficio (ACB) integrado

	Valores sin descuento en miles de millones de COP[4]	Valores descontados en miles de millones de COP (3,5%)	Valores descontados en millones de USD[5]
Costos totales	**3.730,52**	**2.984,50**	**710,60**
Construcción	3.001,21	2.575,28	613,16
Operación y mantenimiento	729,31	409,23	97,43
Beneficios agregados totales	**6.545,74**	**3.665,35**	**872,70**
Ingresos laborales por construcción y mantenimiento	37,66	22,27	5,30
Ingresos por operaciones del parque	136,99	76,87	18,30
Ingresos de minoristas	2.442,48	1.336,83	318,29

[4] Para esta evaluación, los billones se utilizan según el sistema estadounidense como 10e9 (1.000.000.000), lo cual correspondería a miles de millones para Colombia.

[5] La tasa de cambio utilizada es de 4.200 COP/USD.

	Valores sin descuento en miles de millones de COP[4]	Valores descontados en miles de millones de COP (3,5%)	Valores descontados en millones de USD[5]
Aumento del valor de la propiedad	181,10	148,88	35,45
Beneficios para la salud por la práctica de actividad física	3.747,50	2.080,50	495,36
Costos evitados totales	**2.341,31**	**1.314,43**	**312,96**
Emisiones de carbono	2,59	2,15	0,51
Gasto de energía	0,12	0,07	0,02
Daños por inundaciones	2.338,35	1.312,08	312,40
Contaminación del aire	0,24	0,13	0,03
Beneficios netos	**5.156,53**	**1.995,27**	**475,06**
Relación costo-beneficio (RBC)	**2,38**	**1,67**	**1,67**

Nota: Los valores presentados en la tabla son acumulativos entre 2023 y 2053 (30 años de análisis).

Asimismo, las distintas partes interesadas pueden utilizar estos resultados para sustentar y atraer inversiones que se vuelquen hacia la infraestructura basada en la naturaleza, como se indica en la tabla 3. Por ejemplo, C40 CFF y la SIF pueden recurrir a estos resultados para buscar inversores para todo el proyecto Parques del Río Norte e, incluso, para la zona sur del proyecto que se espera construir en algún momento. En general, estos resultados demuestran el valor agregado de los parques integrados con infraestructura verde y pueden respaldar las decisiones de financiar proyectos similares en otros lugares.

Tabla 3. Cómo las partes interesadas y tomadores de decisiones pueden utilizar los resultados de esta evaluación

Partes interesadas	Papel en el proyecto	¿Cómo puede la parte interesada utilizar los resultados de la evaluación?
Facilidad de Financiamiento de Ciudades C40	Apoyo y asistencia técnica al proyecto Parques del Río Norte en la preparación técnica y financiera del proyecto	C40 CFF puede utilizar los resultados de esta evaluación en Colombia para ayudar a defender proyectos urbanos de IBN en otros lugares. Este informe puede ser usado por C40 CFF para demostrar los impactos positivos que tienen las IBN en las ciudades y apoyar proyectos similares, además de servir como base para la atracción de inversores que hagan posible la construcción de toda la extensión de Parques del Río Norte.

Partes interesadas	Papel en el proyecto	¿Cómo puede la parte interesada utilizar los resultados de la evaluación?
Secretaría de Infraestructura Física (SIF)	Se ocupa del diseño y la ejecución de Parques del Río Norte	SIF dirige el proyecto en su etapa inicial y se encarga de supervisar las actividades que lleva a cabo la EDU. Puede utilizar los resultados de este informe para atraer inversores y extender el parque a toda la zona norte, no solo la zona aprobada hasta el momento. Además, los resultados le sirven como precedente para sustentar proyectos similares, que utilicen IBN para solucionar problemas de la ciudad.
Empresa de Desarrollo Urbano (EDU)	Empresa responsable del diseño de Parques del Río Norte y de la ejecución de las obras	EDU, empresa encargada del diseño y la construcción del parque, puede usar los resultados de esta evaluación para sustentar las decisiones sobre la continuación de la construcción del parque hasta los 300.000 m^2.
Donantes e inversores	Financiamiento de iniciativas de infraestructura basada en la naturaleza	Los inversores y donantes pueden utilizar los resultados de esta evaluación para sustentar las decisiones sobre la financiación de la adaptación y mitigación del clima.
Sociedad civil	Participación en la planificación y colaboración con el buen uso y mantenimiento del parque	Para las organizaciones de la sociedad civil, los resultados pueden fomentar la adopción de la IBN como estrategia de adaptación al cambio climático y mitigación de sus efectos. La sociedad civil también puede promover el buen uso del parque y las actividades de mantenimiento.
Gobierno municipal, regional y nacional	Apoyo en la financiación de proyectos de infraestructura basada en la naturaleza y replicación de estas iniciativas en otros territorios	Este estudio puede servir para orientar la ejecución del proyecto Parques del Río Norte. También puede servir para dar a conocer los beneficios de una obra de IBN para futuros proyectos similares. El Gobierno puede usar los resultados para estimar los efectos que los parques con infraestructura verde tienen en la mitigación de los daños ocasionados por las inundaciones.

Tabla de contenidos

1.0 Introducción **1**

2.0 Metodología **3**

2.1 Diagrama de bucle causal 3

2.2 Análisis espacial explícito 6

2.3 Análisis de costos y beneficios basado en Excel 7

3.0 Escenarios y supuestos **12**

3.1 Datos climáticos 13

4.0 Resultados **16**

4.1 Aspectos destacados 16

4.2 Análisis de costo-beneficio integrado 17

5.0 Conclusión **24**

6.0 Referencias **27**

Apéndice A. ¿Soluciones basadas en la naturaleza o infraestructura basada en la naturaleza? **29**

Lista de figuras

Figura 1. Foto del río Medellín en la zona norte de la ciudad, fluyendo de norte a sur 2

Figura 2. Diagrama de bucle causal que representa las principales dinámicas que afectan el desarrollo urbano en Medellín en los barrios cercanos al río Medellín 5

Figura 3. Mapa de uso del suelo/cobertura del suelo, escenario de referencia 6

Figura 4. Mapa de uso del suelo/cobertura del suelo, escenario Parques del Río Norte 7

Figura 5. Situación actual de Medellín a lo largo del río, foto de sur a norte 12

Figura 6. Render de la situación futura de Medellín a lo largo del río después de la ejecución de Parques del Río Norte; comprende Parques del Río Centro, en orientación de sur a norte 12

Figura 7. Temperatura media mensual en Medellín, fuente: Climate Data Store de Copernicus 14

Figura 8. Precipitación promedio en Medellín (2000-2020), fuente: Climate Data Store de Copernicus 14

Figura 9. Precipitación promedio en Medellín (2040-2060) 15

Figura 10. Valores de retención de escorrentía (m^3) antes de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento 19

Figura 11. Valores de retención de escorrentía (m^3) después de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento 20

Figura 12. Resultados del modelo de carbono antes de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento 20
Figura 13. Resultados del modelo de carbono después de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento 21
Figura 14. Índice de mitigación del calor antes de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento 22
Figura 15. Índice de mitigación de calor después de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento 22
Figura 16. Puntuaciones de calidad del hábitat antes de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento 23
Figura 17. Puntuaciones de calidad del hábitat después de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento 23
Figura 18. Beneficios de Parques del Río Norte considerados en la evaluación 25

Lista de tablas

Tabla 1. Externalidades incluidas en la evaluación v
Tabla 2. Análisis de costo-beneficio (ACB) integrado vi
Tabla 3. Cómo las partes interesadas y tomadores de decisiones pueden utilizar los resultados de esta evaluación vii
Tabla 4. Metodología de cuantificación de externalidades para Parques del Río Norte 8
Tabla 5. Análisis de costo-beneficio (ACB) integrado 17
Tabla 6. Resumen de los resultados del análisis espacial en el área de amortiguamiento 19

Glosario

Descuento: Un proceso financiero para determinar el valor presente de un valor futuro en efectivo.

Indicador: Parámetros de interés para una o varias partes interesadas, que proporcionan información sobre el desarrollo de variables clave en el sistema a lo largo del tiempo y tendencias que se desarrollan bajo condiciones específicas (PNUMA, 2014).

Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones (InVEST): Un conjunto de modelos utilizados para mapear y valorar los bienes y servicios de la naturaleza que sostienen y satisfacen las necesidades de la vida humana. Ayuda a explorar cómo los cambios en los ecosistemas pueden conducir a cambios en los flujos de los diversos beneficios para las personas (Natural Capital Project, 2019).

Metodología: El enfoque teórico que se utiliza para el desarrollo de diferentes tipos de herramientas de análisis y modelos de simulación. Este conjunto de conocimientos describe tanto los supuestos subyacentes utilizados como los instrumentos cualitativos y cuantitativos para la recopilación de datos y la estimación de parámetros (PNUMA, 2014).

Transparencia del modelo: El grado en que la estructura y las ecuaciones del modelo son accesibles y permiten relacionar directamente el comportamiento del modelo (es decir, los resultados numéricos) con los componentes estructurales específicos del modelo (PNUMA, 2014).

Validación del modelo: El proceso de evaluar el grado en que el comportamiento del modelo (es decir, los resultados numéricos) es consistente con el comportamiento observado en la realidad (es decir, estadísticas nacionales, bases de datos establecidas) y la evaluación de si la estructura del modelo desarrollado (es decir, ecuaciones) es aceptable para capturar los mecanismos subyacentes al sistema que se estudia (PNUMA, 2014).

Beneficios netos: El importe acumulado de beneficios monetarios acumulados en todos los sectores y agentes a lo largo de la vida útil de las inversiones en comparación con la línea de base, que se modifica en función del escenario de intervención.

Escenarios: Expectativas sobre posibles eventos futuros utilizados para analizar posibles respuestas a estos desarrollos nuevos y futuros. En consecuencia, el análisis de escenarios es un ejercicio especulativo en el que se identifican, explican y analizan varias alternativas de desarrollo futuro, así como las causas que pueden originarlas y las consecuencias que estos cambios futuros pueden tener en nuestro sistema (por ejemplo, un país o una empresa).

Modelo de simulación: Los modelos pueden considerarse como mapas sistémicos en el sentido de que son simplificaciones de la realidad que ayudan a reducir la complejidad y describen, en su núcleo, cómo funciona el sistema. Los modelos de simulación son cuantitativos por naturaleza y pueden construirse utilizando una o varias metodologías (PNUMA, 2014).

1.0 Introducción

Medellín está lidiando con los desafíos que plantean los procesos de urbanización. Esta ciudad — ubicada en la región de Antioquia— es la segunda urbe más grande de Colombia y es el hogar del río Medellín, que atraviesa la ciudad fluyendo de sur a norte. Históricamente, después de la segunda mitad del siglo XX, el río ha sido el eje que estructura el sistema vial de la ciudad y ha estado proporcionando valiosos servicios ecosistémicos a la comunidad local. Sin embargo, debido al creciente desarrollo urbano alrededor del río Medellín sin la planificación adecuada, las riberas del río han sido ocupadas cada vez más por viviendas y puestos de comercio. Estas dinámicas de urbanización a lo largo del río se han dado tras su canalización en 1940, a raíz de los constantes episodios de desbordamiento que se presentaban.

El crecimiento urbano en las laderas del río ha traído aparejadas diversas consecuencias, como el aumento en la erosión del río, la disminución de espacios verdes, la contaminación del agua, islas de calor, más riesgo de inundaciones y otras problemáticas que afectan el bienestar de las comunidades locales. Por ejemplo, en el caso particular de las inundaciones, sus efectos se pueden ver agravados por la falta de zonas verdes y suelos con poca permeabilidad dada la alta presencia de viviendas.

Una de las soluciones propuestas para abordar las problemáticas mencionadas es la construcción de un parque con infraestructura basada en la naturaleza a lo largo del río. El proyecto es liderado por la Secretaría de Infraestructura Física (SIF) de la ciudad de Medellín, que supervisa las actividades de la Empresa de Desarrollo Urbano (EDU), la empresa a cargo del diseño y la construcción de los primeros 70.000 m^2. Adicionalmente, el Facilidad de Financiación de Ciudades C40 brinda asistencia técnica al proyecto durante la preparación técnica y financiera.

La primera etapa del proyecto Parques del Río Norte se compone de 26.312 m^2, la cual se espera expandir a 300.000 m^2 para atravesar toda la zona norte de la ciudad a lo largo del río. Específicamente, el parque estará ubicado en donde hoy se encuentran los barrios Palermo, Sinaí y La Frontera, contiguos al río en el ala izquierda si se mira de norte a sur (véase la figura 1). De estos barrios, La Frontera es el que más presenta riesgos de inundación por su cercanía al río.

En la zona norte de Medellín, cerca de 1 millón de residentes en las comunas 2, 4 y 5 podrían beneficiarse directamente del parque de 30 hectáreas. Si el parque se expandiera a lo largo de todo el río —incluida la parte ya construida en el centro de la ciudad (75.000 m^2)—, los beneficios se extenderían a una población mucho mayor, puesto que comprendería tanto a quienes viven en zonas cercanas al parque como a quienes circulan por la zona, como, por ejemplo, a los usuarios del metro, metrocable y demás medios de transporte de la ciudad.

El parque brindará múltiples beneficios a los residentes de Medellín. Este ofrecerá espacios verdes atractivos para caminar y andar en bicicleta, mejorará la calidad del aire y el agua y reducirá el calor extremo, así como aumentará los hábitats naturales para la biodiversidad en la ciudad densamente poblada. Parques del Río Norte también contará con espacios

comerciales y equipamientos públicos que son los que garantizan la apropiación y el uso del parque. Además, puede ofrecer importantes beneficios sociales al proporcionar espacios públicos agradables que apoyarán la cohesión de la comunidad y aumentarán la conciencia ambiental.

En este informe, utilizamos una combinación de análisis espacial, modelos basados en pensamiento sistémico y análisis de costo-beneficio integrado para valorar los resultados sociales, económicos y ambientales de invertir en espacios verdes. Comparamos este escenario de IBN con un escenario de referencia, en el cual el proyecto no se ejecuta. Dado que el proyecto está ubicado a lo largo de la ribera del río Medellín, una evaluación sistémica contribuirá a implementar la IBN en la segunda y tercera fase y replicarla en el Plan Maestro existente a lo largo de todo el río en la ciudad y en otras ciudades del mundo con características similares.

Figura 1. Foto del río Medellín en la zona norte de la ciudad, fluyendo de norte a sur

Fuente: Empresa de Desarrollo Urbano (2023)

2.0 Metodología

El proceso de evaluación comienza con el desarrollo de un mapa del sistema, llamado diagrama de bucle causal (CLD). Este diagrama muestra visualmente cómo las partes importantes del sistema interactúan entre sí. Con base en el diagrama, identificamos los servicios ecosistémicos clave que cuantificamos, utilizando un análisis espacialmente explícito. El diagrama de bucle causal también brinda información para elaborar un modelo cuantitativo basado en Excel y revela indicadores que deben incluirse en un análisis de costo-beneficio (ACB) integrado.

2.1 Diagrama de bucle causal

En el diagrama de bucle causal (CLD) para el proyecto Parques del Río Norte (véase la figura 2), se muestran las dinámicas que han impulsado el desarrollo urbano alrededor del río Medellín a través de bucles de refuerzo. Asimismo, se ilustran los efectos secundarios de este desarrollo en el medio ambiente, la sociedad y la economía a través de bucles de equilibrio.

Los bucles de refuerzo, denotados con la letra "R", representan bucles que contienen dinámicas que se refuerzan entre sí y tienden a crecer más fuertes a través del tiempo cuando se produce un cambio. Por ejemplo, el bucle R1 muestra cómo cuanto mayor es la población urbana, mayor es la necesidad de desarrollo urbano, y cuanto más desarrollo urbano hay, mayor es el aumento de la población, ya que es más atractivo vivir en la ciudad. Particularmente el bucle R2 muestra cómo el área urbana de Medellín se expandió a lo largo y alrededor del río Medellín con el tiempo. Esto demuestra que el incremento en el desarrollo urbano en general se deriva en una mayor expansión urbana alrededor del río. Esta expansión urbana alrededor del río da como resultado más asentamientos y comercios, lo que aumenta la valorización de los barrios circundantes y atrae inversiones tanto del sector público como del privado, y genera aún más desarrollo urbano en la ciudad y más expansión urbana alrededor del río. Esta expansión ocurre tanto de manera formal como informal según los barrios. Estos procesos de expansión a través del tiempo en la zona norte del río pudieron haberse acrecentado por los desplazamientos que se dan a causa del conflicto armado y la pobreza rural.

Los bucles de balance, denotados con la letra “B”, son bucles que buscan lograr una meta o equilibrio mediante el balance de las fuerzas del sistema. En el caso de Medellín, los efectos secundarios del desarrollo urbano actúan como fuerzas de balance, que, en cierto punto, terminan limitando el desarrollo alrededor del río. Uno de los efectos secundarios de esta expansión urbana es la aparición de asentamientos informales, que presentan dinámicas particulares y diferenciadas de las que pueden presentar los asentamientos formales, específicamente en cuanto a la inversión. El bucle B1 muestra cómo los asentamientos informales requieren de más inversión pública (por ejemplo, redes de servicios básicos), con la cual, a su vez, se busca regular y reducir el desarrollo y la expansión informal para frenar los asentamientos informales alrededor del río. Por otro lado, el bucle R3 explica cómo los asentamientos informales afectan la inversión del sector privado. Los asentamientos informales, debido a la falta de seguridad jurídica y regulaciones, limitan la inversión de capital privado, lo cual desanima la inversión en general, y esto, a su vez, puede fomentar la expansión de asentamientos informales.

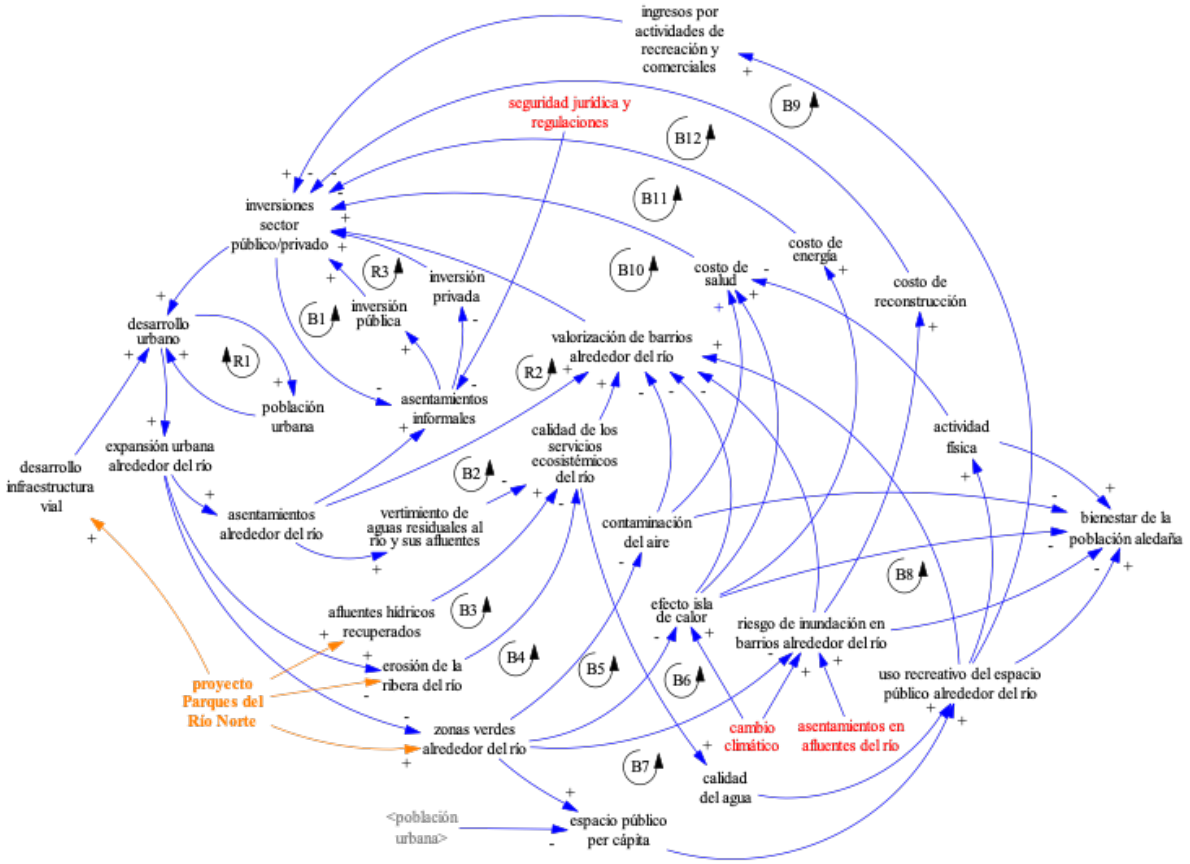
En cuanto a los efectos secundarios de la expansión urbana alrededor del río Medellín, encontramos que esta repercute en la calidad de los servicios ecosistémicos del río por dos medios principales: el vertimiento de aguas residuales al río y sus afluentes (B2) y la erosión de las riberas del río (B3). Este deterioro en la calidad de los servicios ecosistémicos resta el atractivo y desvaloriza los barrios alrededor del río (por ejemplo, por malos olores y pérdida de biodiversidad) y, en consecuencia, podría disminuir la inversión y el desarrollo urbano en dichas zonas. Otro efecto derivado de la disminución de la calidad de los servicios ecosistémicos es la reducción de la calidad del agua del río Medellín (B8). Esto puede llevar a que el río se perciba como sucio y genere mal olor, que afecta a los habitantes y aquellos que usan las áreas públicas existentes y disminuye el uso recreativo del espacio público alrededor del río. De esta manera, se desvaloriza también la zona, lo cual desanima la inversión y el desarrollo urbano, reduciendo la expansión urbana alrededor del río.

Con la expansión urbana alrededor del río viene una mayor ocupación de la tierra por asentamientos, que se traduce en menores áreas verdes. Esta disminución de espacios verdes tiene varios efectos como incremento de la contaminación del aire (B4), ya que hay menos captura de CO_2 y partículas contaminantes; aumento del efecto isla de calor urbana (B5) —porque hay menos árboles para hacer sombra—; mayor riesgo de inundaciones de los vecindarios alrededor del río (B6), debido a la menor capacidad de retención de aguas pluviales, y disminución del espacio público per cápita (B7). La disminución en el uso recreativo del espacio público alrededor del río también se acompaña de una disminución de los ingresos por actividades recreativas y comerciales (B9), lo que reduce la inversión en el sector y su desarrollo. Adicionalmente, estos problemas pueden empeorar por varios factores externos (variables en color rojo). Uno de ellos es el cambio climático, que produce aumento de la temperatura y sus variaciones, y las precipitaciones y su variabilidad, con el consiguiente incremento del efecto de calor y el riesgo de inundaciones, respectivamente. Otro factor es la formación de asentamientos en los afluentes del río Medellín, lo cual afecta la capacidad de los afluentes y sus alrededores para retener aguas pluviales y aumenta el flujo de agua que llega al río, así como el riesgo de inundaciones de las zonas aledañas. Todos estos efectos secundarios desalientan la inversión y el desarrollo urbano en estas zonas, ya que desvalorizan y quitan atractivo a los barrios alrededor del río.

La expansión urbana a lo largo del río Medellín también genera costos. Por ejemplo, tanto la contaminación del aire como el aumento del efecto isla de calor y la falta de actividad física por ausencia de espacios públicos (B10) pueden incrementar los costos asociados a la salud para los habitantes de las zonas aledañas. Otro costo asociado es el costo de la energía (B11), que aumenta con el efecto isla de calor, ya que los edificios y casas aledañas requieren posiblemente un mayor uso de ventiladores. Por último, el riesgo de inundaciones genera costos de reconstrucción por daños a la infraestructura (B12). Todos estos costos adicionales limitan el potencial de inversión tanto del sector público como del privado, lo que da como resultado un menor desarrollo. Por otro lado, las acciones de prevención y reconstrucción requerirán más inversión del sector público, lo cual podría disminuir la inversión destinada a otros proyectos que traigan mayor desarrollo a los barrios ubicados a los alrededores del río.

El proyecto Parques del Río Norte (variable en color naranja) tiene varios efectos positivos en la dinámica descrita anteriormente. Este proyecto evitaría muchos de los efectos secundarios de la expansión urbana. Entre los impactos del proyecto se encuentran la recuperación de afluentes del río, la reducción de la erosión de las riberas del río, el aumento de áreas verdes alrededor del río y la restauración de la naturaleza. Todos estos impactos buscan mejorar la calidad de los servicios ecosistémicos y, por lo tanto, el atractivo de los barrios ubicados alrededor del río. Además, se espera que la contaminación del aire y el efecto isla de calor disminuyan, el riesgo de inundaciones sea menor, y aumente el espacio público en los alrededores del río. Finalmente, el proyecto tiene un componente vial que corresponde a la construcción de un soterrado que tiene como objetivo mejorar las condiciones del tráfico en el área al tiempo que crea más espacios verdes, lo que puede conducir a un mayor desarrollo urbano y más sostenible.

Figura 2. Diagrama de bucle causal que representa las principales dinámicas que afectan el desarrollo urbano en Medellín en los barrios cercanos al río Medellín

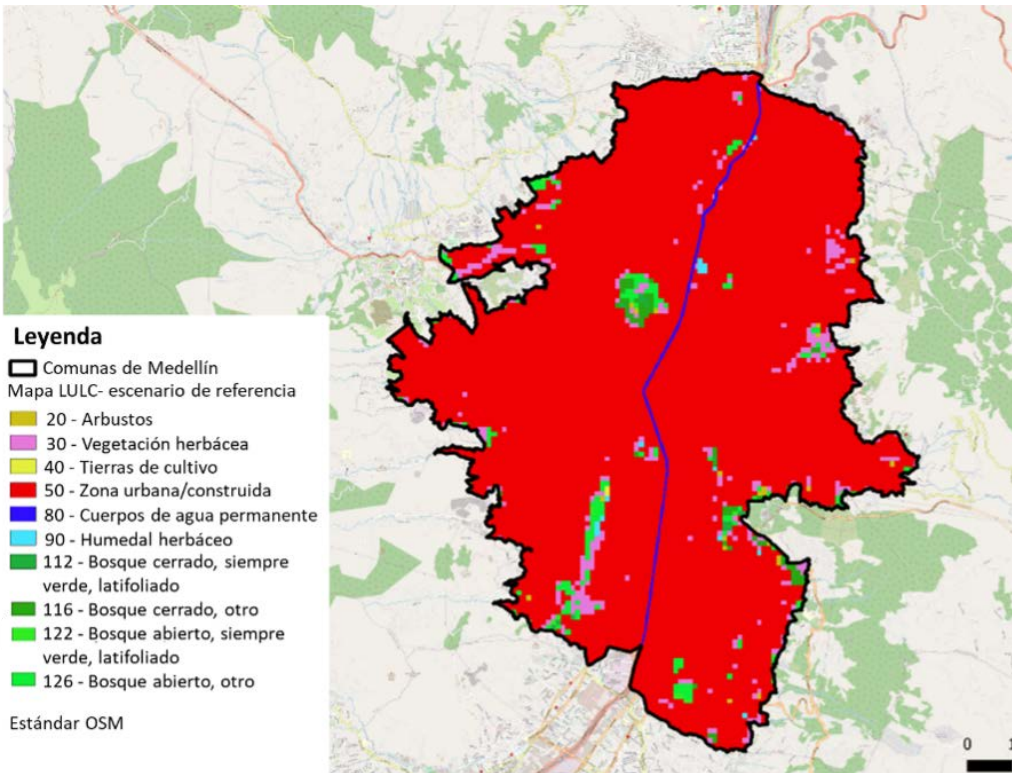


2.2 Análisis espacial explícito

El análisis espacialmente explícito realizado para esta evaluación se basa en el conjunto de modelos de Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones (InVEST). Estos modelos, desarrollados por Natural Capital Project de la Universidad de Stanford, utilizan mapas de uso de la tierra y la cubierta terrestre como insumo y cuantifican una amplia gama de servicios ecosistémicos[6].

Para esta evaluación, consultamos el servicio global de observación de la superficie terrestre del programa Copernicus[7] para descargar la cobertura terrestre del área de estudio en 2019, que se muestra en la figura 3, en la que se presenta el uso del suelo y la cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) del escenario de referencia. Se debe tener en cuenta que al mapa se añadió el río Medellín desde Geofabrik[8]. Se creó un segundo mapa de LULC, que incluía la parte norte de un parque de 30 hectáreas junto a las orillas del río Medellín, de las cuales el 60% del área (es decir, 18 ha) son zonas verdes, como se muestra en la figura 4.

Figura 3. Mapa de uso del suelo/cobertura del suelo, escenario de referencia

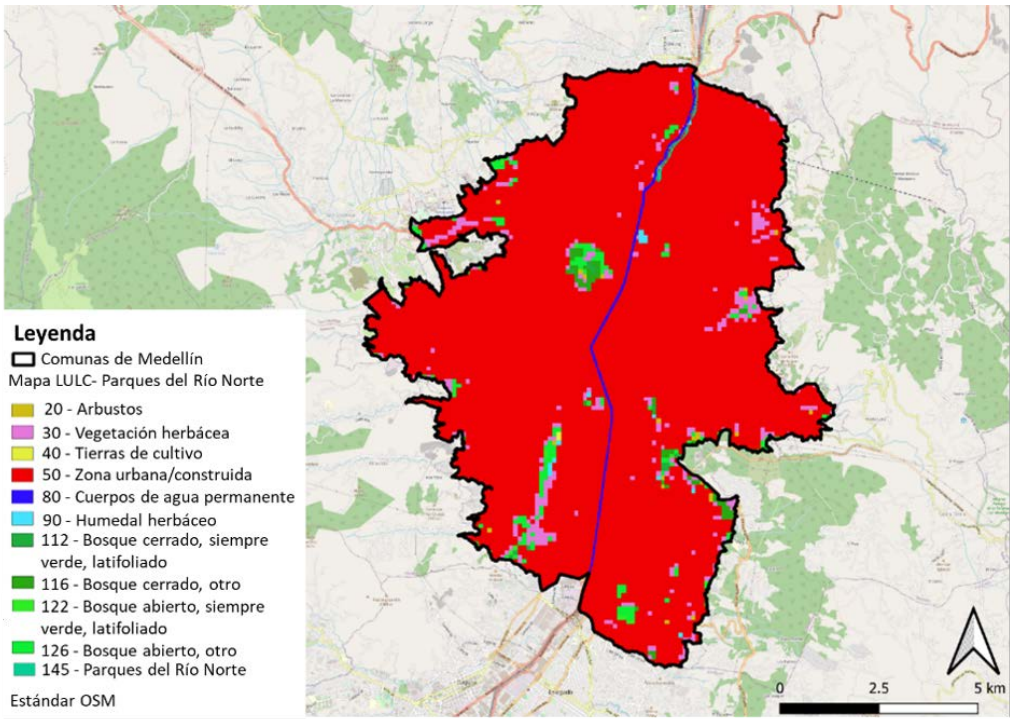


6 Véase: https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest.

7 Véase: https://land.copernicus.eu/global/products/lc.

8 Véase: https://download.geofabrik.de/.

Figura 4. Mapa de uso del suelo/cobertura del suelo, escenario Parques del Río Norte



2.3 Análisis de costos y beneficios basado en Excel

Se desarrolló un modelo de hoja de cálculo para la evaluación de la inversión requerida, los costos evitados y los beneficios agregados relacionados con la ejecución del proyecto. El enfoque utilizado para el cálculo de todos los parámetros del modelo se describe en la tabla 4 y los indicadores se enumeran a continuación:

- Costos e inversión
  - Costos de construcción de Parques del Río Norte
  - Costos de operación y mantenimiento de Parques del Río Norte
- Beneficios agregados
  - Ingresos laborales por construcción y mantenimiento del parque
  - Ingresos procedentes de las operaciones del parque
  - Beneficios para la salud por práctica de actividad física
  - Ingresos a minoristas
  - Valor de las propiedades
- Costos evitados
  - Emisiones de carbono evitadas
  - Gasto energético evitado
  - Daños por inundaciones y costos de reconstrucción
  - Costo evitado de contaminación del aire

Tabla 4. Metodología de cuantificación de externalidades para Parques del Río Norte

<table>
<tr><th>Indicador</th><th>Supuestos</th></tr>
<tr><td colspan="2">Inversión y costos</td></tr>
<tr><td>Costo de construcción</td><td>El costo de capital para la construcción del parque se calcula con base en la tasa de construcción (1000 m²/año) y el costo de construcción por m². Hasta 2026, se tiene establecida la ejecución del plan de construcción del parque (Alcaldía de Medellín, 2023). A partir de 2027, el cronograma de construcción se asume y valida con el equipo de SIF. El cronograma de construcción queda de la siguiente manera para completar 300.000 m²:
<table>
<tr><th>Año</th><th>2023</th><th>2024</th><th>2025</th><th>2026</th><th>2027</th><th>2028</th><th>2029</th><th>2030</th><th>2031</th><th>2032</th></tr>
<tr><td>Tasa de construcción (1000 m²/año)</td><td>15</td><td>30</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>25</td></tr>
</table>
El costo de capital por m² se basa en los costos de capital totales de la Alcaldía de Medellín (2023) para Parques del Río Centro, ya construido. Estos costos incluyen el soterrado (desarrollo vial) que pasaría por debajo del parque. Después de la división de los costos totales de capital por los metros cuadrados mencionados, el costo por m² arroja un valor de 9.546.518 COP.
Los costos de capital de Parques del Río Norte incluyen los siguientes ítems:
• Contrato de obra (incluye soterrado)
• Contrato de interventoría
• Contrato de apoyo a la supervisión
• Intervenciones silviculturales
• Adquisición de predios
• Estructuración técnica, legal y financiera
• Estudios y diseños del parque
• Traslado de redes eléctricas</td></tr>
<tr><td>Costos de operación y mantenimiento</td><td>Los costos de operación y mantenimiento (O&M) del parque se basan en el área total del parque construido y los costos promedio de mantenimiento previstos por m² por año. Los costos de O&M se basan en los costos anuales de O&M del proyecto Parques del Río Centro, divididos por el área del parque, que es de 75.000 m². El costo de O&M por m² da como resultado 96.533 COP/año/m².
Los costos de operación y mantenimiento de Parques del Río Norte incluyen los siguientes ítems:
• Mantenimiento del soterrado
• Mantenimiento del espacio público
• Mantenimiento de locaciones
• Mantenimiento de subestaciones
• Mantenimiento de silvicultura
• Consumibles
• Actividades y campañas de apropiación
• Costos administrativos
• Personal para la administración del parque
• Personal de vigilancia privada</td></tr>
</table>

Indicador	Supuestos
Costos evitados	
Costo evitado de la contaminación del aire	La plantación de árboles en el parque conducirá a una mayor cantidad de captura de las emisiones de materia particulada fina (MP2,5), en comparación con la línea de base. La reducción en las emisiones de MP2,5 se estima en función del número de árboles maduros (árboles de 4 años) y la captura promedio de MP2,5 por árbol. Para calcular los costos evitados de la contaminación del aire, se utilizan la consiguiente reducción en las emisiones de MP2,5 y el costo promedio para la salud por kg de contaminantes. Se calculó, según datos suministrados por la Alcaldía de Medellín (2023), que los árboles adicionales por m^2 tienen un valor de 0,007. Este cálculo se obtiene a partir de datos proporcionados sobre árboles existentes en una zona de estudio de 70.000 m^2, que son 645; y los árboles que se cortarán y reemplazarán son 274. Esto dará como resultado 487 nuevos árboles. La captura de MP2,5 por árbol por año es de 9,5 gramos (Zhang, Zixia, Xinlu y Jixi, 2021). Finalmente, el costo de salud por kg de MP2,5 es de 550.582,92 COP (CE Delft, INFRAS y Fraunhofer ISI, 2011).
Costo social del carbono	El cálculo de los costos sociales evitados del carbono a partir de la instalación del parque se basa en los resultados del análisis espacial (modelo de carbono InVEST). La cantidad total de carbono almacenado se convierte en CO_2 secuestrado por el parque, que se multiplica por un valor promedio por kg de CO_2 secuestrado. El valor por kg de CO_2 capturado es equivalente al costo social del carbono. Este valor es de 139,50 COP por kg de CO_2 (Nordhaus, 2017).
Gasto energético evitado	El espacio verde introducido por el parque reduce la temperatura urbana media en su proximidad; se supone que es un amortiguador de 250 m. La reducción de la temperatura permite disminuir el consumo total de electricidad de los edificios circundantes de manera proporcional a la reducción de la temperatura. El consumo de energía por edificio (casa familiar) por mes es de 157 MWh (UPME, 2019). El costo promedio por KWh en Colombia es de 287,71 COP (Vélez-Robledo, 2022).
Daños por inundaciones evitados/ costo de reconstrucción	La instalación del parque aumenta la capacidad de retención del agua urbana. Sirve como un amortiguador que absorbe parte de las aguas pluviales, lo que reduce las escorrentías y el consiguiente riesgo de inundaciones. La reducción del riesgo de inundaciones se estima utilizando modelos espaciales. Estos valores se emplean para calcular las reducciones en los daños por inundación resultantes de lluvias y del crecimiento del río. Los daños evitados se basan en la reducción de los edificios afectados y en el costo promedio de las reparaciones por casa o edificio afectado. El equipo de modeladores supone que el costo medio de reparación por daños a la propiedad es de 30 millones de COP, según valores estimados por la CEPAL y el BID (2012).

Indicador	Supuestos
Beneficios agregados	
Ingresos laborales de la construcción del parque y O&M	Los ingresos laborales de la construcción y mantenimiento del parque se basan en el empleo resultante del proyecto. El empleo total se multiplica por el salario promedio en Medellín y la proporción del ingreso que es discrecional. El desplazamiento de la construcción es una función de los m^2 construidos y el empleo medio por m^2, y da como resultado 0,00373 empleos por m^2 (Alcaldía de Medellín, 2023). Para el empleo de O&M, el factor de empleo (empleos por m^2) se estimó como el promedio de empleo de Parques del Río Centro, ya en funcionamiento. El valor corresponde a 0,00128 puestos de trabajo por m^2 (Alcaldía de Medellín, 2023).
Ingresos procedentes de las operaciones del parque	Los ingresos provenientes de las ventas en locales comerciales y las tarifas de estacionamiento se consideran ingresos resultantes del funcionamiento del parque. Los ingresos por arrendamiento se basan en el número de locales y el valor de arrendamiento de locales. Los ingresos correspondientes a las tarifas de estacionamiento se basan en el número de visitantes y la tarifa promedio de estacionamiento por día. Según datos recibidos por la Secretaría de Infraestructura (2023), se espera tener 7 locales comerciales en un área del parque de 70.000 m^2, al igual que 180 espacios de estacionamiento para vehículos y 60 espacios de estacionamiento para motos en la misma área. Estos números se expanden a los 300.000 m^2 que considera la totalidad de Parques del Río Norte para calcular los números finales. Para monetizar esta externalidad, se considera un valor de alquiler de locales comerciales de 45 m^2 de 3,9 millones de COP al mes, un valor de estacionamiento de 20.000 COP por vehículo/día y de 10.000 COP por moto/día, según los datos de la Secretaría de Infraestructura (2023).
Beneficios de la actividad física	Los beneficios de la actividad física se calculan utilizando la herramienta de evaluación económica de la salud (HEAT) de la Organización Mundial de la Salud. Los kilómetros caminados y pedaleados en el parque se utilizan para estimar el tiempo adicional de actividad física. La mayor práctica de actividad física permite reducir la mortalidad, cuyo calor se calcula utilizando el valor de la vida estadística (VVE). Este valor para Colombia es de 2,88 miles de millones de COP por vida (Mardones y Riquelme, 2018). Los efectos de la actividad física se calculan en función del número de usuarios que tenga Parques del Río Norte. Los usuarios se dividen en peatones y ciclistas. Según información proporcionada por la Alcaldía de Medellín (2023), las comunas que obtendrán un beneficio directo son la 2, 4 y 5, que albergan un total de 1.074.319 habitantes. Adicionalmente, se espera que un porcentaje de los usuarios de la estación del metro, llamada Acevedo, hagan uso del parque. El número de usuarios máximo de esta estación, por día, a 2022 fue de 50.532 personas. Según el valor de referencia de los habitantes de la comuna 2, 4 y 5, y usuarios de la estación Acevedo, se supone que, por día, un 4% de los 1.074.319 habitantes van a ser usuarios del parque. Por lo tanto, la cantidad total de peatones por día, una vez los 300.000 m^2 estén construidos, será de 44.994. En cuanto a los ciclistas, en 2021, en las comunas 2 y 4, se hicieron en promedio 9.318 viajes en bicicleta por día. De este número de ciclistas, se supone que un 50% van a pasar por Parques del Río Norte cuando crucen por la zona, en vez de utilizar la infraestructura vial existente. Esto arroja un número de viajes en bicicleta por día equivalente a 4.659.

Indicador	Supuestos
Aumento de los ingresos minoristas	Además de los ingresos generados dentro del parque, las tiendas en las proximidades del parque también se benefician de los visitantes. Se supone que los visitantes pasean por la zona, lo que conduce a un aumento del gasto. Los ingresos minoristas se basan en el número de visitantes que caminan, el gasto minorista promedio por año y un aumento en el gasto de transitabilidad del 42,2% (Rabl y Nazelle, 2012).
Aumento del valor de la propiedad	Se supone que los propietarios se benefician de la construcción de Parques del Río Norte, ya que los espacios verdes aumentan el valor de la propiedad. Las propiedades consideradas según el análisis espacial —en los 300.000 m^2 del parque y una zona de influencia directa de 250 metros a cada lado del parque— suman un total de 2.683. Para determinar el número de edificios de la zona de amortiguamiento, se utilizaron los archivos Shapefile de los edificios obtenidos de GeoFabrik[9]. El valor de las propiedades se calcula en función del número de edificios mencionados, un área por edificio de 100 m^2 y un valor por metro cuadrado de 4,5 millones de COP. El aumento de este valor se estima multiplicando el valor de las propiedades mencionado y un aumento porcentual promedio en el valor de la propiedad resultante del establecimiento de espacios verdes del 15% (Centre for green mobility, 2015).

Es importante aclarar que este estudio no hace un análisis detallado de las quebradas afluentes del río Medellín que desembocan en la zona del proyecto Parques del Río Norte. El presente estudio se enfoca únicamente en la zona de amortiguamiento antes mencionada. Para obtener resultados más específicos sobre los afluentes del río y su efecto en las inundaciones y permeabilidad del suelo, se requiere un estudio detallado de estos afluentes.

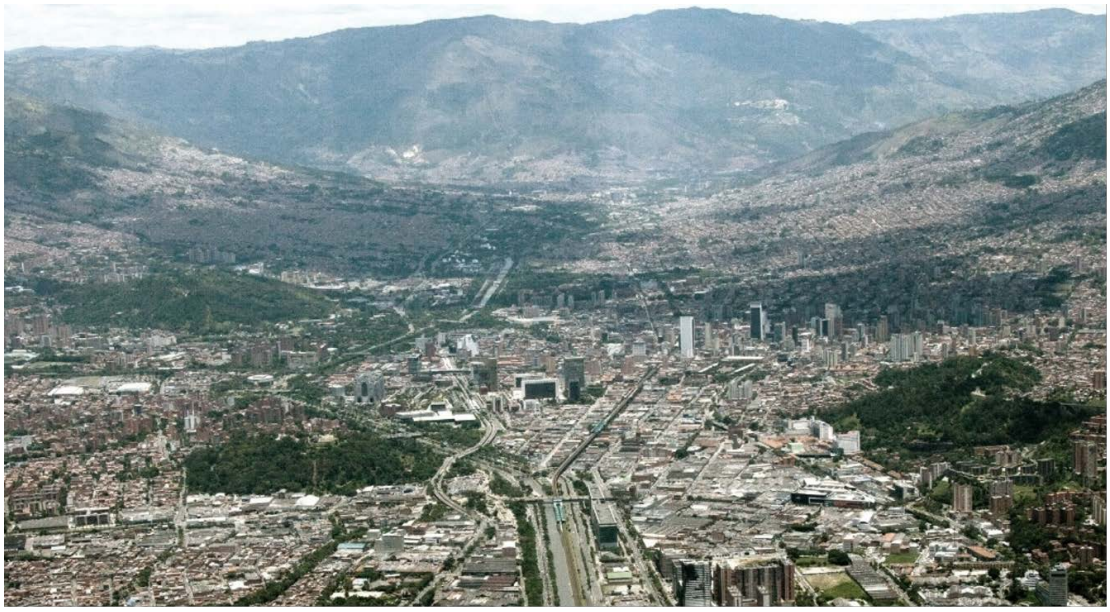
Asimismo, los resultados de este estudio se presentan bajo el supuesto de que Parques del Río Norte va a contar con el nivel de apropiación adecuado por parte de las comunidades beneficiadas, lo cual podría garantizar el volumen de peatones y ciclistas que se propone en este estudio. La construcción de Parques del Río Norte per se no asegura que dicha apropiación sea adecuada, por lo que se van a requerir procesos de acompañamiento por parte de los entes administrativos de la ciudad.

[9] Véase: https://download.geofabrik.de/.

3.0 Escenarios y supuestos

Los escenarios simulados para las evaluaciones representan situaciones de no acción en comparación con aquellas de acción. La construcción de Parques del Río Norte de 30 ha (escenario de acción presentado en la figura 6) se compara con un escenario en el que no se construye el parque (es decir, el escenario de referencia que se presenta en la figura 5).

Figura 5. Situación actual de Medellín a lo largo del río, foto de sur a norte



Fuente: Empresa de Desarrollo Urbano (2023)

Figura 6. Render de la situación futura de Medellín a lo largo del río después de la ejecución de Parques del Río Norte; comprende Parques del Río Centro, en orientación de sur a norte

Fuente: Empresa de Desarrollo Urbano (2023)

3.1 Datos climáticos

Los datos climáticos considerados en este análisis se basan en los escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP). Con estas trayectorias se definen diferentes líneas de base que podrían ocurrir en función de diversos factores subyacentes, como el crecimiento demográfico, tecnológico y económico, que pueden conducir a diferentes emisiones futuras de GEI y resultados de calentamiento global (Carbon Brief, 2018). Los escenarios de SSP se basan en diversos supuestos que describen tendencias socioeconómicas amplias que pueden dar forma a las sociedades futuras. Específicamente, este estudio considera los siguientes escenarios de SSP, según lo descrito por Meinshausen, y otros (2020).

- Escenario de SSP1-2.6 "de 2°C": corresponde aproximadamente al escenario de trayectoria de concentración representativa (RCP) 2.6, en el que se espera que las temperaturas globales aumenten 2 °C para 2100.
- Escenario de SSP3-7.0: es un escenario de referencia con emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) intermedias y altas.
- Escenario de SSP5-8.5: corresponde a un escenario de emisiones de GEI muy altas con gran consumo de combustibles fósiles a lo largo del siglo XXI.

En la figura 7, se proyecta la temperatura media mensual (en °C) en Medellín de 2000 a 2100 en los tres escenarios de SSP, usando el índice de estrés térmico WBGT. Las tendencias son similares en los tres escenarios de SSP hasta 2050, después se bifurcan. En el SSP1-2.6, la temperatura mensual permanece constante a lo largo de las décadas entre 2050 y 2100. En el escenario de SSP3-7.0, la temperatura mensual promedio aumenta en aproximadamente 2 °C en comparación con 2050, o 3 °C con respecto al año 2000. No obstante, en el escenario de SSP5-8.5, las temperaturas aumentan casi 1 °C más que el escenario de SSP3-7.0. El escenario de SSP5-8.5 proyecta el mayor aumento de temperatura, seguido por el escenario de SSP3-7.0.

En la figura 8, se muestra un diagrama de recuadro con la precipitación media (mm/mes) en Medellín para el período 2000-2020, mientras que en la figura 9, se muestran las mismas variables, pero para el período 2040-2060 en un supuesto escenario de SSP5-8.5. Los resultados sugieren que de 2000 a 2020, en la mayoría de los meses —salvo, sobre todo, en enero y diciembre— hubo el mismo caudal de lluvia. No se espera que esta tendencia cambie en la precipitación promedio estimada para el período 2040-2060. Estos resultados pueden llevar a diferentes interpretaciones: por ejemplo, se puede argumentar que el problema de las inundaciones, exacerbado por una planificación urbana insostenible, ya está presente y no se resolverá en el futuro. Por lo tanto, el aumento de la resiliencia a través de la expansión de áreas urbanas verdes a lo largo del río Medellín se vuelve más relevante.

Figura 7. Temperatura media mensual en Medellín, fuente: Climate Data Store de Copernicus

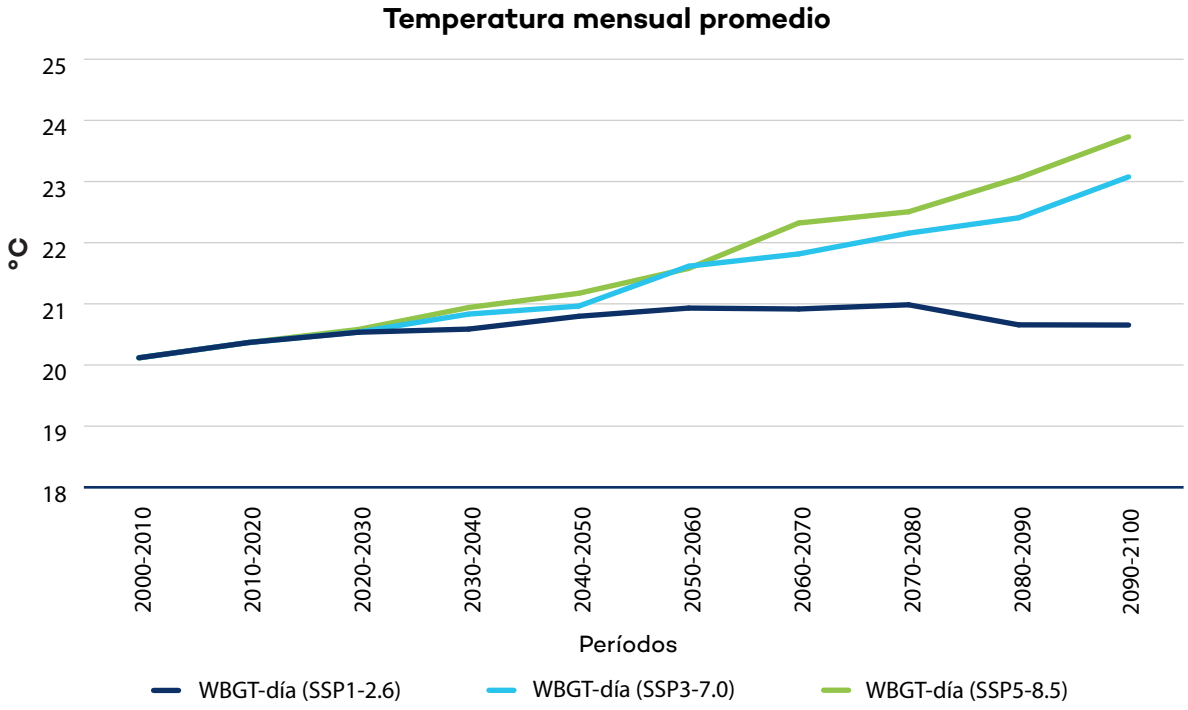


Figura 8. Precipitación promedio en Medellín (2000-2020), fuente: Climate Data Store de Copernicus

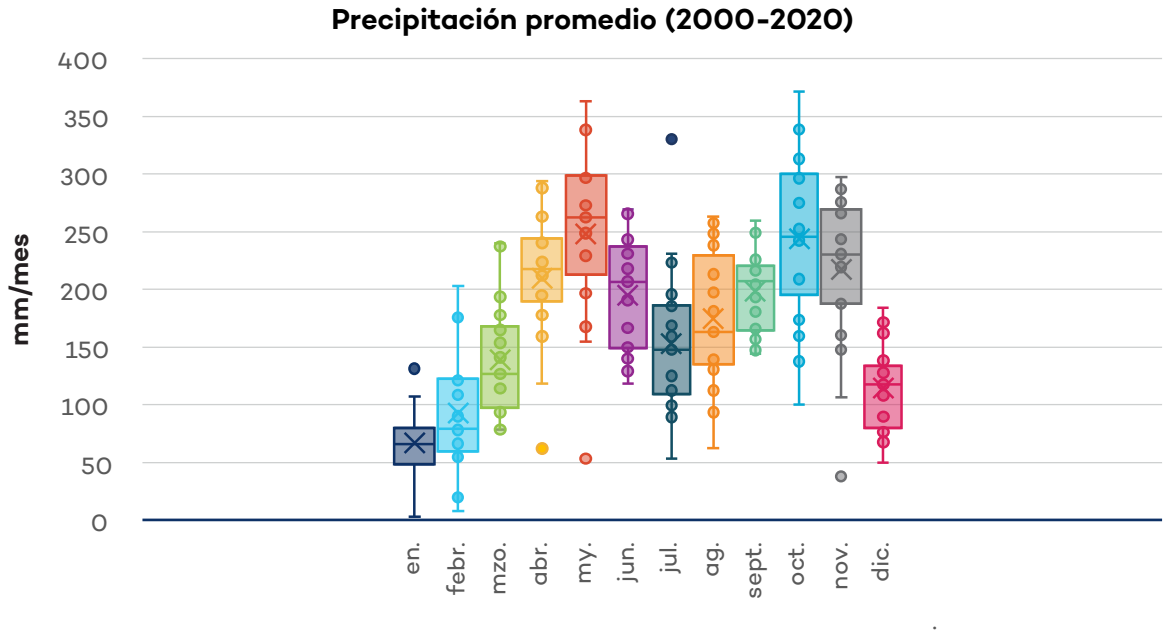
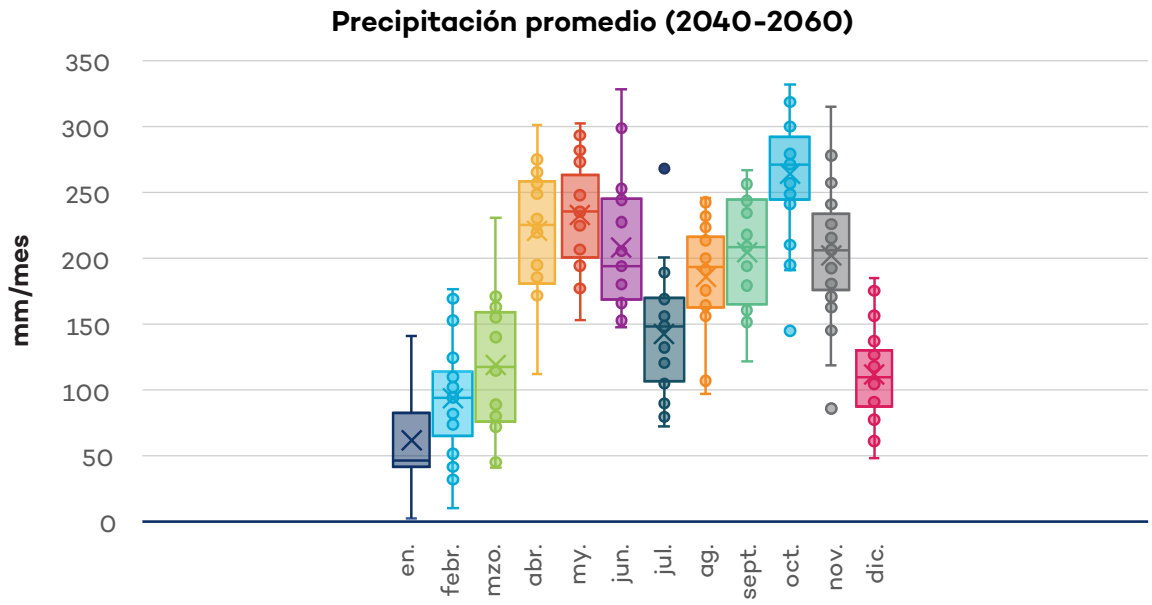


Figura 9. Precipitación promedio en Medellín (2040-2060)



Fuente: Climate Data Store de Copernicus

4.0 Resultados

4.1 Aspectos destacados

Parques del Río Norte es una inversión que no solo es social y ambientalmente responsable, sino también es viable desde el punto de vista económico. Según el análisis económico, por cada peso colombiano (COP) invertido en el proyecto de Parques del Río Norte se espera un retorno de 1,67 COP en beneficios netos descontados durante un período de 30 años. Todos los valores monetarios presentados en la sección de resultados son valores descontados a una tasa del 3,5% anual, tasa utilizada para descuento social (Lowe, 2008).

Uno de los beneficios clave del proyecto del parque es su capacidad para reducir efectivamente los riesgos de inundación y erosión alrededor del río Medellín. Al aumentar la retención de agua en un 57,68% en el área de amortiguamiento, el proyecto ayuda a evitar daños por inundaciones en edificios, infraestructura y automóviles por un valor de 1.312,08 miles de millones de COP.

Además de la reducción del riesgo de inundación, el proyecto también tiene un impacto significativo en la disponibilidad de espacios verdes en la ciudad densamente poblada. Gracias al proyecto, se aumentará la superficie de espacio verde por habitante de 1,32 m^2 a 1,44 m^2, lo cual permitirá mejorar en un 86,43% la calidad del hábitat en el área de amortiguamiento y aumentar el almacenamiento de carbono en un 103,75% en la misma zona.

Se espera que Parques del Río Norte revitalice los vecindarios de las inmediaciones del río al aumentar el valor de las propiedades en 148,88 miles de millones de COP e incrementar los ingresos minoristas en 1.336,83 miles de millones de COP. Además, las personas que viven en los 2.683 edificios alrededor del nuevo parque se beneficiarán directamente de la reducción de la temperatura al disminuir el gasto de energía en 0,07 miles de millones de COP. La reducción de la contaminación del aire también será un beneficio, ya que permitirá ahorrar 0,13 miles de millones de COP en costos de salud y evitar el costo social del carbono por un valor de 2,15 miles de millones de COP a través de la plantación de árboles. Además, el corredor creará rutas atractivas para caminar y andar en bicicleta, que se traducirán en beneficios por la práctica de actividad física por un valor de 2.080,50 miles de millones de COP, y nuevos espacios que unen a las comunidades y fomentan la conciencia ambiental.

En general, el proyecto del parque ofrece una serie de beneficios económicos, ambientales y sociales, lo que lo convierte en una inversión muy atractiva tanto para el sector público como para el privado. Al elegir invertir en soluciones de infraestructura verde, como el proyecto del parque, las ciudades pueden trabajar en pro del desarrollo sostenible al tiempo que mejoran la calidad de vida de sus ciudadanos.

4.2 Análisis de costo-beneficio integrado

Los resultados del análisis de costo-beneficio integrado se presentan en la tabla 5. Estos resultados incluyen la inversión, los beneficios agregados, los costos evitados y los beneficios netos totales, tanto descontados como no descontados, para el período comprendido entre 2023 y 2053 (30 años). Los resultados muestran que el proyecto es financieramente viable y genera 2,38 COP en beneficios por cada COP invertido, y beneficios netos de 5.156,53 miles de millones de COP (1,15 billones de dólares), para la versión sin descuento. Cuando se descuentan los valores, la relación costo-beneficio da como resultado 1,67 COP, y genera beneficios netos por 1.995,27 miles de millones de COP (0,44 billones de dólares).

Tabla 5. Análisis de costo-beneficio (ACB) integrado

	Valores sin descuento en miles de millones de COP[10]	Valores descontados en miles de millones de COP (3,5%)	Valores descontados en millones de USD[11]
Costos totales	**3.730,52**	**2.984,50**	**710,60**
Construcción	3.001,21	2.575,28	613,16
Operación y mantenimiento	729,31	409,23	97,43
Beneficios agregados totales	**6.545,74**	**3.665,35**	**872,70**
Ingresos laborales por construcción y mantenimiento	37,66	22,27	5,30
Ingresos por operaciones del parque	136,99	76,87	18,30
Ingresos de minoristas	2.442,48	1.336,83	318,29
Aumento del valor de la propiedad	181,10	148,88	35,45
Beneficios para la salud por la práctica de actividad física	3.747,50	2.080,50	495,36
Costos evitados totales	**2.341,31**	**1.314,43**	**312,96**
Emisiones de carbono	2,59	2,15	0,51
Gasto de energía	0,12	0,07	0,02

[10] Para esta evaluación, los billones se utilizan según el sistema estadounidense como 10e9 (1.000.000.000), lo cual correspondería a miles de millones para Colombia.

[11] La tasa de cambio utilizada es de 4.200 COP/USD.

	Valores sin descuento en miles de millones de COP[10]	Valores descontados en miles de millones de COP (3,5%)	Valores descontados en millones de USD[11]
Daños por inundaciones	2.338,35	1.312,08	312,40
Contaminación del aire	0,24	0,13	0,03
Beneficios netos	**5.156,53**	**1.995,27**	**475,06**
Relación costo-beneficio (RBC)	**2,38**	**1,67**	**1,67**

Nota: Los valores presentados en la tabla son acumulativos entre 2023 y 2053 (30 años de análisis).

En cuanto a los costos del proyecto, los costos de capital para la construcción de Parques del Río Norte suman 2.575,28 miles de millones de COP por 3 kilómetros de longitud del parque (equivalente a un área de 30 hectáreas). Los costos acumulados de O&M para los 30 años de operación, considerando progresivamente los costos hasta que se construya por completo, son de 409,23 miles de millones de COP.

La ejecución del proyecto Parques del Río Norte trae beneficios agregados valorados en 3.665,35 miles de millones de COP. De estos beneficios, la mayor parte son producto de la actividad física, que suman 2.080,50 miles de millones de COP en los 30 años de uso del corredor, sobre la base de una demanda diaria de usuarios de 44.994 peatones y 4.656 ciclistas cuando se construyan las 30 ha del parque (para más detalle véase la tabla 4). Los beneficios del aumento de los ingresos minoristas vienen a continuación con un valor descontado acumulado de 1.336,83 miles de millones de COP. Este es el resultado del aumento del presupuesto comercial en las tiendas dentro y alrededor del parque, debido al mayor número de peatones y ciclistas en el área. Otro impacto que recibe el área alrededor del parque es el incremento del valor de la propiedad, que se calcula será del 15% después de la ejecución del proyecto, lo que da como resultado beneficios acumulados de 148,88 miles de millones de COP.

Dos beneficios que se obtienen directamente de la construcción y operación del parque son la generación de ingresos por empleos y los ingresos derivados al alquiler de los locales comerciales y el cobro de tarifas de estacionamiento dentro del parque. La generación de ingresos por trabajos de construcción, operación y mantenimiento representa la porción que es gasto discrecional de los salarios, el cual asciende a 22,27 miles de millones de COP para 2053. En el caso de los ingresos que se obtendrán de los locales comerciales y estacionamientos, el beneficio acumulado asciende a 76,87 miles de millones de COP.

La ejecución del proyecto requiere inversión que genera tanto beneficios agregados como el ahorro de costos. La mayoría de los costos evitados se pueden estimar gracias a los resultados del análisis espacial que se presenta en la tabla 6. En el análisis espacial de Parques del Río Norte, se proporciona información sobre la situación previa y posterior a su ejecución, en forma de indicadores, como el almacenamiento de carbono, la calidad del hábitat, la retención de escorrentía y la temperatura promedio.

Tabla 6. Resumen de los resultados del análisis espacial en el área de amortiguamiento

Escenario/ indicador	Almacenamiento de carbono (toneladas)	Calidad del hábitat media	Retención de escorrentía (m^3)	Valor de temperatura promedio (°C), temperatura del aire de referencia 30,5 °C
Escenario de referencia	1.343	0,018	95.948	34.565
Escenario Parques del Río Norte	2.737	0,033	151.293	34.446
Cambio entre escenarios	103,75%	86,43%	57,68%	-0,34%

El mayor costo evitado surge de los daños que ocasionarían las inundaciones, con un valor acumulado de 1.312,08 miles de millones de COP. Este costo evitado es el resultado del aumento en la retención de escorrentía del 57,68% después de la ejecución del proyecto en el área de amortiguamiento (véanse la figura 10 y la figura 11).

Figura 10. Valores de retención de escorrentía (m^3) antes de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento

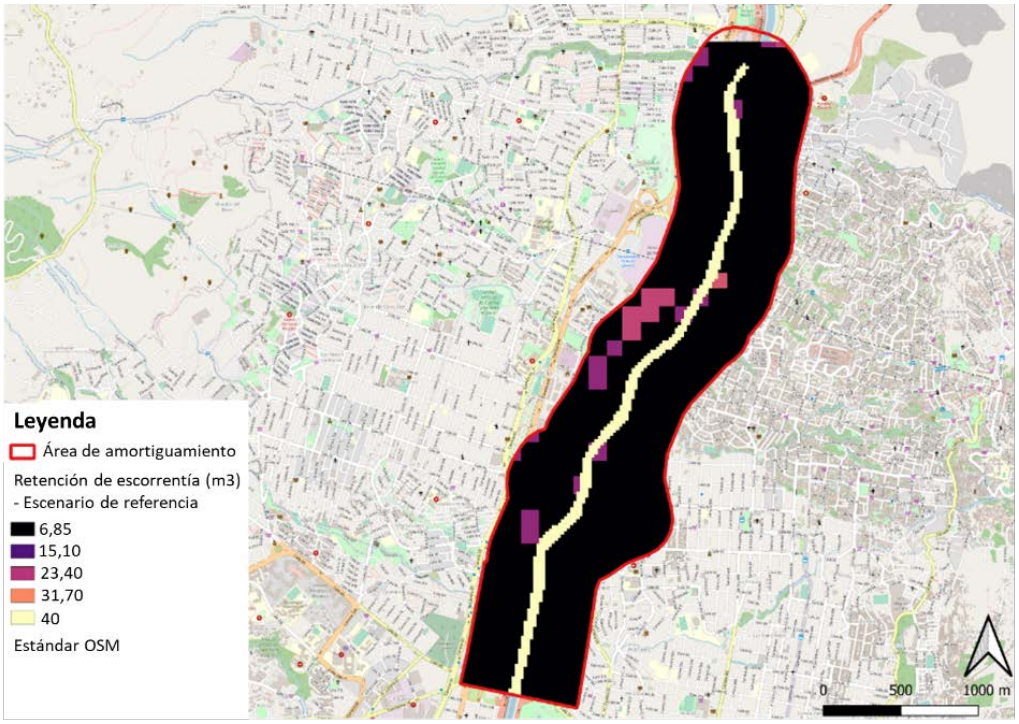
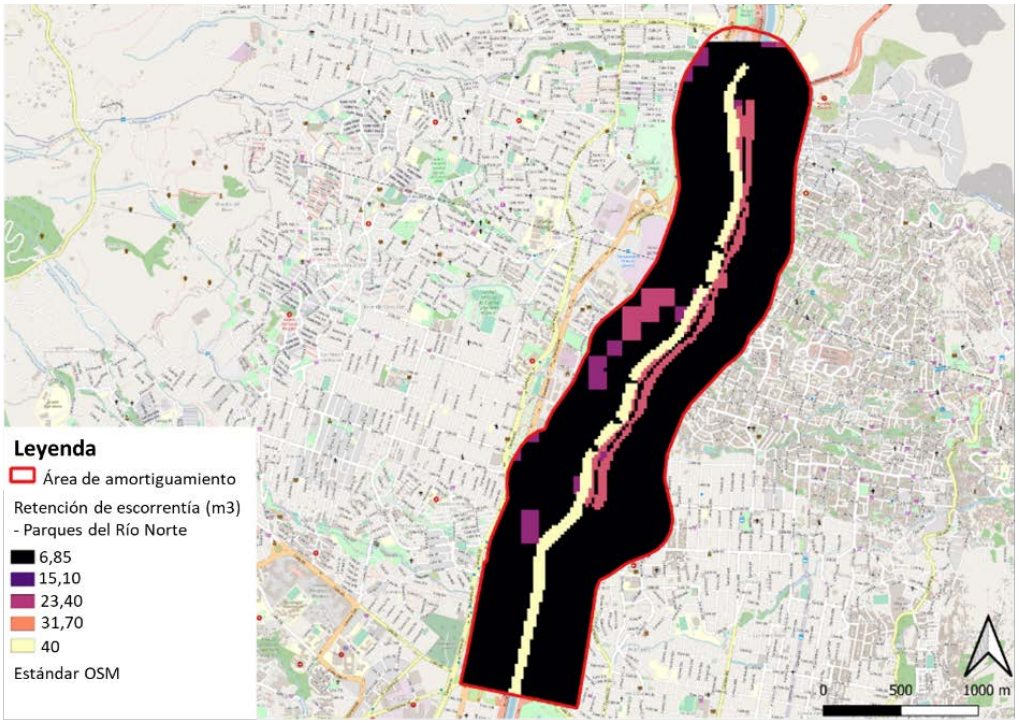


Figura 11. Valores de retención de escorrentía (m^3) después de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento



Otro costo evitado es el costo social del carbono, que arroja valores de 2,15 miles de millones de COP debido al aumento en el almacenamiento de carbono estimado con el análisis espacial (véanse la figura 12 y la figura 13) de 103,75% después de la ejecución del proyecto en un período de 30 años (véase la tabla 4).

Figura 12. Resultados del modelo de carbono antes de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento

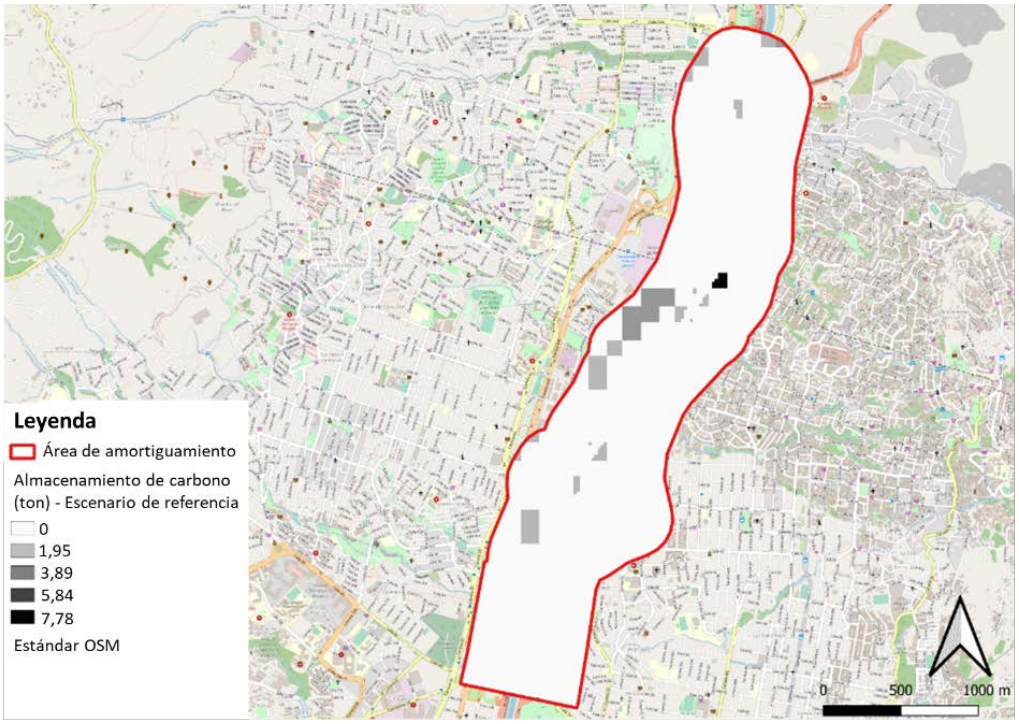
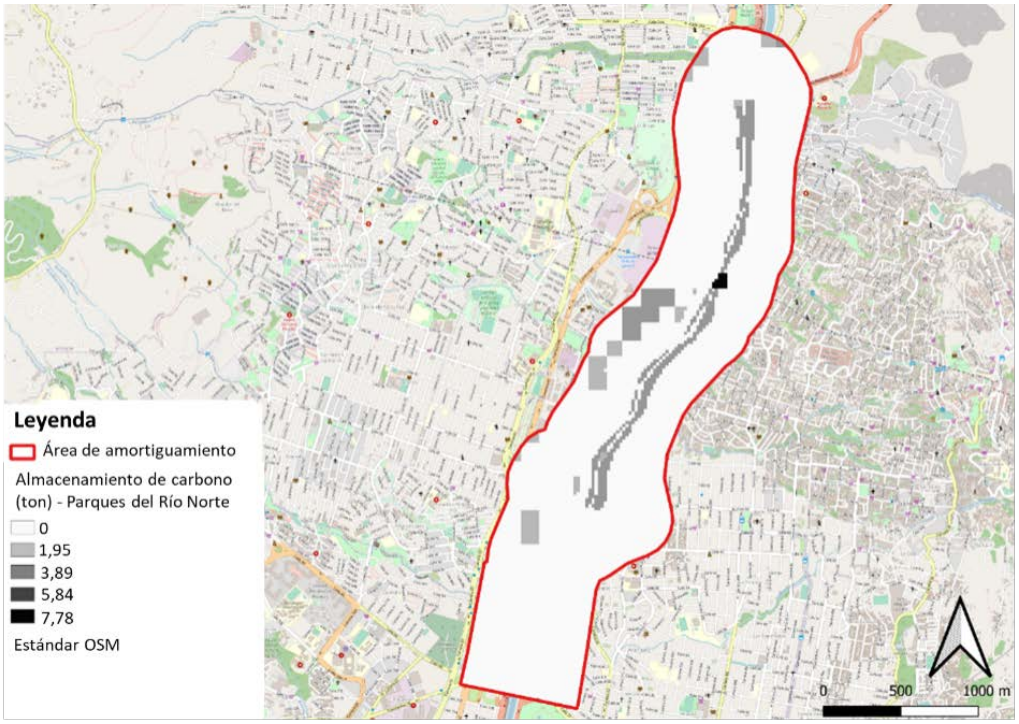


Figura 13. Resultados del modelo de carbono después de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento



En el caso de los costos de salud evitados debido a la contaminación de $MP_{2,5}$, se ahorraría un total de 0,13 miles de millones de COP de 2023 a 2053. Este valor depende principalmente del número de árboles que se planten en el parque y su contribución a la purificación del aire.

Además, la disminución del efecto isla de calor en los barrios que rodean el río se traduce en una menor necesidad de usar los ventiladores en casas y edificios. La disminución de 0,34% en el índice de mitigación del calor (véanse la figura 14 y la figura 15) resulta en costos evitados de energía por 0,07 miles de millones de COP. Es importante aclarar que la temperatura promedio se calcula dentro de una zona de amortiguamiento de 250 metros del parque y con una temperatura de aire de referencia de 30,5 °C.

Figura 14. Índice de mitigación del calor antes de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento

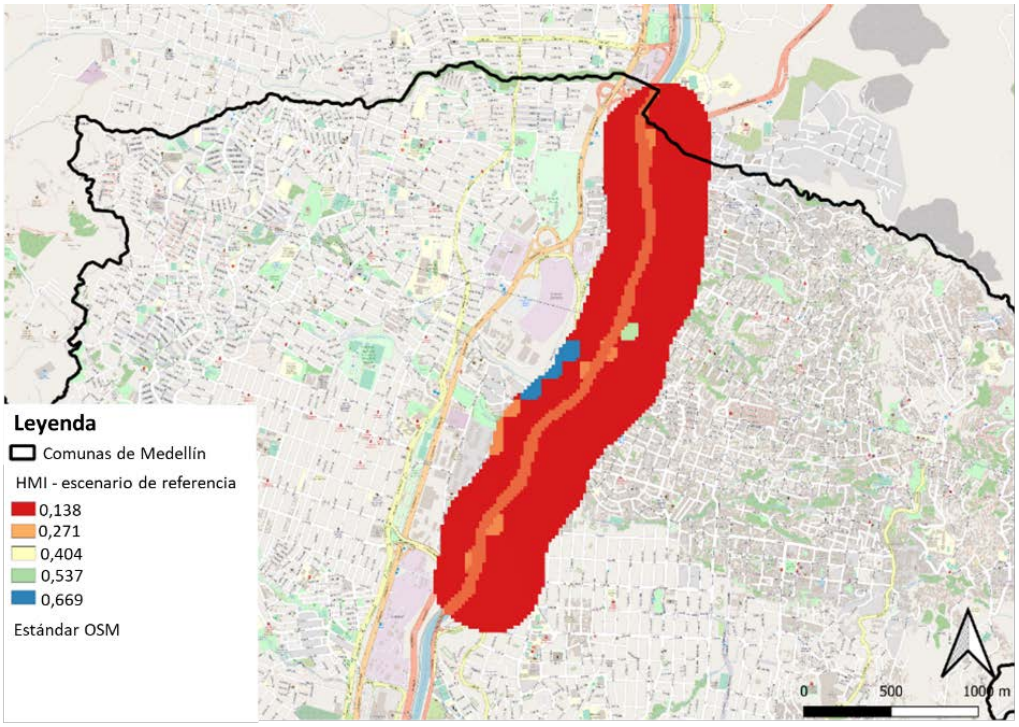
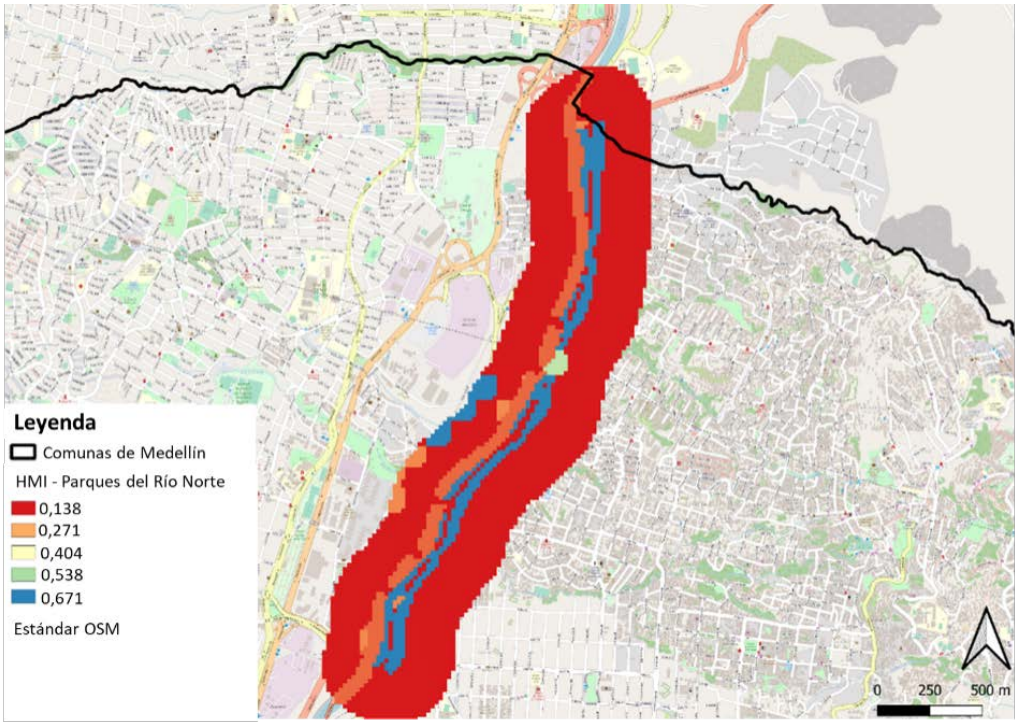


Figura 15. Índice de mitigación de calor después de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento



Finalmente, el análisis espacial muestra que la calidad del hábitat en la zona de amortiguamiento va a mejorar en un 86,43% después de la ejecución de Parques del Río Norte (véanse la figura 16 y la figura 17). Esto se traduce en que hay un incremento de la biodiversidad en la zona que comprenderá el parque donde se calcula se ampliarán el hábitat y los tipos de vegetación.

Figura 16. Puntuaciones de calidad del hábitat antes de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento

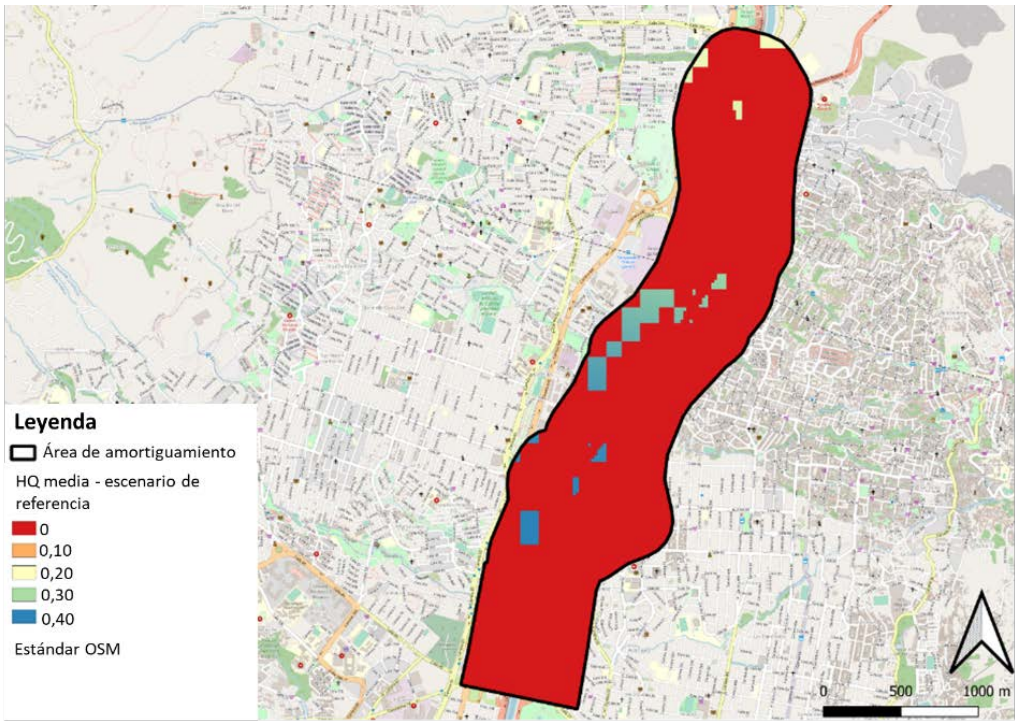
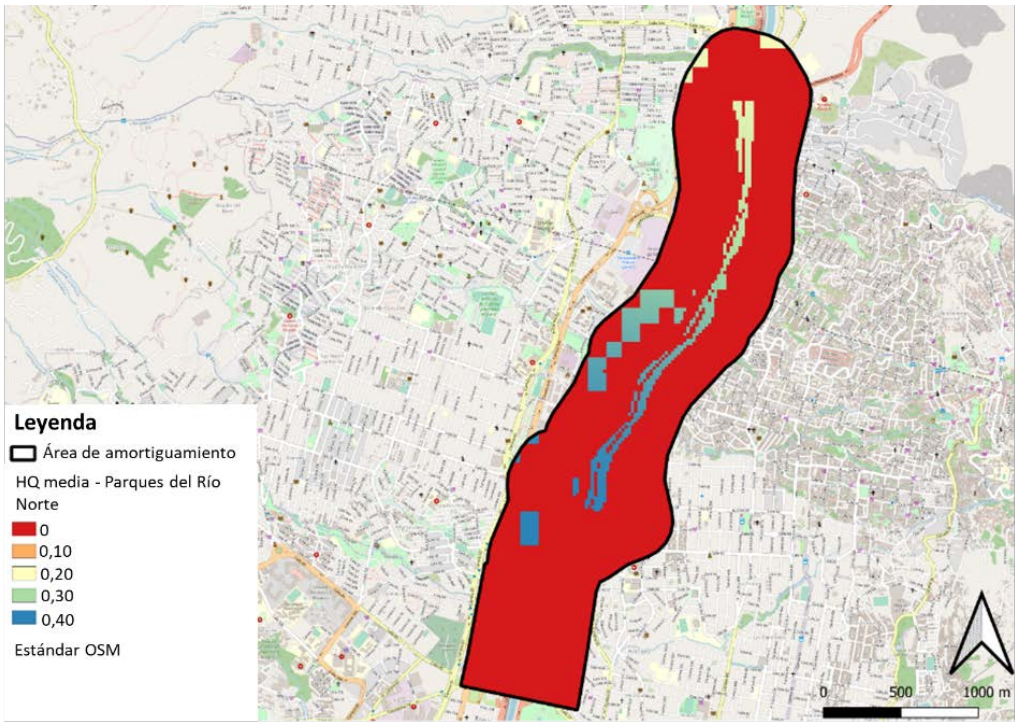


Figura 17. Puntuaciones de calidad del hábitat después de la ejecución del proyecto, área de amortiguamiento



5.0 Conclusión

El estudio realizado demuestra de manera contundente que Parques del Río Norte es una inversión económicamente viable que conlleva una amplia gama de beneficios sociales, ambientales y económicos, como se muestra en la Figura 18. Durante un periodo de 30 años, se estima que esta iniciativa genera 1,67 COP en beneficios por cada COP invertido.

La implementación de la IBN ha demostrado ser una estrategia altamente efectiva para reducir los riesgos de inundaciones y erosión en la zona norte del río Medellín. El área de amortiguamiento de 250 metros a cada lado del corredor ha logrado aumentar la retención de agua en un 57,68%, evitando daños por inundaciones en propiedades e infraestructura por un valor estimado de 1.312,08 miles de millones de COP para el año 2053.

En una ciudad densamente poblada como Medellín, la creación de nuevos espacios verdes marca una gran diferencia. Los 300.000 m^2 de Parques del Río Norte representan un aumento significativo en la superficie de espacio verde por habitante, ya que pasaría de 1,32 a 1,44 m^2 por persona, si se cuentan todos los habitantes de la ciudad. Además, se observa una mejora del 86,43% en la calidad del hábitat y un incremento del 103.75% en el almacenamiento de carbono en el área de amortiguamiento para 2023.

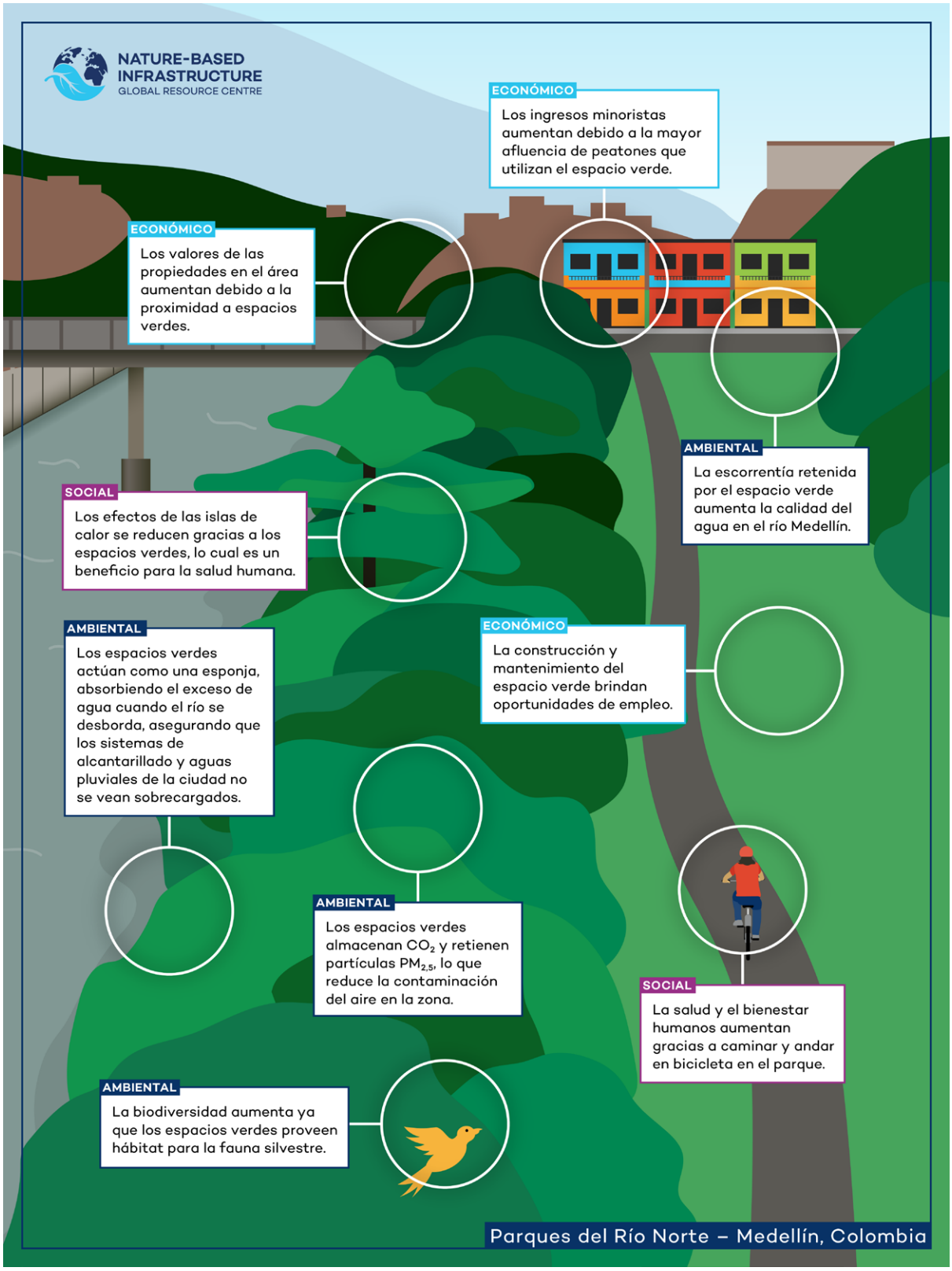
La ejecución de este parque no solo revitalizará los barrios cercanos a las riberas del río, sino que también aumentará el valor de las propiedades en la zona de amortiguamiento en 148,88 miles de millones de COP y estimulará los precios minoristas en 1.353,88 miles de millones de COP.

Los residentes de los 2.683 edificios ubicados alrededor de Parques del Río Norte se beneficiarán directamente de la reducción de las temperaturas, lo que dará como resultado un menor gasto energético estimado en 0,07 miles de millones de COP. Además, se mejorará la calidad del aire, lo cual evitará costos de salud por un valor de 0,13 miles de millones de COP y se evitará el costo social del carbono por un valor de 2,15 miles de millones de COP.

Asimismo, el corredor creado por Parques del Río Norte generará beneficios significativos en salud para las personas mediante la promoción de la actividad física, con un valor estimado de 2.080,50 miles de millones de COP. Además, estos nuevos espacios funcionarán como puntos de encuentro que unen a las comunidades y fomentan la conciencia ambiental.

En resumen, los resultados obtenidos de este estudio respaldan claramente el uso de la IBN como estrategia para la reducción del riesgo de inundación, estrés térmico y la contaminación en la ciudad de Medellín. Estos hallazgos son fundamentales para presentar un argumento convincente a favor de la aplicación de la IBN y para fundamentar las estrategias de financiamiento necesarias para llevar a cabo proyectos de esta naturaleza. Parques del Río Norte se presenta como una solución integral que proporciona beneficios a largo plazo en diversos aspectos de la vida urbana y demuestra ser una inversión valiosa para el bienestar y el desarrollo sostenible de la ciudad.

Figura 18. Beneficios de Parques del Río Norte considerados en la evaluación



6.0 Referencias

Alcaldía de Medellín. (2023). Información para diagrama causal de Parques del Río Norte.

Carbon Brief. (2018). *CLIMATE MODELLING 19 April 2018 12:58 Explainer: How 'Shared Socioeconomic Pathways' explore future climate change*. Obtenido de https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/#:~:text=The%20RCPs%20set%20pathways%20for,or%20will%20not%20%E2%80%93%20be%20achieved.

CE Delft, INFRAS & Fraunhofer ISI. (2011). External Costs of Transport in Europe. *CE Delf*.

Centre for green mobility (2015). *Bicycle Share System for Dwarka Sub-city: Detailed project report*. Obtenido de https://shaktifoundation.in/wp-content/uploads/2017/06/Public-Bicycle-Sharing-DPR-Dwarka.pdf

CEPAL y BID (2012). V*aloración de daños y pérdidas Ola invernal en Colombia 2010-2011*. Bogotá: Naciones Unidas. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37958/1/OlainvernalColombiaBIDCEPAL_es.pdf

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. y Maginnis, S. (2016). *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: IUCN. doi:10.2305/IUCN.CH.2016.13.en

Empresa de Desarrollo Urbano. (2023). *Parques del Río Norte*. Medellín.

Jaramillo Posso, D. (2022). *El parque automotor en Medellín creció: hay 840 mil vehículos en circulación, según Fenalco*. Telemedellín. Obtenido de https://telemedellin.tv/parque-automotor-medellin-840-mil-vehiculos/545370/

Lowe, J. (2008). *Intergenerational wealth transfers and social discounting: Supplementary Green Book guidance*. Norwich: HM Treasury. Obtenido de https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7a05d540f0b66a2fbff54e/Green_Book_supplementary_guidance_intergenerational_wealth_transfers_and_social_discounting.pdf

Mardones, C. y Riquelme, M. (2018). Estimation of the Value of Statistical Life in Chile and Extrapolation to Other Latin American Countries. *Latin American Research Review*, 815-830. doi:10.25222/larr.61

Medellín cómo vamos (2019). *Informe de calidad de vida de Medellín 2018*. Medellín cómo vamos. Obtenido de https://www.medellincomovamos.org/system/files/2020-04/docuprivados/Informe%20de%20indicadores%20objetivos%20sobre%20c%C3%B3mo%20vamos%20en%20movilidad%20y%20espacio%20p%C3%BAblico%2C%202018.pdf

Meinshausen, M., Nicholls, Z. R., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., Wang, R. H. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development, 13*(8), 3571-3605.

Nordhaus, W. D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. *EARTH, ATMOSPHERIC, AND PLANETARY SCIENCES*. doi.org/10.1073/pnas.160924411

PNUMA (2014). *Uso de modelos para la formulación de políticas de economía verde*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Obtenido de https://www.unpage.org/files/public/content-page/unep_models_ge_for_web.pdf

Rabl, A. y Nazelle, A. (2012). Benefits of shift from car to active transport. *Transport Policy*, 121–131.

UPME (2019). P*rimer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética: Resumen Ejecutivo BEU Sector Residencial y Terciario*. Bogotá y Karlsruhe: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance_energia_util/BEU-Residencial.pdf

Vélez-Robledo, J. (2022). *Las tarifas de electricidad: un cálculo que es complejo y que no detiene su alza*. La República. Obtenido de https://www.larepublica.co/especiales/el-futuro-de-los-servicios-publicos/las-tarifas-de-electricidad-un-calculo-complejo-y-al-alza-3447286

Zhang, B., Zixia, X., Xinlu, S. y Jixi, G. (2021). Quantifying the Potential Contribution of Urban Forest to PM2.5 Removal in the City of Shanghai, China. *Atmosphere*. doi.org/10.3390/atmos12091171

Apéndice A. ¿Soluciones basadas en la naturaleza o infraestructura basada en la naturaleza?

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) define a las soluciones basadas en naturaleza (SBN) como "acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar los ecosistemas naturales y modificados que abordan los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, beneficiando simultáneamente a las personas y la naturaleza" (Cohen-Shacham, Walters, Janzen y Maginnis, 2016).

La infraestructura basada en la naturaleza (IBN) es un subconjunto de SBN con un enfoque en los servicios de infraestructura proporcionados por la naturaleza. El Centro de Recursos Globales de IBN considera que el concepto de IBN comprende lo siguiente:

- Ecosistemas naturales o paisajes funcionales que pueden conservarse, rehabilitarse y mantenerse para mejorar las capacidades y reducir la necesidad de infraestructura gris.
- Infraestructura híbrida que combina soluciones diseñadas y basadas en la naturaleza.

Se evaluaron las intervenciones propuestas en Medellín como IBN, es decir, consideramos que Parques del Río Norte es una inversión en infraestructura que busca abordar problemáticas relacionadas con inundaciones, erosión fluvial, contaminación del aire y calor urbano como una alternativa a la infraestructura exclusivamente gris. Cabe recordar que muchas organizaciones, entre ellas C40 CFF, el Fondo Mundial en favor de la Naturaleza (WWF), el Grupo Intergubernamental sobre los Bosques (GIB) y el Banco Europeo de Inversiones (BEI), se refieren a estos proyectos como SBN.

NATURE-BASED INFRASTRUCTURE
GLOBAL RESOURCE CENTRE