

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Propuesta de indicadores ambientales para asentamientos informales de Costa Rica
en el marco de la resiliencia climática urbana”**

María Fernanda Muñoz Tubito

CARTAGO, mayo, 2025



“Propuesta de indicadores ambientales para asentamientos informales de Costa Rica en el marco de la resiliencia climática urbana”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

TEC | Tecnológico de Costa Rica Firmado digitalmente por DAVID ISASI HERNANDEZ PARRA (FIRMA)
Fecha: 2025.05.09 10:47:38 -06'00'

M.Sc. David Isasi Hernández Parra
Director

M.Sc. María José Vázquez Vargas
Lector 1

ERICK CALDERON
ACUÑA (FIRMA) Firmado digitalmente por ERICK CALDERON ACUÑA (FIRMA)
Fecha: 2025.05.14 15:27:53 -06'00'

M.Sc. Erick Calderón Acuña
Lector 2

TEC | Tecnológico de Costa Rica Firmado digitalmente por DAVID ISASI HERNANDEZ PARRA (FIRMA)
Fecha: 2025.05.09 10:48:05 -06'00'

M.Sc. David Isasi Hernández Parra
Coordinador COTRAFIG

GUILLERMO DE
JESUS CALVO
BRENES (FIRMA) Digitally signed by GUILLERMO DE JESUS CALVO BRENES (FIRMA)
Date: 2025.05.09 11:38:59 -06'00'

Dr. Guillermo de Jesús Calvo Brenes
Director Escuela de Química

TEC | Tecnológico de Costa Rica Firmado digitalmente por DIANA ALEXANDRA ZAMBRANO PIAMBA (FIRMA)
Fecha: 2025.05.12 11:22:06 -06'00'

M.Sc. Diana Zambrano Piamba
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A la construcción de un mundo más justo, más humano.

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Mi Mamá. Mi Papá. Sarah. Nonna. Luna. Leo. Nala. Sebas. Rebe. Vale. Naty. Pao. Andrés. Isaac. Tía Rosa. Gracias por su amor, su compañía y su atención; por demostrarme su apoyo y cariño de formas tan diferentes y honestas. Gracias por sostenerme.

Gracias profe David por su guía, su tiempo y su confianza en mi trabajo. Gracias María José, Erick y cada persona participante del proceso, por su valiosa colaboración. Gracias universidad pública por abrirme sus puertas y ser un espacio de crecimiento, cuestionamiento y reflexión.

Gracias a mí misma por la valentía de vivir este proceso de la forma más humana posible y abrazarlo con tanta compasión.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo general	14
1.1.2. Objetivos específicos	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA	15
2.1. RESILIENCIA CLIMÁTICA	15
2.1.1. Variabilidad climática y cambio climático	15
2.1.2. Resiliencia climática urbana	18
2.1.3. Relación entre resiliencia y adaptación	22
2.2. ASENTAMIENTOS INFORMALES	24
2.2.1. Asentamientos informales ante el cambio climático	24
2.2.2. Medición de resiliencia climática en asentamientos informales	28
2.3. INDICADORES AMBIENTALES	31
2.3.1. ¿Qué es un indicador y cómo se construye?	31
2.3.2. Indicadores ambientales al medir resiliencia climática	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES	36
3.1.1. Criterios para selección de artículos	36
3.1.2. Clasificación y análisis de indicadores ambientales	37
3.2. VALIDACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES	38
3.3. DISEÑO DEL CONJUNTO DE INDICADORES AMBIENTALES	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES	39
4.1.1. Análisis de artículos	39
4.1.2. Análisis de indicadores ambientales	43
4.2. VALIDACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES	53

4.2.1.	Fase I	53
4.2.2.	Fase II	56
4.3.	DISEÑO DEL CONJUNTO DE INDICADORES AMBIENTALES	63
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1.	Conclusiones	66
5.2.	Recomendaciones	68
VI.	REFERENCIAS	70
APÉNDICES		74
<i>Apéndice 1: Formulario utilizado en la fase I del proceso de validación de indicadores ambientales</i>		75
<i>Apéndice 2: Formulario utilizado en la fase II del proceso de validación de indicadores ambientales</i>		76
<i>Apéndice 3: Matriz de puntuación de artículos según criterios comparativos</i>		77
ANEXOS		80

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Anomalías de la temperatura promedio global (en relación con 1850-1900) desde 1850 hasta 2023. [10]	16
Figura 2.2: Cambio de la temperatura media anual (°C) en los horizontes de tiempo de (A) corto plazo (2010-2039), (B) mediano plazo (2040-2069) y (C) largo plazo (2070- 2099) usando el escenario de emisiones RCP8.5. [12]	18
Figura 2.3: Proyección de (A) corto plazo (2010-2039), (B) mediado plazo (2040-2069) y (C) largo plazo (2070-2099) del cambio de la lluvia media anual con respecto a la climatología (1970-2000) del WCv2. [12]	18
Figura 2.4: Impactos climáticos: un efecto compuesto que combina impactos directos, impactos indirectos y vulnerabilidades preexistentes. [16]	21
Figura 2.5: La resiliencia tras una perturbación y su relación con la adaptación. [4]	24
Figura 3.1: Criterios comparativos y su respectiva escala de puntuación para selección de artículos.	36
Figura 4.1: Regiones geográficas en las cuales se contextualizan los artículos analizados.	39
Figura 4.2: Tendencia de enfoques según año de publicación de los artículos analizados	40
Figura 4.3: Objetos de estudio de los artículos analizados.	41
Figura 4.4: Inclusión de indicadores ambientales los artículos analizados	43
Figura 4.5: Distribución porcentual de los indicadores ambientales por categoría	46

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1: Discrepancias entre los autores sobre componentes en la definición de resiliencia climática urbana. [15]	19
Cuadro 2.2: Índices de resiliencia climática urbana encontrados en la literatura. [27]	29
Cuadro 2.3: Definiciones de indicador. [31]	32
Cuadro 3.1: Perfil profesional de las personas expertas entrevistadas	38
Cuadro 4.1: Artículos seleccionados y sus indicadores ambientales.	44
Cuadro 4.2: Indicadores ambientales propuestos en la Fase I	53
Cuadro 4.3: Resultados Fase I de la validación de indicadores ambientales	54
Cuadro 4.4: Indicadores ambientales propuestos en la Fase II	56
Cuadro 4.5: Resultados Fase II de la validación, categoría “Agua”	58
Cuadro 4.6: Resultados Fase II de la validación, categoría “Residuos”	60
Cuadro 4.7: Resultados Fase II de la validación, categoría “Biodiversidad”	61
Cuadro 4.8: Resultados Fase II de la validación, categoría “Riesgos ambientales”	62
Cuadro 4.9: Propuesta final de indicadores ambientales	63

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AI: Asentamientos informales

AL: América Latina

CH₄: Metano

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CO₂: Dióxido de carbono

ENOS: El Niño-Oscilación del Sur

GAM: Gran Área Metropolitana

GEI: Gases de Efecto Invernadero

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

MIDEPLAN: Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica

MIVAH: Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos

N₂O: Óxido nitroso

RCU: Resiliencia climática urbana

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

WMO: World Meteorological Organization - Organización Meteorológica Mundial

ONU: Organización de las Naciones Unidas

RESUMEN

Este proyecto de investigación propone un conjunto de indicadores ambientales para la medición de la resiliencia climática urbana en asentamientos informales de Costa Rica. Ante la creciente vulnerabilidad de estos asentamientos al cambio climático y la escasez de datos disponibles, se realizó una revisión exhaustiva de metodologías existentes, adaptando y clasificando indicadores ambientales clave en cuatro categorías: agua, residuos, espacios verdes y riesgos ambientales. Como resultado, se propusieron 12 indicadores ambientales validados por expertos, enfocados en la simplicidad y facilidad de medición en contextos de asentamientos informales. Estos indicadores buscan cuantificar aspectos críticos como el acceso al agua potable, la gestión de residuos sólidos, la cobertura verde urbana y la exposición a riesgos ambientales. La aplicabilidad de estos indicadores radica en su potencial para construir herramientas de cuantificación de la resiliencia climática urbana adaptadas a las particularidades de los asentamientos informales. Al proporcionar datos concretos y relevantes, estos indicadores pueden orientar la toma de decisiones informadas en la planificación urbana, la gestión de recursos y la implementación de medidas de adaptación al cambio climático, contribuyendo a mejorar la calidad de vida y la resiliencia de estas comunidades vulnerables. Su implementación permitiría una evaluación más precisa de las necesidades y desafíos específicos que enfrentan estos asentamientos, facilitando la formulación de políticas públicas y la asignación de recursos de manera más eficiente y equitativa.

Palabras clave: cambio climático, resiliencia climática urbana, asentamientos informales, indicadores ambientales

ABSTRACT

This project proposes a set of environmental indicators for measuring urban climate resilience in informal settlements in Costa Rica. Given the increasing vulnerability of these settlements to climate change and the scarcity of available data, an extensive review of existing methodologies was conducted, adapting and classifying key environmental indicators into four categories: water, waste, green spaces, and environmental risks. As a result, 12 environmental indicators were proposed and validated by experts, with an emphasis on simplicity and ease of measurement in informal settlement contexts. These indicators aim to quantify critical aspects such as access to drinking water, solid waste management, urban green coverage, and exposure to environmental risks. Their applicability lies in their potential to build tools for quantifying urban climate resilience tailored to the specific characteristics of informal settlements. By providing concrete and relevant data, these indicators can support informed decision-making in urban planning, resource management, and the implementation of climate change adaptation measures, thereby contributing to improved quality of life and resilience in these vulnerable communities. Their implementation would enable a more accurate assessment of the specific needs and challenges faced by these settlements, facilitating the formulation of public policies and the allocation of resources in a more efficient and equitable manner.

Key words: climate change, urban climate resilience, informal settlements, environmental indicators

I. INTRODUCCIÓN

Los efectos adversos del cambio climático ya están siendo experimentados en ciudades de todo el mundo. Inundaciones cada vez más frecuentes, escasez del recurso hídrico, islas de calor, son solo algunos ejemplos [1]. Según el World Cities Report 2022, el cambio climático se ha convertido en uno de los mayores desafíos y amenazas de los últimos 50 años para los sistemas urbanos y sus habitantes [2]. Además, los retos aumentan a medida que las ciudades experimentan un acelerado crecimiento y desarrollo, estimando que para el año 2050 más del 60% de la población mundial vivirá en núcleos urbanos [2].

Las zonas urbanas con mayor grado de vulnerabilidad ante los impactos adversos del cambio climático, especialmente en países en vías de desarrollo, son los asentamientos informales, en los cuales se estima que habitan aproximadamente un billón de personas a nivel mundial [2]. Dicha vulnerabilidad podría estar sujeta a diversas formas de marginación territorial, social, económica y política que enfrentan estas comunidades; siendo resultado de factores como la deficiente planificación urbana y los altos índices de pobreza [2].

Esta es una realidad presente en las áreas urbanas de la región latinoamericana, y Costa Rica no es la excepción. En el país existen más de 700 asentamientos informales, donde aproximadamente el 45% se ubican dentro del Gran Área Metropolitana [3], por lo que constituyen un porcentaje significativo del tejido urbano costarricense. Además, el nivel de exposición de estas comunidades ante amenazas climáticas se ve potenciado por factores como las características geográficas del territorio nacional, que catalogan a Costa Rica como un país altamente vulnerable a los impactos del cambio climático [4].

Para enfrentar este fenómeno, la comunidad internacional reconoce que las estrategias a implementar no pueden limitarse a medidas técnicas, sino que deben abordar las profundas desigualdades que exacerban los impactos del cambio climático. Por esta razón, la reducción de la vulnerabilidad en poblaciones ubicadas en asentamientos informales, se ha colocado como un eje transversal y prioritario de la acción climática a nivel global. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) ya no se trata solamente de diseñar e implementar medidas de adaptación y mitigación ante

el cambio climático, sino de construir resiliencia climática [1]. Esta perspectiva se alinea con el ODS 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles” el cual tiene como finalidad lograr que las ciudades y los asentamientos informales sean inclusivos, seguros y resilientes.

La resiliencia climática a nivel urbano busca que las ciudades, sus territorios, sus habitantes y los sistemas de los cuales dependen estos últimos, incrementen su capacidad de adaptación ante cualquier perturbación como consecuencia adversa del cambio climático; apostando además por su capacidad de lograr una transformación positiva [4]. No obstante, medir y evaluar la resiliencia climática puede ser un proceso complejo, por lo que se han desarrollado distintas herramientas que permiten facilitar la recolección y análisis de datos.

La mayoría de estas herramientas evalúan con indicadores cuantitativos que abarcan diversas áreas: ambiental, económica, social e institucional. Estos indicadores requieren datos continuos y actualizados, y están diseñados para sintetizar y estandarizar información compleja desde un enfoque técnico. En comunidades vulnerabilizadas como los asentamientos informales, la disponibilidad de datos es un reto, porque la naturaleza de estas comunidades puede dificultar la disponibilidad, el acceso y la recolección de información.

De la totalidad de indicadores que se pueden medir en asentamientos informales según las diversas áreas, este proyecto se delimitó solamente a los indicadores ambientales. Desde un enfoque exploratorio, se plantea un conjunto de indicadores ambientales diseñados para asentamientos informales, caracterizados por su simplicidad y facilidad de medición. El propósito es contribuir al desarrollo de metodologías para la cuantificación de la resiliencia climática, con un enfoque específico en estas comunidades, y al mismo tiempo, abordar la limitada disponibilidad de datos en estos contextos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Proponer indicadores ambientales para asentamientos informales de Costa Rica en el marco de la resiliencia climática urbana

1.1.2. Objetivos específicos

1. Analizar indicadores ambientales aplicables a asentamientos informales a partir de metodologías de cuantificación de resiliencia climática urbana
2. Validar indicadores ambientales propuestos a través de un proceso de consulta con expertos/as
3. Diseñar un conjunto de indicadores ambientales aplicables a asentamientos informales de Costa Rica

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. RESILIENCIA CLIMÁTICA

2.1.1. Variabilidad climática y cambio climático

El IPCC define la variabilidad climática como la fluctuación de las variables climáticas en el estado medio del clima y en diversas escalas espacio-temporales, midiendo datos estadísticos como la ocurrencia de fenómenos extremos [5]. Esta variabilidad puede ser intrínseca, la cual es causada por procesos internos del sistema climático que se manifiestan por ejemplo en eventos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), o extrínseca, atribuida a forzamientos externos. Dichos forzamientos hacen referencia a aquellas fuerzas que están fuera del sistema climático y ocasionan cambios significativos en el mismo; clasificándose como forzamientos externos naturales y forzamientos externos antropogénicos [5].

La variabilidad natural ocurre sin ninguna injerencia humana, en donde influyen forzamientos externos naturales como por ejemplo cambios en la actividad solar [5]. Esto permite comprender que la variabilidad climática es un proceso normal y natural del sistema climático. No obstante, el nivel de influencia de las fuerzas externas antropogénicas sobre dicha variabilidad ha incrementado significativamente en las últimas décadas, ocasionando modificaciones atípicas y sin precedentes en los patrones climáticos a nivel mundial. Esta desestabilización del sistema climático se conoce como cambio climático.

El cambio climático es definido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como una modificación en el clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables [6]. Estas actividades humanas producen emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) tales como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). A pesar de que estos gases también se producen naturalmente y son necesarios para mantener la temperatura adecuada en el planeta, su generación excesiva ha ocasionado que se acumulen en la atmósfera y actúen como una barrera que impide la expulsión de la

radiación solar hacia el espacio, provocando así un incremento considerable de la temperatura promedio global de la tierra y los océanos [7].

Diversos estudios se han enfocado en realizar y analizar predicciones de cuáles serían los efectos a nivel mundial a medida que los valores de la temperatura promedio global aumentan. Los resultados evidencian que un incremento de esta temperatura de 1,5 grados Celsius (°C) o más por encima de las temperaturas en el periodo preindustrial, podría afectar los sistemas naturales y humanos hasta un punto de no retorno [8],[9]. Según el Reporte Estado del Clima Global 2023 elaborado por la Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés) la temperatura promedio global en el año 2023 fue $1,45 \pm 0,12$ °C más cálido que en el periodo preindustrial. El 2023 marcó un récord con niveles de calor sin precedentes, catalogándose como el año más caluroso desde que comenzaron los registros mundiales [10].

En la Figura 2.1 se pueden observar las variaciones de la temperatura media global desde el año 1850 hasta el año 2023 a partir de seis conjuntos de datos registrados por seis diversas fuentes.

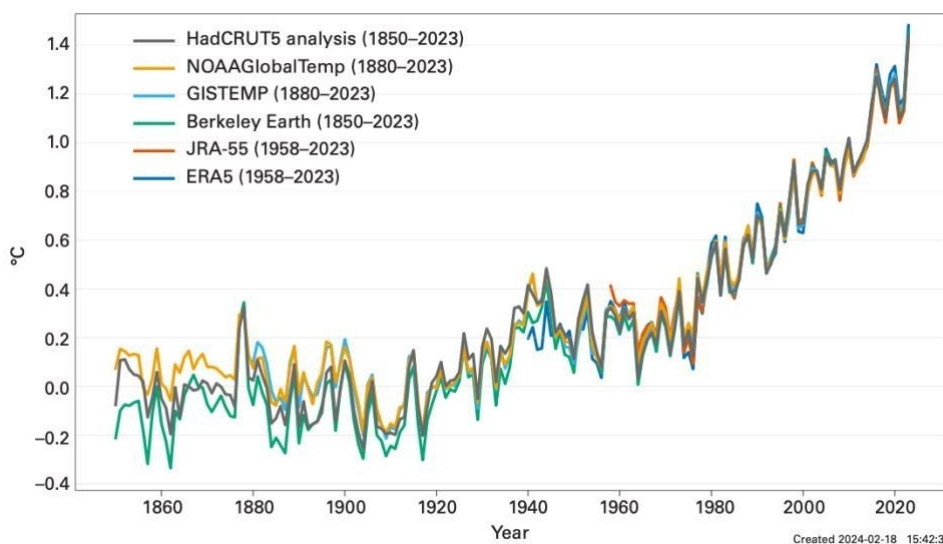


Figura 2.1: Anomalías de la temperatura promedio global (en relación con 1850-1900) desde 1850 hasta 2023. [10]

A raíz de estas alteraciones en la temperatura media global se han evidenciado múltiples cambios en el sistema climático. Según advierte el IPCC en su Sexto Informe de Evaluación, los indicadores clave de este sistema como por ejemplo los niveles de precipitación y el aumento del nivel del mar se encuentran en valores cada vez más preocupantes, los cuales no se habían registrado en siglos y están cambiando a un ritmo sin precedentes en los últimos 2000 años [5].

Si bien los eventos meteorológicos son parte de la variabilidad climática natural y no todos los episodios de eventos extremos son atribuibles en su totalidad al cambio climático, por ejemplo, las sequías globales que están asociadas en gran parte a la variabilidad natural, la tendencia es hacia un aumento paulatino en la magnitud y frecuencia de estos eventos. Es así como ya se han registrado modificaciones significativas en los patrones de fenómenos meteorológicos como huracanes, lluvias extremas y olas de calor, asociadas a su fuerza, duración e incluso la época del año en que se desarrollan [4].

Dichos eventos climáticos se viven con intensidad alrededor del mundo en la actualidad. En el caso específico de Costa Rica, un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático ya enfrenta amenazas tanto por eventos meteorológicos de evolución rápida, es decir, que aumentan su intensidad y frecuencia en plazos cortos de tiempo como por ejemplo tormentas tropicales, lluvias intensas y temperaturas extremas, como por eventos de evolución lenta como el aumento del nivel del mar, el incremento gradual de la temperatura, entre otros [11].

En el país, el cambio climático se evidencia mayoritariamente en las variaciones de temperatura y precipitaciones. En la Figura 2.2 se pueden observar las proyecciones de cambio de temperatura a corto, mediano y largo plazo para todas las regiones del territorio nacional en un escenario con las mayores concentraciones de GEI en la atmósfera; en donde se evidencia de manera general una tendencia de aumento de la temperatura media anual [12]. Por otro lado, en la Figura 2.3 se visualizan las proyecciones de cambio en la lluvia media anual también a corto, mediano y largo plazo para el mismo escenario. En este caso, se observa que el porcentaje de precipitación aumentará o disminuirá de acuerdo a cada región, sin embargo, se espera que sean lluvias cada vez más intensas [12].

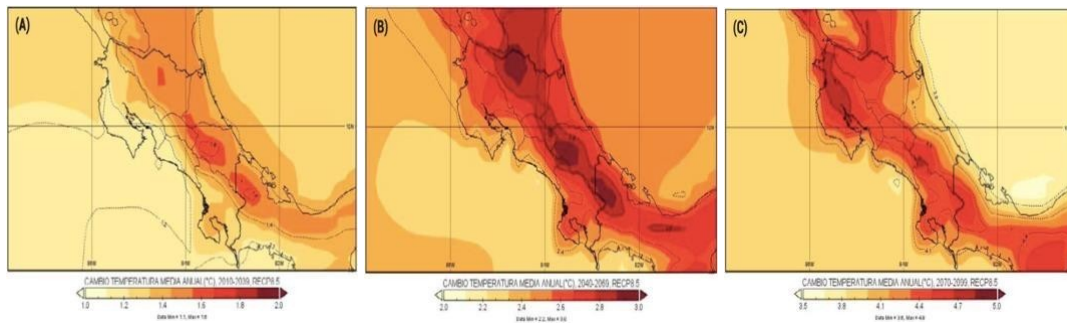


Figura 2.2: Cambio de la temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$) en los horizontes de tiempo de (A) corto plazo (2010-2039), (B) mediano plazo (2040-2069) y (C) largo plazo (2070-2099) usando el escenario de emisiones RCP8.5. [12]

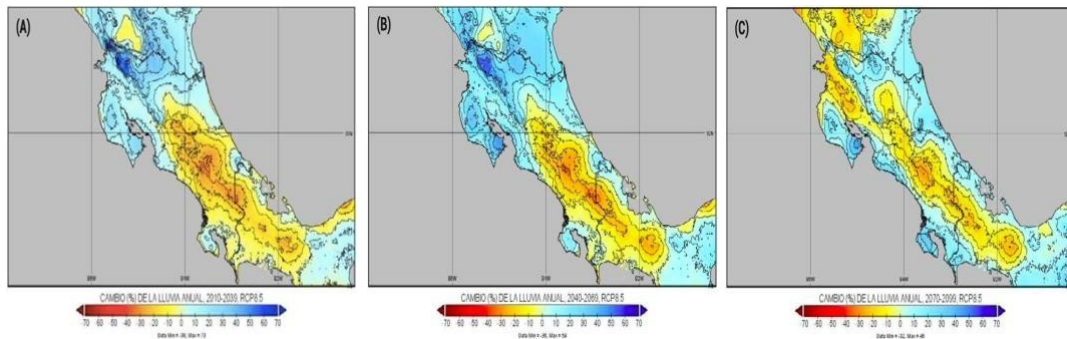


Figura 2.3: Proyección de (A) corto plazo (2010-2039), (B) mediano plazo (2040-2069) y (C) largo plazo (2070-2099) del cambio de la lluvia media anual con respecto a la climatología (1970-2000) del WCv2. [12]

2.1.2. Resiliencia climática urbana

El creciente interés por explorar el concepto de resiliencia ha permitido que este concepto evolucione en diversos campos. Según cita Cabanyes [13] el psiquiatra inglés Michael Rutter definió la resiliencia como “*el fenómeno por el que los individuos alcanzan relativamente buenos resultados a pesar de estar expuestos a experiencias adversas*”; además, destaca que la misma es un fenómeno multifacético que abarca factores tanto ambientales como personales. A diferencia de esta conceptualización desde una perspectiva individual, hay autores que abordan el concepto de resiliencia desde una visión más colectiva. Por ejemplo, la psicóloga Edith Grotberg quien en su búsqueda por promover la resiliencia humana, la definió como “*la capacidad universal que permite a una persona, un grupo o una comunidad, impedir, minimizar o superar los efectos dañinos de la adversidad...que...no*

solamente posibilita un desarrollo normal dentro de las condiciones de adversidad, sino que también puede promover un crecimiento más allá del nivel actual de funcionamiento” [14].

Es así como las ciencias sociales sentaron las bases del concepto de resiliencia y con los años se fue trasladando a otras áreas como las ciencias naturales, desde donde se realizaron valiosos aportes que continuaron potenciando su entendimiento. En el contexto del cambio climático, la resiliencia ha ganado relevancia a medida que los diversos sistemas se enfrentan a perturbaciones y amenazas por eventos climáticos cada vez más frecuentes e intensos, los cuales provocan severos impactos a nivel social, económico y ambiental. Esta es la realidad de las ciudades y comunidades urbanas a nivel mundial, las cuales han adoptado el concepto de resiliencia como un punto de partida ante la creciente y urgente necesidad de transformación para enfrentar los múltiples desafíos derivados del cambio climático, tanto aquellos que ya están experimentando como los que se prevé que enfrentarán en el futuro.

Según Meerow, Newell & Stults [15] al realizar un análisis de diversas definiciones de resiliencia climática urbana, se identifican cinco puntos relevantes que plantean distintos autores en la búsqueda de definir una base conceptual; los cuales se enfocan tanto en las características del sistema como en el cuestionamiento de tiempo y espacio (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1: Discrepancias entre los autores sobre componentes en la definición de resiliencia climática urbana. [15]

Componentes de la RCU donde existen discrepancias entre los autores	Discusión
1. Sistema en equilibrio o desequilibrio	La capacidad del sistema urbano para volver al equilibrio previo después de un impacto adverso frente a la idea de que las ciudades están en constante cambio y pueden no retornar a su estado previo.
2. Valoración del estado de equilibrio (positivo, neutro o negativo)	Adoptar la resiliencia como una cualidad positiva que busca volver a un estado deseable luego de una perturbación, frente al cuestionamiento ¿qué pasa si el estado original es indeseable?
3. Mecanismo para cambio del sistema	Exponen 3 posibles mecanismos de cambio desde la resiliencia urbana: 1) la persistencia, la cual refleja el principio de ingeniería de que los sistemas deben resistir la perturbación; 2) la transición, descrita como la capacidad de adaptarse de manera incremental; y 3) la transformación radical.
4. Adaptación general o específica	Distinciones entre adaptaciones específicas a amenazas ya conocidas y una adaptación general. Se argumenta que

	centrarse demasiado en la resiliencia de forma específica, entorpece la flexibilidad del sistema, la diversidad y la capacidad de responder a amenazas inesperadas inevitables.
5. Escala temporal de las acciones	Se considera la rapidez de recuperación como una característica esencial. El énfasis temporal a menudo depende de si el enfoque está en eventos extremos o en cambios climáticos más graduales e incluso si se habla de resiliencia pre-evento, durante el evento o post-evento.

Se podría decir que existe, de forma general, diversos enfoques relacionados con la resiliencia climática urbana, lo cual se demuestra con la variedad de autores que abordan conceptualmente la relación resiliencia, ciudad y clima, en la literatura. Para cada autor/a, existen características o atributos de la resiliencia climática más pertinentes que otros; por ejemplo, Henstra (2012) citado por [15] propone la siguiente definición *“Una ciudad resiliente al clima (...) tiene la capacidad de resistir las presiones del cambio climático, responder de manera efectiva a los peligros relacionados con el clima y recuperarse rápidamente de los impactos negativos residuales”* donde expresa una postura con respecto a los componentes tres y cinco mencionados en el Cuadro 2.1. Por otro lado, según [16] la resiliencia climática urbana se define como *“la capacidad de (...) una comunidad (...) para responder dinámica y eficazmente a las circunstancias climáticas cambiantes mientras continúa funcionando a un nivel aceptable”*, referenciando los componentes dos y cuatro.

No obstante, la base teórica para efecto de este trabajo es la definición propuesta por el IPCC citado por [17] sobre la resiliencia climática aplicada a centros urbanos, la cual se define como *“la capacidad de los centros urbanos y de los sistemas de los que dependen para anticipar, reducir, o recuperarse de los efectos de un evento adverso de manera oportuna y eficiente”*. Además, la definición establece que la resiliencia puede construirse al reducir los impactos generados por un evento climático; sin embargo el nivel de impacto puede llegar a depender de factores o características intrínsecas del centro urbano que lo colocan en un mayor o menor estado de vulnerabilidad.

El análisis de la resiliencia climática a nivel urbano se comienza a fortalecer y se vuelve un tema predominante al comprender que las ciudades y sus habitantes son sistemas dinámicos y complejos que requieren soluciones a diferentes escalas para enfrentar las perturbaciones

y amenazas tanto directas como indirectas derivadas del cambio climático [17]. Además, es necesario comprender que la resiliencia no es una característica que esté distribuida homogéneamente en el espacio urbano, sino que depende crucialmente de las capacidades socialmente diferenciadas de diferentes grupos e individuos que existen dentro del sistema urbano [18]. Es una dinámica entre el tejido urbano, los grupos vulnerables que habitan en él y las repercusiones que el cambio climático tiene sobre los mismos (Figura 2.4).

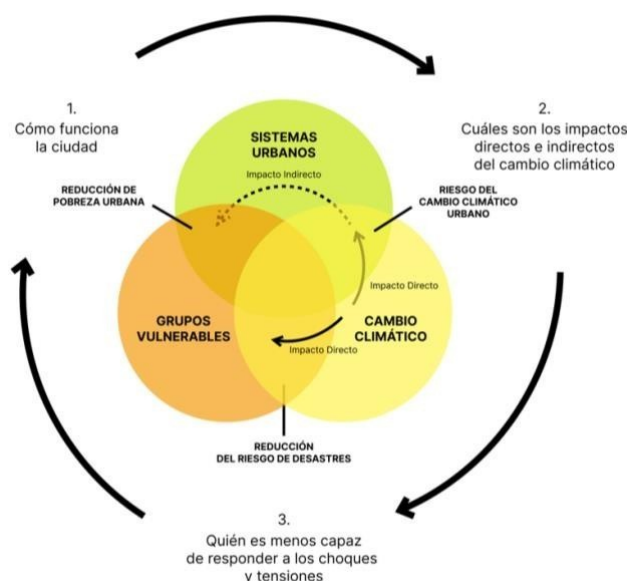


Figura 2.4: Impactos climáticos: un efecto compuesto que combina impactos directos, impactos indirectos y vulnerabilidades preexistentes. [16]

Reconocer la interrelación entre el cambio climático, el sistema urbano y los grupos vulnerables que habitan en él es importante para comprender que la capacidad de respuesta ante un evento climático adverso puede verse influenciada por los recursos disponibles que tiene la población afectada; no solamente en el ámbito económico como se muestra en la Figura 2.4 donde el nivel de pobreza juega un papel significativo, sino también en el ámbito social que abarca factores como la calidad de la educación, el ámbito institucional donde el rol de los gobiernos locales y las políticas públicas son fundamentales, el ámbito físico que incluye la calidad de la infraestructura y el ámbito ambiental, como el acceso al recurso hídrico.

2.1.3. Relación entre resiliencia y adaptación

Para comprender la relación entre resiliencia y adaptación, se presentan los conceptos relevantes de vulnerabilidad y riesgo. A pesar de que las definiciones de vulnerabilidad y resiliencia se han utilizado indistintamente en la literatura, estas sí poseen diferencias significativas y su relación conceptual se ha vuelto esencial. Según Susan Lynn Cutter *et al.* [19] la vulnerabilidad se define como la función de la exposición (quién o qué está en riesgo) y la sensibilidad del sistema, es decir, el grado en el que las personas o lugares pueden resultar dañados. Además, menciona que la vulnerabilidad es una característica inherente de los sistemas sociales que crea el potencial de daño, previa al evento adverso. Mientras que la resiliencia es la capacidad de un sistema social para responder y recuperarse de un desastre e incluye características inherentes que permiten que el sistema absorba los impactos y haga frente al evento adverso.

En otra de sus investigaciones, Susan Cutter [20] menciona que las comunidades y los grupos sociales contenidos en ellas pueden ser muy vulnerables ante una amenaza pero eso no significa que carezcan de resiliencia, por ejemplo: la comunidad vietnamita en el este de Nueva Orleans, Estados Unidos, era una comunidad socialmente vulnerable (inmigrante, no hablaba inglés, bajos ingresos) pero tenían una enorme resiliencia basada en un sólido capital humano, lo cual facilitó su rápida recuperación tras el Huracán Katrina, siendo una de las primeras comunidades de la ciudad en superar el evento y reconstruirse mejor. Es así como se puede determinar que la resiliencia no es la ausencia de vulnerabilidad ya que esta no se resiste a las consecuencias negativas de una situación, sino que hace referencia a la recuperación tras una experiencia traumática y una mayor cualificación o desarrollo posterior al evento [13].

En este contexto, se habla de vulnerabilidad ante los riesgos de los impactos potenciales del cambio climático. El IPCC [21] define este riesgo como “el potencial de consecuencias adversas para los sistemas humanos o ecológicos” y explica que dicho riesgo es el resultado de interacciones dinámicas entre amenazas relacionadas con el clima, la exposición y vulnerabilidad de los sistemas frente a la amenaza. Por ejemplo: el riesgo de inundación es causado por 1) el peligro de inundación (como la frecuencia y magnitud del evento), 2) la

exposición del sistema afectado (por ejemplo la topografía del suelo) y 3) la vulnerabilidad del sistema (como el diseño y calidad de infraestructura, activación de sistemas de alerta temprana, entre otros). Es así como se observa la relación entre la resiliencia, el riesgo y la vulnerabilidad; el riesgo siempre va a existir pero este puede incrementar o disminuir a medida que la vulnerabilidad y la resiliencia del sistema varían.

Para disminuir la vulnerabilidad de un sistema, el mismo debe encontrar formas de adaptarse. La Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Costa Rica, define la adaptación como *“el conjunto de acciones e intervenciones públicas o privadas de cara a los impactos probables del cambio climático, tendientes a reducir condiciones de vulnerabilidad que permitan moderar daños y evitar pérdidas, aprovechando las oportunidades para potenciar la resiliencia de sistemas económicos, sociales y ambientales, a escala nacional, regional y local de forma medible, verificable y reportable”* [22].

La adaptación puede lograrse al implementar las medidas pertinentes. Estas medidas corresponden a *“aquellas acciones e intervenciones que se implementan para abordar los impactos probables del cambio climático y la variabilidad climática, con el fin de reducir condiciones de vulnerabilidad; moderar daños y evitar pérdidas”* [4]. Las mismas serán más efectivas si se implementan en asociación a otras comunidades, gobiernos locales y nacionales, instituciones educativas, sector público y privado, entre otros [4]. A manera de ejemplo, pueden existir acciones adaptativas como la incorporación de árboles en zonas urbanas para combatir las islas de calor, las mejoras en infraestructura pública para gestionar el riesgo de inundaciones, la planificación del uso del suelo para delimitar zonas de riesgo ante deslizamientos, entre otras.

Se puede observar que existe una estrecha relación entre la adaptación y la resiliencia, ya que las acciones adaptativas se consideran uno de los mecanismos más eficientes para construir resiliencia y es gracias a esta última que se puede mantener la capacidad de adaptarse ante cualquier evento adverso (Figura 2.5).

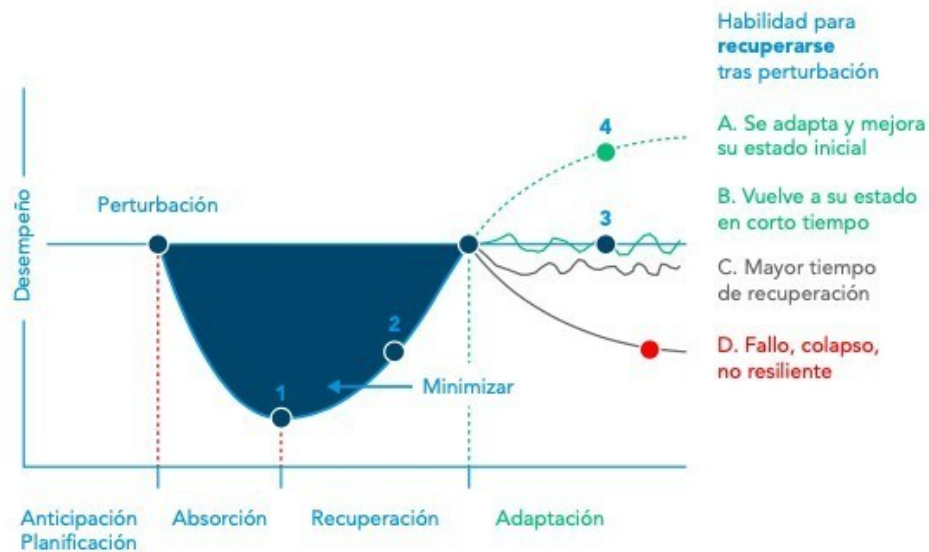


Figura 2.5: La resiliencia tras una perturbación y su relación con la adaptación. [4]

Ante la presencia de cualquier evento o perturbación ocasionado por la variabilidad climática o el cambio climático la manera en la que funciona normalmente cualquier sistema ya sea natural o humano, puede declinar y alcanzar un estado inferior al habitual (punto 1 de la Figura 2.5). Esta declinación ocurre mientras el sistema absorbe lo sucedido y reacciona ante la perturbación. Transcurrido este tiempo, este mismo sistema puede tener la capacidad de recuperarse (punto 2) y volver a su estado inicial, antes del suceso (punto 3). Si a esta capacidad de recuperación se le añade una capacidad adaptativa, es decir, el sistema es capaz de aprovechar la oportunidad y reducir sus condiciones de vulnerabilidad, puede llegar a alcanzar un estado superior a su estado inicial (punto 4). Si lo anterior ocurre, se trata de un sistema resiliente, capaz de transformarse de manera positiva y emplear los aprendizajes adquiridos tras esta perturbación en un evento adverso futuro con el objetivo de disminuir el tiempo de absorción e iniciar una recuperación rápida y eficaz [4].

2.2. ASENTAMIENTOS INFORMALES

2.2.1. Asentamientos informales ante el cambio climático

Un asentamiento humano es la zona geográfica donde se establece una persona o comunidad. Al hablar de asentamientos humanos de carácter informal se hace referencia a aquellos asentamientos que se desarrollan fuera de los ordenamientos jurídicos establecidos; esto quiere decir, que la mayoría de los habitantes no ostentan derecho de tenencia sobre el terreno

o vivienda que ocupan. Usualmente, los mismos no cumplen con las leyes y normas de planificación y construcción pertinentes ni con las regulaciones de salud pública y seguridad [23].

Estos asentamientos se consideran un fenómeno urbano global ya que aproximadamente el 25% de la población mundial habita en ellos y son la manifestación más clara de la desigualdad social que ha caracterizado a muchas ciudades. Según explica ONU-Hábitat [2] los mismos existen en contextos urbanos de todo el mundo, incluso en los países más desarrollados, y varían sus formas, tipologías, dimensiones y ubicaciones. No obstante, estos se originan a raíz de una serie de factores comunes e interrelacionados como el acelerado crecimiento poblacional, la migración rural-urbana, la falta de vivienda asequible para la población de escasos recursos económicos, la gobernanza deficiente en temas de gestión urbana, la vulnerabilidad económica y el trabajo informal, los desplazamientos por conflictos, cambio climático, entre otros.

Los habitantes de estos asentamientos generalmente se encuentran en condiciones de pobreza y se enfrentan a una serie de privaciones como a) falta de acceso a servicios básicos: agua potable y saneamiento, electricidad, transporte y vivienda digna; b) condiciones de vivienda hacinadas y precarias; c) ausencia de participación en procesos de toma de decisiones políticas [2]. Esta desigualdad incluso está marcada por un acceso diferencial a servicios de salud pública, protección social, educación y tecnología, por lo que estas zonas se consideran las más inequitativas del planeta.

Con frecuencia estos asentamientos se construyen en las zonas geográficas y ambientalmente más peligrosas de las áreas urbanas, representando un riesgo importante para la vida e integridad de sus residentes. Es común que se ubiquen a la orilla de los ríos, en suelos arenosos e inestables, cerca de industrias o rellenos sanitarios, zonas propensas a inundaciones o con pendientes muy pronunciadas [23]. La ausencia de un ordenamiento territorial efectivo en las distintas escalas geográficas de análisis hace que la presión demográfica y la mala gestión de las políticas de desarrollo urbano, incrementen el estado de vulnerabilidad socioambiental de estas comunidades.

Los asentamientos humanos usualmente cuentan con sistemas sociales, ecológicos y físicos débiles, convirtiéndolos en uno de los grupos más amenazados por el cambio climático a nivel mundial [1]. Sumado a lo anterior, su condición de informalidad es una vía a través de la cual la urbanización genera una vulnerabilidad diferenciada, que aumenta la exposición y la susceptibilidad de las estructuras físicas y sus habitantes a los riesgos relacionados con el clima. El nivel de vulnerabilidad de cada asentamiento informal depende de la variabilidad en sus características sociales y económicas, tanto grupales como individuales.

Dichas zonas urbanas pueden verse impactadas por el cambio climático en un amplio espectro de funciones, infraestructura y servicios de calidad, interactuando con tensiones ya existentes o incrementándolas. Por ejemplo, según indica el IPCC es común que los asentamientos informales se enfrentan a escasez de agua por una brecha entre la oferta y la demanda; a lo cual se le suma la creciente inseguridad hídrica relacionada al incremento de temperatura y disminución de precipitaciones por el cambio climático [1].

El cambio climático no solo dificulta que los habitantes de estas comunidades que se encuentran en mayor situación de pobreza escapen de esta realidad, sino que también crea un círculo vicioso de privación que les atrapa en un escenario urbano de altos daños y pérdidas. Según ONU-Hábitat cuando esta población sufre impactos por un evento relacionado al clima, sufren pérdidas relativamente mayores en términos de sus vidas y medios de subsistencia lo cual provoca mayor desigualdad y socavan las capacidades de las personas para resistir, hacer frente, adaptarse y recuperarse de futuros eventos [2].

Cabe destacar que los impactos a los cuales se enfrentan estos sistemas urbanos, requieren ser estudiados con base en las características propias de cada sistema y en el evento climático que los cause; no obstante con frecuencia los asentamientos informales se ven afectados por inundaciones que provocan destrucción de infraestructura pública, contaminación de fuentes de agua, proliferación de enfermedades, entre otros [24]; y por los crecientes efectos de las islas de calor urbanas, potenciados por la falta de vegetación urbana y las condiciones deficientes de vivienda, causando afectaciones significativas a la salud pública.

Específicamente en Costa Rica, los asentamientos informales surgieron en las décadas de los ochenta y los noventa, producto de fenómenos como la migración del campo a la ciudad, la industrialización y el agotamiento de los terrenos de bajo costo. Para el Estado fue cada vez más difícil desarrollar soluciones habitacionales que pudieran cumplir con la demanda de los sectores más necesitados, por lo que ante su ineficiente respuesta la población acudió a conformar grupos e invadir propiedad pública y privada, así como terrenos del estado, con el objetivo de encontrar vivienda mientras que al mismo tiempo ejercían presión sobre el gobierno para el otorgamiento de una solución definitiva [25].

Según estadísticas del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH) para el año 1987 existían 104 asentamientos que albergaban a 13.800 familias, esta cifra aumentó considerablemente para el año 2011 en donde se contabilizaron 354 asentamientos habitados por 39.054 familias; para el año 2023 se estimaron más de 700 asentamientos distribuidos a lo largo de todo el territorio nacional de los cuales aproximadamente el 42,3% se encuentran dentro del Gran Área Metropolitana (GAM) acogiendo a más de 132.000 habitantes. No obstante, estas cifras se proyectaron con la información del Censo Nacional de Población y Vivienda 2011, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) por lo que no necesariamente representan la realidad actual. Los datos del Censo 2011 continúan utilizándose debido a que Costa Rica enfrentó múltiples desafíos que impidieron la ejecución adecuada de un nuevo Censo en el año 2022.

Un estudio de Mora Steiner publicado en el 2014 por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) brinda datos más actualizados sobre la población del país que reside en los asentamientos informales, a partir de proyecciones del Censo 2011 [26]. La autora estima que el 7% de la población nacional vive en asentamientos informales lo que corresponde a un total de 296.149 personas, de los cuales el 48,9% son hombres y el 51,0% mujeres. Además, señala que aproximadamente el 30,3% son menores a los 15 años de edad, que un 6,9% son madres solteras y que un 10,5% corresponde a personas con discapacidad [26]. Estos datos son relevantes porque estos grupos demográficos no solo enfrentan desafíos inherentes a sus condiciones sociales, sino que también son considerados particularmente vulnerables ante el cambio climático, exacerbando las desigualdades ya existentes.

El MIVAH expone una serie de factores o características que dificultan la reducción del déficit habitacional en el país, dentro de las cuales destacan: a) construcciones en sitios de riesgo ambiental o antrópico, b) limitaciones en la aplicación de políticas eficaces para mitigar los efectos del cambio climático, c) constantes afectaciones de viviendas por inundaciones, deslizamientos, incendios y sismos, d) carencia o desactualización de Planes de Ordenamiento Territorial a nivel local, e) falta de integración de áreas boscosas o corredores fluviales dentro de las políticas de vivienda, entre otros [25].

Según Quesada Román, la interacción entre la alta densidad poblacional y el hacinamiento en áreas geográficamente vulnerables ha expuesto a los asentamientos informales en la GAM costarricense a un mayor riesgo de desastres como deslizamientos de tierra e inundaciones, como resultado de eventos climáticos. La exposición a desastres de estos asentamientos hacinados tiene razones históricas, pero en las últimas décadas han crecido debido a la limitada acción de los gobiernos locales y a la ausencia de suficientes iniciativas por parte de las instituciones públicas que puedan mejorar las condiciones de vida de estas poblaciones [3].

2.2.2. Medición de resiliencia climática en asentamientos informales

La incorporación de la resiliencia climática en la agenda urbana ha respondido a la creciente amenaza del cambio climático sobre los sistemas urbanos y la necesidad de ejecutar acciones urgentes que promuevan no solamente la atención efectiva a dichos eventos sino la transformación hacia ciudades más inclusivas y sostenibles. Para lograr este nuevo desarrollo urbano, se requiere vincular integralmente el concepto de resiliencia en las diversas líneas de acción globales como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, el Acuerdo de París sobre Cambio Climático, entre otros [2].

Medir la resiliencia climática urbana puede ser un proceso complejo; sin embargo, a través de la medición se pueden identificar las capacidades actuales de una ciudad para adaptarse frente a impactos climáticos. Además, permite el seguimiento del progreso en la mejora de la resiliencia urbana a lo largo del tiempo, la priorización de recursos y la implementación

de estrategias específicas. Para analizarla se han desarrollado herramientas que permitan facilitar su entendimiento, como es el caso de los índices de resiliencia. Estos tienen como objetivo ayudar a las comunidades urbanas a identificar deficiencias o puntos sensibles y a partir de estas, idear planes de acción que permitan incrementar su estabilidad, disminuir su nivel de riesgo climático y construir el estado de resiliencia deseado. Además, dichos índices pueden aportar la evidencia necesaria para incrementar el sentido de urgencia frente a la toma de decisiones e intervenciones a favor de estas comunidades y destacar la importancia de la integración de la resiliencia en los procesos de gestión de las ciudades [27].

En el Cuadro 2.2 se visualizan algunos ejemplos de índices reportados en la literatura, los cuales se enfocan en contextos urbanos, la mayoría aplicables a ciudades desarrolladas. No obstante, no están enfocados de forma específica a comunidades urbanas vulnerabilizadas como los asentamientos informales.

Cuadro 2.2: Índices de resiliencia climática urbana encontrados en la literatura. [27]

Estudio	Referencia	Contexto	Enfoque
Un Marco para Definir y Medir la Resiliencia a Escala Comunitaria: El Marco de Resiliencia PEOPLES	Renschler <i>et al.</i> , 2010	Proporciona la base para el desarrollo de modelos cuantitativos y cualitativos que miden continuamente la funcionalidad y la resiliencia de las comunidades contra eventos extremos o desastres	Cambio Climático y desastres
City Resilience Index	The Rockefeller Foundation & ARUP, 2015	Índice compuesto para medir la resiliencia urbana, compuesto por 4 dimensiones y 52 indicadores.	Cambio Climático y desastres.
Medición de la Resiliencia Urbana ante el Cambio Climático en Tres Ciudades Chinas	Zhang <i>et al.</i> , 2020	El índice sugerido utiliza datos de 24 indicadores distribuidos en seis componentes. Permite comparaciones de ciudades de manera sistemática y cuantitativa, y facilita la identificación de puntos fuertes y débiles relacionados con la resiliencia urbana.	Cambio Climático
Construcción de un Índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático. Caso de Estudio: Medellín	Villada Estrada, 2020	Índice de resiliencia urbana (IRU) frente a la variabilidad y el cambio climático adaptado a las características propias de la ciudad de Medellín. Para su estimación se evaluaron 28	Cambio Climático

variables contenidas en cinco dimensiones.			
Resiliencia Urbana y Cambio Climático: Desarrollo de un Índice Multidimensional para Adaptarse al Cambio Climático en la Capital Iraní de Teherán.	Jamali <i>et al.</i> , 2023	Análisis factorial exploratorio sobre la resiliencia urbana al cambio climático en 22 distritos de Teherán, utilizando 4 dimensiones de estudio.	Cambio Climático

Una de las características más relevantes de las herramientas utilizadas para medir resiliencia climática es que permiten abordar la naturaleza multivariada y compleja de los sistemas socio ecológicos, abarcando aspectos sociales, económicos, ambientales, físicos, institucionales y normativos [27]. Dichas metodologías se construyen a partir de componentes e indicadores que representen las principales dimensiones del sistema urbano antes mencionadas, las cuales se sustentan principalmente de datos cuantitativos.

Los principales retos a la hora de medir resiliencia son a) la necesidad de realizar evaluaciones más integrales, b) la dificultad para evaluar resiliencia utilizando un número razonable de indicadores, c) la falta de herramientas efectivas en contextos con recursos limitados, d) la variabilidad de definiciones y enfoques sobre lo que constituye la resiliencia urbana, e) la falta de involucramiento de las comunidades locales en el proceso de evaluación, f) la interrelación entre múltiples factores que puede complicar la interpretación de los resultados, g) la escasez de datos confiables y actualizados sobre diversas variables que afectan la resiliencia [27], [28], [29].

Los indicadores en los estudios del Cuadro 2.2, se basan en datos continuos y actualizados. Si bien es el panorama ideal, resalta uno de los aspectos más relevantes y desafiantes a la hora de construir herramientas enfocadas en comunidades urbano-marginales: la poca disponibilidad y acceso a información. En el caso de Costa Rica, la ausencia de una prioridad ambiental en la planificación del uso del suelo en el país, ha dificultado la gestión de asentamientos informales, contribuyendo a la falta de información y datos actualizados sobre estas áreas [30].

A pesar de este reto, se encontraron dos antecedentes importantes sobre esta línea de investigación; el primero elaborado por Romero, Bermúdez y Duque [30] enfocado en desarrollar una evaluación cualitativa de indicadores y criterios que pueda convertirse en un sistema de seguimiento de la sostenibilidad socioambiental de las ciudades costarricenses. El segundo es la propuesta de un índice elaborado por Quesada Román [3] para determinar el riesgo de desastres de cada asentamiento informal de la GAM en Costa Rica; para el cual se tomó en consideración que la información básica para el cálculo de peligros, exposición y vulnerabilidad suele ser escasa, limitada o de baja calidad en asentamientos informales de países menos desarrollados. Si bien este índice se enfoca en riesgo y no en resiliencia, toma en consideración parámetros que se asocian a esta última.

Actualmente no se registra en el país ninguna herramienta que permita medir resiliencia climática en asentamientos informales urbanos que tome en consideración la falta de datos confiables y representativos. Además, se observa una carencia de instrumentos en esta línea que adopten un enfoque menos técnico, lo que limita su aplicación a personas o entidades que deseen implementarlas en un contexto comunitario. Esta situación resalta la necesidad de desarrollar metodologías accesibles y comprensibles que simplifiquen los procesos complejos y que empoderen a las comunidades locales, facilitando su participación activa en la evaluación y mejora de su resiliencia ante los desafíos climáticos.

2.3. INDICADORES AMBIENTALES

2.3.1. ¿Qué es un indicador y cómo se construye?

Cuando se desea medir el estado de una variable, una situación, un resultado, o como en este caso el nivel de resiliencia climática, los indicadores son una herramienta útil y eficiente para ejecutar dicha medición. Un indicador es esencialmente una herramienta para obtener información de un fenómeno (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3: Definiciones de indicador. [31]

Definición	Referencia
Es una expresión cualitativa o cuantitativa, que es observable y permite describir las características, comportamientos o fenómenos de la realidad, a través de la evolución de una variable o de la relación entre variables, las cuales una vez comparadas con periodos anteriores, con productos similares o con una meta establecida, permitirá evaluar cómo se ha desarrollado esta variable en el tiempo.	Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] de Colombia, 2005.
Es una herramienta que suministra información cuantitativa respecto del logro o resultado en la entrega de bienes o servicios generados por la institución, cubriendo tanto aspectos cuantitativos como cualitativos. Deberá estar orientado a medir aquellos aspectos claves o factores críticos que interesa dar seguimiento, lo que necesariamente implica tener definidos con claridad, los objetivos de la intervención, identificando las variables relevantes que se relacionan con los productos estratégicos y los efectos esperados.	Armijo, Marianela. Lineamientos metodológicos para la construcción de indicadores de desempeño. Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social [ILPES] CEPAL. 2008.
Son cifras que se obtienen empíricamente (cuantitativamente o cualitativamente), que se pretende posibiliten una comparación entre situaciones del “debe ser - es” en lo concerniente a los objetivos de proyectos o programas.	Reinhard, Stockmann. Manual de Evaluación, Una guía práctica de procedimientos, editorial UCR., 2011.
Medida que permite conocer el grado de cumplimiento de las metas asociadas a los objetivos y resultados planeados.	MIDEPLAN, 2018

Para efectos de este trabajo, se tomará como base la definición propuesta por el DANE, la cual permite comprender que los indicadores pueden medirse de forma cuantitativa, es decir, que generan resultados numéricos, o de forma cualitativa, que expresan cualidades o características. Además, enfatiza en que un indicador es observable y evoluciona a través del tiempo por lo que se puede evaluar el desarrollo de la variable que se desea medir y así registrar cambios en los resultados cuando sea pertinente.

Al construir indicadores, se busca que los mismos cuenten con ciertos atributos o características los cuales dan calidad en su definición, con el objetivo de que los mismos permitan medir lo que se requiere en el tiempo previsto y con los recursos disponibles. Los indicadores no se construyen procesando todo lo que ya existe, sino planteándose desde un principio qué información se requiere, qué tipo de intervención se puede realizar y qué indicadores pueden ayudar a perfilar esta intervención. Además, es importante definir las

distintas fuentes de información y elegir las mejores posibles, tomando en consideración las restricciones de disponibilidad de información que pueden existir [32].

2.3.2. Indicadores ambientales al medir resiliencia climática

Los indicadores ambientales corresponden a aquellos que se ocupan de describir y mostrar los estados y las principales dinámicas ambientales, por ejemplo: cantidad y calidad de agua, recursos naturales, contaminación urbana, producción de desechos sólidos, entre otros [32].

La literatura expone una serie de indicadores ambientales que marcan una base común al medir resiliencia climática a nivel urbano desde la dimensión ambiental. Estos se basan en factores y recursos ambientales que tienen una importante relación con la capacidad de las ciudades para hacer frente a los impactos climáticos y por esta razón es necesario explorar su vínculo con la resiliencia climática.

Una de las categorías desarrolladas de indicadores ambientales se enmarca alrededor de las amenazas naturales, en donde diversas herramientas de medición de resiliencia proponen indicadores basados en la intensidad de la amenaza, frecuencia de la amenaza y nivel de riesgo frente a la amenaza. No obstante, estos son mayormente utilizados al realizar análisis de resiliencia ante riesgo de desastres.

Otro gran enfoque de los indicadores ambientales y uno de los más relevantes es la gestión del agua. El cambio climático está contribuyendo a las sequías y a la inseguridad hídrica urbana, al mismo tiempo que interactúa con las presiones poblacionales, los desafíos de la gobernanza del agua y los usos competitivos del agua. Se estima que el 25% de las ciudades a nivel mundial ya enfrentan estrés hídrico, y los desafíos de la gestión del agua solo aumentarán con el incremento de las temperaturas [2]. Cerca de la mitad de la población en 15 ciudades principales del mundo carece de acceso a agua potable por tuberías, mientras que el 64% depende de servicios de saneamiento gestionados de manera insegura, lo que los expone a diversos riesgos para la salud y el medio ambiente [2]. Este es un desafío principalmente para los residentes de barrios marginales y asentamientos informales quienes experimentan en mayor medida la falta de acceso a servicios de agua potable y saneamiento [2].

Al acceso limitado se le suman otras variables como la calidad del agua potable, el nivel de cobertura del servicio, su nivel de asequibilidad y la formalidad de este. Estas condiciones aumentan el estado de vulnerabilidad de las comunidades urbanas ante impactos climáticos, ya que por ejemplo durante eventos climáticos extremos, como sequías o inundaciones, la falta de acceso a agua potable podría obligar a la población afectada a depender de fuentes no seguras para consumo, lo que compromete aún más su capacidad para recuperarse frente al evento. Lo anterior sumado al bajo porcentaje de saneamiento o la falta de infraestructura adecuada para aguas residuales, aumenta la presión sobre los sistemas de salud locales, provocando que la comunidad sea menos resiliente.

En este sentido se han desarrollado indicadores enfocados en la calidad y cantidad del agua, en el estado de los cuerpos de agua, en el porcentaje de aguas tratadas, entre otros. Además, se han incluido indicadores sobre agua pluvial debido a que las viviendas informales y formales de bajos ingresos pueden volverse más resilientes a las fuertes lluvias y las inundaciones mediante la mejora de los aleros de los techos y la recolección de agua de lluvia para diversos usos como el aseo del hogar [2].

También se han propuesto indicadores ambientales relacionados a la gestión de residuos sólidos. Según el World Cities Report 2022 [2] el 90% de los residuos sólidos se desechan a cielo abierto o se queman en países de bajos ingresos, y a nivel mundial, el 33% de los residuos municipales no se gestionan de manera ambientalmente segura, en parte debido al alto costo económico que esto representa. Los residuos sólidos no solamente representan una gran fuente de GEI que contribuyen al cambio climático, sino que su inadecuada gestión hace que las comunidades sean menos resilientes a impactos climáticos debido a que aumentan la contaminación del suelo y el agua, pueden propagar enfermedades a través de vectores representando un riesgo sanitario perpetuando ciclos de vulnerabilidad y pobreza. Incluso su acumulación en sectores como ríos, quebradas y alcantarillado sanitario puede agravar los riesgos de inundación. En asentamientos informales, la gestión inadecuada de residuos sólidos es una grave problemática que usualmente se relaciona con factores como la ausencia de caminos accesibles para los camiones de recolección, la falta de recursos económicos para pagar servicios formales de recolección, la falta de programas educativos que fomenten prácticas sostenibles, entre otros.

Al medir resiliencia climática, las herramientas también presentan indicadores asociados a las áreas verdes urbanas. La infraestructura verde en la cual se incluyen espacios verdes, parques urbanos, corredores arbóreos, entre otros, ofrece múltiples beneficios a nivel ambiental, social y económico. Aporta a la reducción de las emisiones GEI, proporciona sombra lo cual reduce la temperatura del aire y mitiga las islas de calor, favorece la conservación de la biodiversidad urbana al facilitar la coexistencia de especies, brinda espacios de recreación promoviendo la salud física y mental de la población, entre otros [33].

Dichos aportes aumentan la resiliencia climática de las comunidades urbanas al funcionar como microclimas que proporcionan frescura ante altas temperaturas, no obstante el acelerado crecimiento poblacional y el aumento de la infraestructura gris (edificios, carreteras, viviendas) sin una planificación adecuada propiciado que sean cada vez menos las áreas verdes urbanas dentro de las ciudades, especialmente en comunidades en condiciones de hacinamiento. Las desigualdades urbanas se manifiestan en el acceso diferenciado a los servicios ecosistémicos, como el menor acceso a espacios verdes. Estas desigualdades pueden tener ramificaciones mortales a medida que el cambio climático impacta la salud urbana [2].

Con respecto a las características geográficas de la comunidad y el uso de suelo, herramientas como [29], [34], [35], han planteado indicadores referentes al grado de pendiente del terreno, a la identificación de áreas propensas a inundaciones, a las zonas de cultivo, entre otros. Específicamente, las áreas de protección de los ríos son relevantes ya que en el caso de los asentamientos informales estos usualmente no cumplen con las regulaciones de planificación urbana, lo cual incrementa su estado de vulnerabilidad al encontrarse ubicados a orillas de cuerpos de agua que pueden desbordarse como consecuencia de las fuertes lluvias y la erosión del suelo.

Sobre esta línea se han desarrollado indicadores que estudian por ejemplo el nivel de cobertura vegetal, el acceso a las áreas verdes y el porcentaje de área verde con respecto al área gris. Además, como parte de la relación fundamental de las comunidades con los ecosistemas naturales, también se exponen indicadores relacionados a evaluar las Áreas

Protegidas, los servicios ecosistémicos, la biomasa y la biodiversidad. En menor escala se han presentado indicadores ambientales sobre calidad del aire, seguridad alimentaria y restauración ecológica.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES

3.1.1. Criterios para selección de artículos

Se realizó una revisión sistemática de literatura sobre metodologías de cuantificación de resiliencia climática urbana publicadas en bases de datos digitales como ScienceDirect, Scopus, Google Scholar, SciELO y Dialnet. Se seleccionaron las opciones que se encontraran bajo los filtros en inglés: “urban climate resilience index”, “climate change resilience”, “urban resilience in informal settlements” y en español: “resiliencia climática urbana”, “resiliencia y cambio climático”, “asentamientos informales”, “medición de resiliencia climática”. Los artículos recopilados fueron sometidos a un análisis comparativo con el fin de identificar sus características principales y seleccionar aquellos que resultaran más adecuados para el posterior análisis de indicadores ambientales. Para este proceso se utilizó Microsoft Excel y se establecieron cinco criterios con su respectiva escala de puntuación (Figura 3.1).

Criterios		Escala de puntuación
Año de publicación	• Hace más de 5 años	1 punto
	• Hace 5 años o menos	2 puntos
Objeto de estudio	• Comunidades urbanas en general	1 punto
	• Asentamientos informales	2 puntos
Indicadores ambientales	• No se incluyen	0 puntos
	• Sí se incluyen	1 punto
Alcance	• Citado menos de 200 veces	1 punto
	• Citado más de 200 veces	2 puntos
Contextualizado en América Latina	• No	0 puntos
	• Sí	1 punto

Figura 3.1: Criterios comparativos y su respectiva escala de puntuación para selección de artículos.

Según la escala de puntuación establecida, el puntaje máximo que podía alcanzar un artículo es de 8 puntos. Por lo tanto, los artículos seleccionados para el análisis detallado de indicadores ambientales fueron aquellos que obtuvieron más de la mitad de este puntaje, es decir, aquellos cuyo total fue de 5 puntos o más.

3.1.2. Clasificación y análisis de indicadores ambientales

Una vez completado el proceso de filtrado y selección de artículos, se llevó a cabo un análisis de los indicadores ambientales mediante la recopilación de todos los indicadores propuestos en la dimensión ambiental de cada metodología. La información se sintetizó utilizando Microsoft Excel y posteriormente los indicadores se clasificaron en función de las temáticas abordadas. Es importante destacar que estas categorías no fueron predefinidas, sino que emergieron de manera inductiva a partir de los temas identificados en los indicadores analizados.

Una vez que se completó la clasificación de los indicadores en categorías, se procedió a agruparlos con el fin de identificar temáticas de estudio dentro de dichas categorías, permitiendo un análisis más detallado de los mismos. Finalmente, para determinar dentro de cuales temáticas se propondrían los indicadores de este trabajo, se tomó como base el criterio de disponibilidad y accesibilidad de datos a nivel nacional así como también la adaptabilidad de los indicadores a las características de los asentamientos informales.

3.2. VALIDACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES

Se desarrolló un formulario para facilitar el proceso de validación. Utilizando esta herramienta, se realizaron entrevistas a seis profesionales en áreas vinculantes al estudio de la resiliencia climática urbana (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1: Perfil profesional de las personas expertas entrevistadas

Nº	Perfil profesional
Experta 1 (E1)	PhD. Researcher y Máster en Asentamientos Humanos, Arquitectura y Planificación
Experta 2 (E2)	Licenciada en Ingeniería Ambiental con experiencia en adaptación
Experta 3 (E3)	Arquitecta especialista en planificación urbana y ordenamiento territorial
Experta 4 (E4)	Máster en Estudios Ambientales, Ciudades y Sostenibilidad
Experta 5 (E5)	PhD. Land Use Planning & Management/Development
Experto 6 (E6)	Licenciado en Ingeniería Ambiental con experiencia en gobernanza

La etapa de validación contó con dos fases. En la primera fase se realizaron tres entrevistas, una presencial y dos virtuales, de las cuales participaron los expertos E1, E2 y E3. En esta fase se validó la primera propuesta de indicadores ambientales y su respectiva unidad de medición sugerida. Una vez realizados los ajustes necesarios según los resultados obtenidos de la primera fase de validación, se ejecutó la segunda fase en la cual se validó de forma completamente virtual la nueva propuesta con los expertos E2, E4, E5 y E6. Por lo tanto, se realizaron un total de siete entrevistas entre los meses de marzo y mayo del 2024.

3.3. DISEÑO DEL CONJUNTO DE INDICADORES AMBIENTALES

Se diseñó un conjunto de indicadores ambientales, los cuales fueron presentados mediante un resumen ejecutivo, con el objetivo de sintetizar la información y comunicarla de manera clara y accesible al usuario, facilitando así su socialización.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES

4.1.1. Análisis de artículos

Como resultado de la búsqueda en las bases de datos digitales, se seleccionaron 20 artículos con metodologías de cuantificación de resiliencia climática urbana, los cuales al ser analizados con base en los criterios establecidos en la sección 3.1 de la metodología, presentaron los resultados que se muestran en el Apéndice 3.

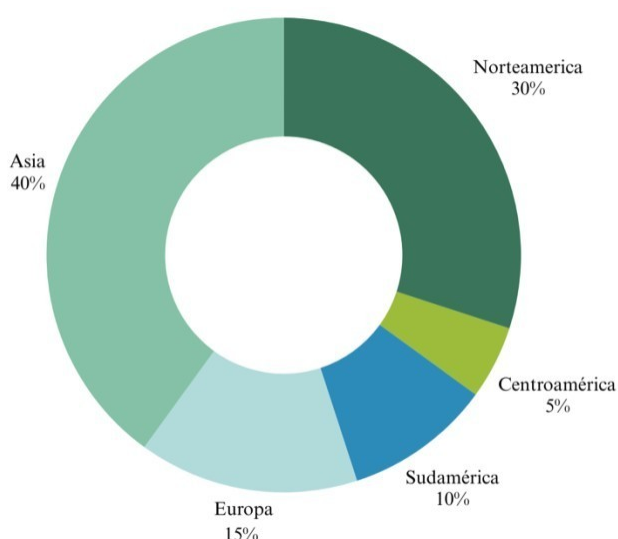


Figura 4.1: Regiones geográficas en las cuales se contextualizan los artículos analizados.

Con base en los resultados respecto a la región geográfica, se puede observar que las metodologías sobre resiliencia climática urbana se contextualizan principalmente en Norteamérica y Asia, específicamente en países como Estados Unidos, Iran y China. Por el contrario, son solamente cuatro las que se enfocan en América Latina (México, Ecuador, Colombia y Costa Rica). El tamaño de la población en cada una de estas regiones podría considerarse un factor influyente con respecto a los porcentajes presentados en la Figura 4.1, siendo Asia y Norteamérica zonas densamente pobladas que albergan una fracción significativa de la población mundial, en contraste con otras regiones como Centroamérica. Particularmente, Centroamérica es una zona que por su ubicación geográfica y grandes desafíos socioeconómicos es considerada altamente vulnerable a los impactos del cambio.

Profundizar en el estudio de la RCU en esta región resulta necesario, no obstante, factores como las frágiles políticas públicas y el financiamiento insuficiente han limitado el desarrollo de investigaciones en temas climáticos y la disponibilidad de datos actualizados [36].

En cuanto al año de publicación de las metodologías analizadas, las mismas abarcan desde el 2010 hasta la actualidad, de las cuales 8 se publicaron hace más de 5 años y 12 hace 5 años o menos. Simultáneamente, se identificó que estas metodologías pueden clasificarse en tres enfoques: resiliencia ante desastres, resiliencia ante cambio climático y resiliencia en términos de sostenibilidad urbana. Se analizó la variabilidad de estos enfoques con respecto a los años de publicación (Figura 4.2).

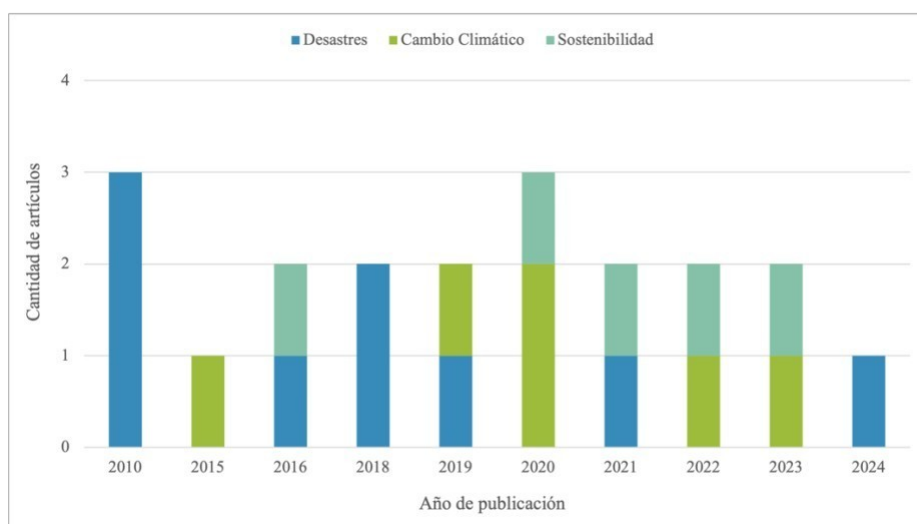


Figura 4.2: Tendencia de enfoques según año de publicación de los artículos analizados.

El estudio de la resiliencia urbana ha sido progresivo desde hace más de una década. El análisis realizado sitúa la mayor cantidad de artículos en los años 2010 y 2020. Se observa que a partir del año 2015, las investigaciones fueron más constantes año tras año, reflejando una tendencia hacia el diálogo sobre el cambio climático y la resiliencia urbana. Lo anterior podría asociarse a la adopción del Acuerdo de París, la socialización de datos climáticos alarmantes y el impulso hacia políticas locales que fomentan la adaptación y mitigación ante el cambio climático.

Con respecto a los tres enfoques identificados según las metodologías, estos se encuentran distribuidos de manera muy similar a través de los años. Si bien no se incluyeron como un criterio en el proceso de comparación y puntuación de artículos, los tres enfoques presentan indicadores que se consideran valiosos a la hora de medir resiliencia urbana y cuentan con perspectivas que permiten tomar en consideración las interrelaciones existentes. El desarrollar resiliencia climática no solo fortalece la capacidad de respuesta ante esa circunstancia particular, sino que también contribuye a otras líneas de acción. Por ejemplo, trabajar en las temáticas que proponen los indicadores ambientales de resiliencia climática no solo permitirá responder ante eventos climáticos sino también será un catalizador para el desarrollo sostenible.

Los resultados con respecto al criterio del objeto de estudio de las metodologías analizadas muestran que 17 de los 20 artículos se dirigen a comunidades urbanas en un contexto generalizado correspondientes a un 85% del total, mientras que solamente 3 artículos, es decir un 15% se enfocan en asentamientos informales específicamente (Figura 4.3).

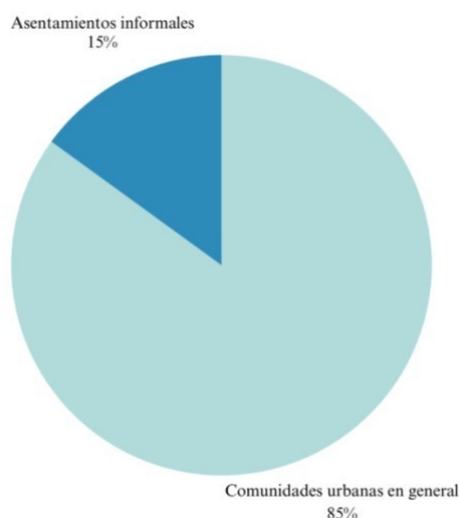


Figura 4.3: Objetos de estudio de los artículos analizados.

Los datos demuestran que las investigaciones sobre resiliencia climática en comunidades urbanas a nivel general son predominantes en comparación con los escasos estudios que utilizan los asentamientos informales como objeto de análisis. Lo anterior es importante de resaltar ya que evidencia el vacío en los estudios dirigidos de manera independiente para

estas comunidades, a fin de abordar adecuadamente sus contextos y características particulares.

Como menciona Sánchez Rodríguez [37] la poca disponibilidad y acceso a información acerca de estas comunidades urbano-marginales podría considerarse un factor influyente al momento de elegir las como objeto de estudio. No obstante, el continuar excluyéndolas de estas investigaciones acentúa el vacío de información existente, promoviendo un ciclo que las posiciona en un mayor estado de vulnerabilidad. Otro aspecto significativo del análisis, es que las tres metodologías enfocadas en asentamientos informales se enfocan en resiliencia en términos de sostenibilidad urbana. Esto podría indicar que existe la necesidad de ampliar la investigación hacia otros enfoques, específicamente el de resiliencia climática urbana y su vínculo directo con estas comunidades.

Con respecto al criterio de alcance, se obtuvo que 14 metodologías tienen menos de 200 citaciones en otros artículos mientras que solamente 6 están citados más de 200 veces. El artículo más citado es el de Cutter *et al* [38] con más de 2000 citaciones, el cual si bien se enfoca prioritariamente en el estudio de la vulnerabilidad climática, es considerado una de las investigaciones base más importantes y referenciadas en el estudio de la resiliencia climática. Este criterio fue establecido debido a que existen metodologías que han sido ampliamente validadas por su replicabilidad como por ejemplo el City Resilience Index, las cuales son importantes de incluir por la robustez de sus indicadores.

Al analizar el último criterio correspondiente a la inclusión de indicadores ambientales, se obtuvo que el 80% de las metodologías sí los incluyen mientras que el 20% no contaban con una dimensión ambiental (Figura 4.4). Uno de los artículos que no incluyen indicadores en esta área es el Cutter *et al* [38] por lo que en este caso específico no se tomó en consideración para la siguiente etapa del análisis de indicadores ambientales, además de que no obtuvo el puntaje mínimo.

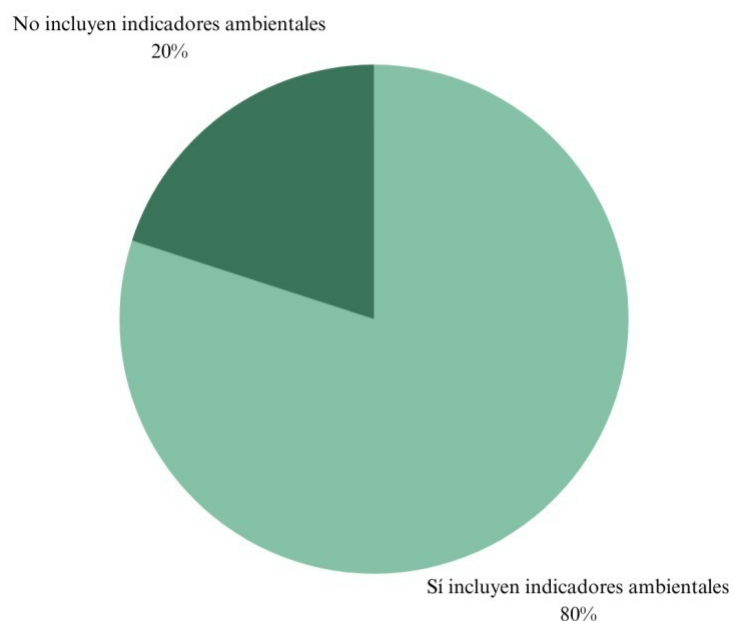


Figura 4.4: Inclusión de indicadores ambientales los artículos analizados.

4.1.2. Análisis de indicadores ambientales

De los 20 artículos analizados, se obtuvieron 16 artículos con una puntuación de 5 puntos o más. No obstante, es importante destacar que el artículo de Camacho Sanabria *et al* [39] a pesar de obtener 5 puntos en la escala de puntuación y desarrollarse en un contexto latinoamericano, se excluyó debido a la falta de indicadores ambientales en su metodología. En el Cuadro 4.1 se presentan los artículos seleccionados junto con los indicadores ambientales propuestos por cada uno de ellos.

Cuadro 4.1: Artículos seleccionados y sus indicadores ambientales.

Artículo	Referencia	Dimensión de estudio	
Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC)	Hazards & Vulnerability Research Institute (HVRI) of the University of South Carolina, 2010	Resiliencia ecológica	• Proveedores de alimentos • Amortiguadores naturales • Uso eficiente de la energía • Superficies permeables • Uso eficiente del agua
A Framework for Defining and Measuring Resilience at the Community Scale: The PEOPLES Resilience Framework	Renschler et al., 2010	Ambiental / Ecosistema	• Calidad/Cantidad de agua • Calidad del aire • Calidad del suelo • Biodiversidad • Biomasa • Otros recursos naturales
City Resilience Index	The Rockefeller Foundation & ARUP, 2015	Vulnerabilidad humana mínima	• Acceso inclusivo a agua • Saneamiento efectivo
Análisis Multidimensional de la Resiliencia en zonas de desastre: factores críticos de adaptabilidad en Baños de Agua Santa, Ecuador	Herrera Enriquez, 2016	Resiliencia ecológica	• Riesgo de amenaza natural • Biodiversidad ecológica • Áreas protegidas • Erosión • Frontera de producción • Superficies de cultivo
Indicators for Monitoring Urban Climate Change Resilience and Adaptation	Feldmeyer et al., 2019	Ambiente	• Suelo y espacios verdes • Cuerpos de agua • Biodiversidad • Aire
Evaluación cualitativa de indicadores de sostenibilidad socioambiental para su selección y aplicación en ciudades costarricenses	Romero Vargas et al., 2020	No cuenta con nombre específico	• Huella Hídrica • Calidad de agua superficial • Consumo de agua • Permeabilidad del suelo • Porcentaje del cambio climático • Porcentaje de residuos • Frecuencia en el servicio • Cantidad de aguas residuales • Cantidad y calidad de agua
Construcción de un Índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático. Caso de Estudio: Medellín	Villada Estrada, 2020	Ambiental	• Índice de calidad de agua • Índice de calidad de aire • Número de áreas protegidas • Tasa de deforestación • % de residuos que son reciclados
Measuring Urban Resilience to Climate Change in Three Chinese Cities	Zhang et al., 2020	Entorno ecológico	• Proporciones del día cálido • Cobertura verde urbana • Tasa de reutilización de agua

Continuación Cuadro 4.1

Artículo	Referencia	Dimensión de estudio	
Analyzing the resilience of urban settlements using multiple-criteria decision-making (MCDM) models (case study: Malayer city)	Javari et al., 2021	No cuenta con nombre específico	• Acceso a espacios verdes • Pendiente del terreno • Distancia de las fallas • Distancia de zonas prop...
Exploring Climate Disaster Resilience: Insight into City and Zone Levels of Southern Taiwan	Imani et al., 2021	Natural	• Inundaciones, sequías, • Calidad de biodiversida • Áreas vulnerables a am • Políticas ambientales
Indicators of urban climate resilience (case study: Varamin, Iran)	Barzaman et al., 2022	Ambiente	• Cantidad de recursos hi • Diversidad de especies v • Variaciones de precipita • Sequía • Hundimiento del terren • Calidad del aire y conta
Evaluation and Factor Analysis for Urban Resilience: A Case Study of Chengdu–Chongqing Urban Agglomeration	Wang et al., 2022	Resiliencia ecológica	• Tasa de cobertura ecoló • Superficie de espacios v • Descargas de aguas resi • Emisiones industriales c • Emisiones industriales c • Tasa de tratamiento cer • Tasa de utilización inte
Urban Resilience and Climate Change: Developing a Multidimensional Index to Adapt against Climate Change in the Iranian Capital City of Tehran	Jamali et al., 2023	Ecoambiental	• Calidad del agua • Calidad del aire • Área de espacios verdes • Pendiente del terreno • Elevación del terreno
Urban human settlements’ resilience measurement and characteristics and their mechanism model in China	Zhou et al., 2023	No cuenta con nombre específico	• Volumen total de humo • Volumen total de aguas • Volumen total de residu • Recurso de agua per cá • Espacio verde recreativ • Porcentaje de aguas res • Porcentaje de residuos c • Restauración ecológica
Building Resilient Cities: A Comprehensive Review of Climate Change Adaptation Indicators for Urban Design	Díaz et al., 2024	Ambiental	• Medición de condicione • Determinación de riesg • Porcentaje de suelo con

En total se identificaron 77 indicadores ambientales. Estos indicadores fueron clasificados y agrupados en 8 categorías principales según sus temáticas: agua, aire, biodiversidad y recursos naturales, espacios verdes, residuos, riesgos ambientales, suelo y uso de suelo. Adicionalmente, hay 2 indicadores que no se alineaban con las 8 categorías identificadas, los cuales se integraron de manera individual en las temáticas de: energía y políticas ambientales. En la Figura 4.5 se puede observar con detalle la distribución de los indicadores dentro de cada categoría.

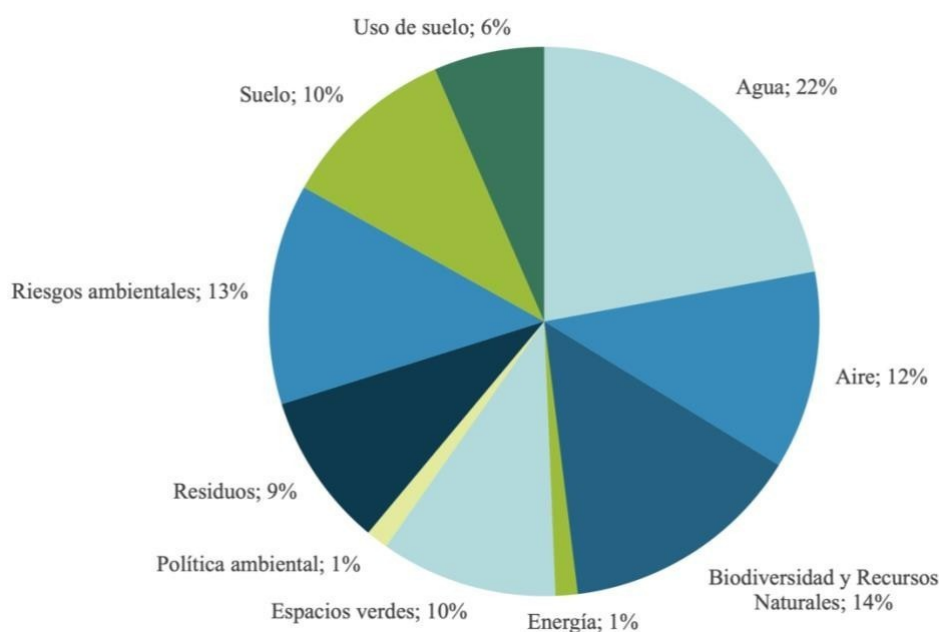


Figura 4.5: Distribución porcentual de los indicadores ambientales por categoría

La categoría “Agua” se posiciona en primer lugar con un total de 17 indicadores que equivalen a un 22%. Seguidamente se encuentra “Biodiversidad y Recursos Naturales” con 11 indicadores, “Riesgos ambientales” con 10 indicadores, “Aire” con 9 indicadores, “Espacios verdes” y “Suelo” con 8 indicadores respectivamente. La categoría “Residuos” con 7 indicadores, “Uso de suelo” con 5 indicadores y finalmente con “Política ambiental” y “Energía” con solamente 1 indicador en cada categoría.

La mayoría de artículos presentan indicadores ambientales referentes al recurso hídrico, lo cual se puede relacionar a que no es solamente un recurso natural esencial para la vida sino justamente uno de los más amenazados por el cambio climático, convirtiéndose en una parte fundamental al hablar

de resiliencia climática. Al analizar los indicadores de la categoría “Agua”, se observan enfoques correspondientes a:

- **Calidad del agua:** para consumo humano y cuerpos de agua superficial
- **Cantidad de agua:** recurso disponible per cápita para consumo
- **Saneamiento:** aguas domésticas e industriales
- **Buenas prácticas:** uso eficiente y huella hídrica
- **Acceso:** acceso inclusivo a agua potable

Los indicadores de saneamiento y calidad del agua son los más mencionados en los artículos analizados. Esto es importante debido a que las ciudades se enfrentan a desafíos cada vez más grandes para velar por la calidad y eficiencia de estos servicios, a medida que la población va en aumento. Con respecto a la cantidad de agua, las comunidades urbanas no solamente se enfrentan a problemas de estrés hídrico para abastecer las necesidades de toda la población, sino que existe una inadecuada distribución de los recursos donde son las poblaciones más vulnerables, como los asentamientos informales, los que se afrontan a una mayor escasez. Lo anterior se encuentra relacionado al tema de acceso al agua, en donde se puede observar que este término es mencionado solamente en 1 de los 17 indicadores ambientales identificados. En este caso específico, el acceso equitativo a los recursos constituye una de las problemáticas más significativas que afectan a los asentamientos informales en Costa Rica. La falta de integración de los asentamientos informales a la ciudad, resulta en que muchas de estas viviendas carezcan de conexiones formales a las redes de abastecimiento y saneamiento de agua. En términos de resiliencia climática, entre menor sea el acceso menor será la capacidad de respuesta ante los impactos adversos de un evento climático.

Con respecto a los indicadores que se enfocan en biodiversidad y recursos naturales, se identifican las siguientes temáticas:

- **Áreas protegidas:** cantidad
- **Diversidad de especies:** flora y fauna
- **Restauración ecológica**
- **Prácticas invasivas como deforestación**

La resiliencia climática urbana se vincula estrechamente con la creación de áreas protegidas dentro de las ciudades, ya que estas últimas desempeñan un papel crucial en la mitigación de los efectos del cambio climático así como también ofrecen servicios ecosistémicos esenciales para los habitantes. Este tipo de ecosistemas dentro o en los alrededores de las zonas urbanas pueden contribuir en la regulación climática y amortiguamiento de impactos por eventos climáticos. En Costa Rica, existen asentamientos informales que se localizan dentro de áreas protegidas debido a las presiones demográficas y la desigualdad urbana que lleva a los habitantes a suplir su necesidad de vivienda incluso en zonas destinadas a la conservación natural. Estas zonas, a menudo, presentan una regulación deficiente y a pesar de que brindan acceso a recursos naturales, carecen de las condiciones necesarias para el desarrollo habitacional como terrenos estables y otros requisitos fundamentales, ya que no han sido destinadas para tal propósito, lo que incrementa la vulnerabilidad de sus residentes ante riesgos asociados con eventos climáticos.

Siguiendo esta línea de análisis, los indicadores clasificados en la categoría de “Riesgos ambientales” se enfocaron en:

- **Fallas tectónicas**
- **Inundaciones**
- **Sequía**
- **Precipitaciones**
- **Áreas vulnerables dentro de la comunidad**

Dentro de esta categoría es importante destacar que estos eventos representan un riesgo en mayor o menor medida cuando se combinan con otros factores sociales y geográficos. En el caso de los asentamientos informales, como se mencionó anteriormente, estos se ubican usualmente en zonas de mayor riesgo y el tipo de eventos que les ocasionen impactos significativos dependerá también de las características del terreno. Por ejemplo, en comunidades donde existen zonas con pendientes pronunciadas, estas áreas son más susceptibles a deslizamientos de tierra como consecuencia de intensas precipitaciones. Por otro lado, las viviendas situadas en terrenos planos o adyacentes a las riberas de los ríos pueden estar en riesgo de inundaciones. En el caso de Costa Rica, un país

caracterizado por su extensa red de ríos y cuerpos de agua, es común observar construcciones residenciales en las orillas de los ríos, las cuales frecuentemente enfrentan riesgos de inundación o deslizamiento debido al incumplimiento de la Ley Forestal 7575. Dicha Ley establece áreas de protección para la preservación del recurso hídrico y prohíbe la construcción dentro de las mismas para equilibrar el desarrollo urbano con la protección de los recursos naturales. En este contexto, la resiliencia climática se relaciona con el riesgo ambiental a través del factor de proximidad de los habitantes a zonas vulnerables dentro de la comunidad. A mayor cercanía a estas áreas de riesgo, se incrementa la vulnerabilidad y se reduce la resiliencia.

Con respecto a los indicadores en la categoría de la matriz “Aire” se identificaron los siguientes tres enfoques:

- **Calidad**
- **Contaminantes**
- **Emisiones industriales**

La contaminación del aire en zonas urbanas y densamente pobladas se asocia principalmente con la cantidad de GEI que se generan. Mejorar la calidad del aire se ha convertido en una estrategia de resiliencia climática, ya que impacta no solo en la salud pública sino también en la capacidad general de las comunidades para adaptarse al contexto del cambio climático. En el caso específico de Costa Rica, el país ha avanzado en conocimiento, información y capacidad técnica sobre calidad del aire; no obstante la calidad del aire es un asunto complejo de estudiar ya que depende de factores como la naturaleza y el comportamiento de las fuentes emisoras, la meteorología y la topología del sitio; además, los datos con los que se cuentan actualmente son a nivel de provincia por lo que aún se necesita invertir en sistemas que permitan la toma de datos a escala local [40].

En relación a los indicadores identificados en la categoría “Espacios verdes” estos presentan los siguientes enfoques:

- **Cobertura verde urbana**
- **Acceso a espacios verdes**
- **Cantidad de espacios verdes**

La necesidad de contar con espacios verdes dentro de entornos urbanos densos aumenta cada vez más. A medida que las temperaturas incrementan, el efecto de las islas de calor es más común, especialmente en entornos donde la infraestructura gris es mayor en proporción a la infraestructura verde, lo cual es una característica usual dentro de los asentamientos informales. Estos espacios verdes aportan a la resiliencia climática urbana debido a que funcionan como pulmones que absorben el calor, proporcionan sombra, contribuyen a mejorar la calidad del aire y permiten ser espacios de esparcimiento y recreación para los habitantes. Es así como el contar con espacios verdes cercanos, accesibles y de calidad, puede aumentar la resiliencia climática urbana.

En este caso, para la categoría “Suelo” se observaron que los indicadores presentaban las siguientes temáticas:

- **Permeabilidad**
- **Calidad**
- **Erosión**
- **Pendiente del terreno**
- **Hundimiento del terreno**

La calidad y la permeabilidad del suelo pueden contribuir con la construcción de resiliencia climática debido a que pueden influir en la gestión del agua, la reducción de inundaciones y la salud de los ecosistemas. Estos indicadores incluso pueden llegar a relacionarse con la cobertura boscosa o las áreas verdes urbanas. Estas características pueden ser útiles en comunidades como los asentamientos informales debido a que es común que la infraestructura de drenaje sea insuficiente. Particularmente el tema de la erosión del suelo puede tomar más importancia en comunidades que presenten grandes elevaciones del terreno, debido a que un suelo muy erosionado es más propenso a sufrir deslizamientos, especialmente en zonas donde hayan fuertes precipitaciones. Sumado a lo anterior, la erosión del suelo es un factor importante a considerar especialmente en las áreas cercanas a los ríos y cuerpos de agua, donde usualmente los terrenos son más inestables.

Con respecto a los indicadores agrupados en la categoría de “Residuos”, estos mostraron los siguientes enfoques:

- **Tipo de residuo: valorizable y no valorizable, doméstico e industrial**
- **Servicio de recolección**

Si bien cuantificar la cantidad de residuos que se recolectan y el porcentaje que son aprovechados o valorizados es importante, el tema de acceso y frecuencia del servicio se vuelve prioritario al referirnos a asentamientos informales. Solamente 1 de los 7 indicadores de esta sección abordó este factor en específico. Como se mencionó anteriormente, el contar con servicios públicos de calidad es uno de los mayores desafíos dentro de estas comunidades. Es común que estas zonas cuenten con limitaciones de acceso debido a la calidad de su infraestructura, por lo que en muchas ocasiones el servicio de recolección de residuos es ineficiente o inexistente. El no contar con acceso adecuado a este tipo de servicios promueve que la disposición final de los residuos no sea la más apropiada, por lo que en gran cantidad de casos estos terminan en botaderos a cielo abierto o son descartados en ríos. Esta situación afecta la resiliencia climática de estas comunidades debido a que una inadecuada gestión de los residuos puede propiciar el riesgo a inundaciones y desbordamiento de estos cuerpos de agua.

Los indicadores categorizados dentro de “Uso de suelo” se enfocaron principalmente en:

- **Superficie de cultivos**
- **Cambio de uso de suelo**
- **Calidad y cantidad de espacios públicos**

Los indicadores enfocados a superficies de cultivo se asocian con la seguridad alimentaria y cómo el acceso a estos recursos puede contribuir a la construcción de resiliencia climática. Si bien son importantes, en este caso específico, es prioritario resaltar los indicadores de uso del suelo y su relación con la RCU. Las ciudades al ser espacios tan diversos y dinámicos requieren de una gestión efectiva del uso de suelo. Para esto, es necesario contar con una adecuada planificación territorial, que promueva la inclusión social y económica. Esta contribuye con la reducción de construcciones en zonas de riesgo ambiental, el acceso a servicios básicos y la cohesión social. Esto quiere decir que entre mejor sea la planificación y entre más se fortalezca la regulación territorial, pueden disminuir las áreas vulnerables ante eventos climáticos y por ende, aumentar la resiliencia.

Los artículos analizados también proponen indicadores de “energía” y “políticas ambientales” dentro de su dimensión ambiental. En este caso a pesar de ser minoría y no contemplarse en la propuesta, funcionan para ejemplificar que la distribución de indicadores por dimensión dependerá mucho de qué se desea medir, con cuál enfoque y cuáles son las características del objeto de estudio. Por ejemplo, la mayoría de las metodologías han incorporado los indicadores enfocados en energía como parte de la dimensión física, la cual mide la resiliencia climática en términos de infraestructura, mientras que indicadores enfocados en políticas se han asociado en gran parte a la dimensión institucional, midiendo la resiliencia climática desde una perspectiva de políticas públicas y gobernanza.

A través de este análisis, se observaron cuáles son las temáticas más utilizadas para medir resiliencia climática a nivel urbano y cómo estos indicadores pueden adaptarse poco a poco al contexto de los asentamientos informales, priorizando factores que son más urgentes de atender dentro de estas comunidades. En este caso se proponen indicadores ambientales en solamente algunas de las categorías descritas anteriormente, tal como se profundiza en la sección 4.2, recordando que este trabajo es de carácter exploratorio. Es importante destacar que si bien las categorías “Suelo” y “Uso de suelo” se relacionan indirectamente con algunos de los indicadores propuestos, estas no fueron explícitamente consideradas en la propuesta. Esto se debe a que sus indicadores podrían estar asociados no solamente con la dimensión ambiental sino también con la dimensión de infraestructura y la dimensión normativa, por lo que la asignación definitiva de estos indicadores a una u otra dimensión requiere un análisis integral que excede el alcance de esta investigación.

4.2. VALIDACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES

4.2.1. Fase I

En esta fase se validó la primera propuesta de indicadores ambientales así como su escala de medición. Los indicadores propuestos se vinculan con las categorías: “Biodiversidad y Recursos Naturales”, “Agua”, “Residuos” y “Espacios verdes”. En el Cuadro 4.2. se observan las variables que se propone estudiar con su respectivo indicador ambiental.

Cuadro 4.2: Indicadores ambientales propuestos en la Fase I

Variable	Indicador
Bosques urbanos	Presencia o ausencia de bosques urbanos dentro de la comunidad
Disponibilidad de agua potable	Número de días en que la comunidad cuenta con el servicios de agua potable
Saneamiento	Sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuentan los habitantes de la comunidad
Gestión de Residuos Sólidos	Frecuencia del servicio de recolección de residuos sólidos
Zonas verdes urbanas	Evaluación del estado de las zonas verdes según acceso, seguridad e infraestructura

Se proponen 5 indicadores enfocados principalmente en incluir el factor de acceso al estar dirigidos hacia asentamientos informales. La herramienta de validación utilizada cuenta con espacios definidos para colocar si la persona experta incluiría o no la variable, indicador y escala de medición, así como también un espacio para realizar observaciones y sugerencias con el objetivo de depurar la propuesta. Tanto la escala de medición de cada indicador propuesto como los resultados de esta primera fase se visualizan a detalle en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3: Resultados Fase I de la validación de indicadores ambientales

Variable	Inclusión de la variable			Observaciones de la variable			Indicador	Escala de medición	Inclusión del indicador y su escala			Observaciones	
	E1	E2	E3	E1	E2	E3			E1	E2	E3	E1	E2
Bosque urbano	sí	sí	sí	Definir que es bosque urbano (en términos de extensión).	Valorar el nombre y definir qué significa el término	N/A	Presencia o ausencia de bosques urbanos dentro de la comunidad	Presencia Ausencia	sí	no	no	N/A	Recomienda "cobertura bos calcular con 5 de tierra se puede ser de
Disponibilidad de agua potable	sí	sí	sí	N/A	Valorar la palabra "disponibilidad" ya que no aplica. Puede considerarse cambiarla por "acceso"	N/A	Número de días en que la comunidad cuenta con el servicios de agua potable	Alto (todos los días) Medio (de 5 a 3 días a la semana) Bajo (2 o menos días a la semana)	sí	sí	sí	N/A	Indicador "Frecuenci
Saneamiento	sí	sí	sí	Se recomienda cambiar "saneamiento" por "tratamiento"	N/A	N/A	Sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuentan los habitantes de la comunidad	Alcantarillado sanitario o tanque séptico Sistema improvisado de letrina No existe tratamiento	sí	sí	sí	N/A	Apoya me sistema. Esta se distribuy buscar en la
Gestión de residuos sólidos	sí	sí	sí	N/A	N/A	N/A	Frecuencia del servicio de recolección de residuos sólidos	Al menos 2 veces a la semana 1 vez a la semana Servicio esporádico No hay servicio	sí	sí	sí	N/A	Apoya la reco por frecu Indicador pu días que se c recolección
Zonas verdes urbanas	sí	sí	sí	"Existencia de zonas verdes urbanas de calidad o eficientes". Porque por ej, pueden haber parques abandonados, mala infraestructura, etc.	N/A	N/A	Evaluación del estado de las zonas verdes según acceso, seguridad e infraestructura	Zonas verdes en buen estado: facilidad de acceso, seguridad, mantenimiento Zonas verdes en mal estado: acceso restringido, inseguras, infraestructura abandonada No hay zonas verdes dentro de la comunidad	no	no	no	No se recomienda medirlo en términos de acceso porque los parques no vienen ni van. Esto dependería de si cada persona quiere usarlo o no. Se recomienda medirlo por presencia o ausencia zonas verdes urbanas de calidad.	Apoya la reco por calidad de ya existen de
									Observaciones generales			N/A	¿Se consider respecto a

Analizando estos resultados de forma general se puede observar que E1, E2 y E3 estuvieron de acuerdo en incluir las 5 variables propuestas, con algunas sugerencias relacionadas al nombre de la variable. Por ejemplo para “Disponibilidad de agua potable” E2 recomienda incluir la palabra “acceso” mientras que E1 propone cambiar “Saneamiento” por “Tratamiento”, entre otras observaciones que se pueden visualizar en el Cuadro 4.3.

El indicador “Bosques urbanos” se incluyó en relación a la categoría “Biodiversidad y Recursos Naturales”. Sin embargo, E2 y E3 no estuvieron de acuerdo en incluir esa propuesta. Dentro de sus observaciones, estas sugieren considerar el indicador en términos de “cobertura boscosa” y utilizar una escala de medición en hectáreas o metros cuadrados. Específicamente, E3 menciona que es importante definir con más detalle el enfoque de este indicador ya que así como se propone también podría calzar en otra dimensión que evalúe infraestructura, lo cual no es el objetivo de esta propuesta.

En general con los indicadores de “Disponibilidad de agua potable”, “Saneamiento” y “Gestión de Residuos Sólidos” las tres expertas estuvieron de acuerdo en incluirlos; no obstante, se realizaron sugerencias importantes con respecto a la escala de medición. Por ejemplo, con respecto a “Saneamiento” se obtuvieron observaciones sobre qué específicamente pretende medir la escala propuesta, ya que al hablar de saneamiento se involucran muchos fenómenos.

Con respecto a “Zonas verdes urbanas” ninguna de las tres expertas estuvo de acuerdo en incluir el indicador y su escala. Las observaciones de E1 se basaron en que medirlo por temas de “acceso” no es lo más recomendable ya que el uso de estos espacios puede llegar a depender de los habitantes de la comunidad. E2 realizó sugerencias de enfocar el indicador en el aspecto de “calidad” de las zonas verdes urbanas, mientras que E3 propuso definir con mayor certeza el enfoque de este indicador ya que al igual que mencionó en “Bosques urbanos” podría confundirse con una perspectiva desde el área de infraestructura.

En relación con las observaciones generales de la propuesta, solamente E2 consultó si la herramienta pretendía contemplar variables e indicadores enfocados en “calidad del aire”. La respuesta se basó en que a pesar de ser una de las categorías identificadas en el análisis de artículos, la escala de medición tiende a ser un poco más técnica que las demás y existen diversos retos con respecto a la medición comunitaria

de datos sobre calidad del aire, los cuales se suman a los desafíos ya existentes de disponibilidad general de información en asentamientos informales, generando que la categoría “Aire” no fuera incluida dentro de esta propuesta.

4.2.2. Fase II

Una vez obtenidos los resultados de la fase I de validación, se procedió a realizar las correcciones que se consideraron pertinentes. En esta nueva propuesta, los indicadores se clasificaron según categorías y subcategorías para que la información contara con una mejor estructura; además se incluyen nuevos indicadores. En el Cuadro 4.4 se observa la actualización de las variables y los indicadores.

Cuadro 4.4: Indicadores ambientales propuestos en la Fase II

Variable	Indicador
Calidad del agua potable	Parámetros de primer nivel del Reglamento para la calidad del Agua Potable No. 38924-S
Acceso a agua potable	Frecuencia de acceso a agua potable
Conexiones a la red de abastecimiento	Existencia de un servicio formal de conexión a la red de abastecimiento de agua potable en la comunidad
Sistema de tratamiento	Sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuentan los habitantes de la comunidad
Uso de agua de lluvia	Grado de utilización de agua de lluvia en la comunidad
Frecuencia del servicio	Frecuencia del servicio de recolección de residuos sólidos
Acceso al servicio	Grado de acceso a puntos de recolección establecidos
Porcentaje de vegetación urbana	% vegetación urbana / % infraestructura gris
Área de protección de ríos	Cumplimiento de la Ley Forestal 7575 artículo 33 inciso b.
Contaminación visible por residuos sólidos	Existencia de contaminación visible por residuos sólidos en ríos urbanos cercanos a la comunidad
Terrenos inundables	Existencia de terrenos inundables en la comunidad
Terrenos propensos a deslizamientos	Existencia de terrenos propenso a deslizamientos en la comunidad

En esta ocasión se proponen 12 indicadores ambientales, relacionados a las categorías: “Biodiversidad y Recursos Naturales”, “Agua”, “Residuos”, “Espacios verdes” y “Riesgos ambientales”. Cada uno de ellos se validó utilizando la misma herramienta que en la fase anterior. Los resultados de este proceso se

muestran a continuación divididos según las categorías en las que fueron clasificados los indicadores ambientales propuestos, iniciando con la categoría “Agua” (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5: Resultados Fase II de la validación, categoría “Agua”

Categoría	Subcategoría	Variable	Inclusión de la variable				Observaciones de la variable				Indicador	Escala de medición	Inclusión del indicador y su escala						
			E4	E2	E5	E6	E4	E2	E5	E6			E4	E2	E5	E6			
Agua	Agua Potable	Calidad del agua potable	sí	sí	sí	sí	N/A	N/A	N/A	N/A	Parámetros de primer nivel del Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S	Cumple	sí	sí	sí	sí	N/A	N/A	
												No cumple							
		Acceso a agua potable	sí	sí	sí	sí	N/A	El nombre de "acceso a agua potable" puede calzar más en la otra variable de conexiones a la red. El nombre de esta variable podría ser "frecuencia del servicio" Incluso puede haber una única variable (acceso) y que se mida mediante 2 indicadores (frecuencia y existencia de conexiones)	N/A	N/A	Frecuencia de acceso a agua potable	Alto (todos los días)					N/A	N/A	
									Medio (de 5 a 3 días a la semana)	sí		sí	sí	sí					
									Bajo (2 o menos días a la semana)										
		Conexiones a la red de abastecimiento	sí	sí	sí	sí	N/A	N/A	N/A	Existencia de un servicio formal de conexión a la red de abastecimiento de agua potable en la comunidad	Existe servicio formal de conexión a la red de abastecimiento de agua potable en la comunidad	sí	sí	sí	sí	N/A	N/A		
											No existe servicio formal de conexión a la red de abastecimiento de agua potable en la comunidad								
		Agua Residual	Sistema de tratamiento	sí	sí	sí	sí	N/A	N/A	N/A	N/A	Sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuentan los habitantes de la comunidad	Alcantarillado sanitario o tanque séptico					N/A	N/A
													Sistema improvisado de letrina	sí	sí	sí	sí		
											No cuentan con ningún sistema de tratamiento								
	Agua Pluvial	Uso de agua de lluvia	sí	sí	sí	sí	N/A	N/A	N/A	N/A	Grado de utilización de agua de lluvia en la comunidad	Alto: Más del 70% de los hogares reportan uso de agua de lluvia					Acá sería interesante saber cual es el tipo de uso que se le está dando al agua de lluvia	La escala es un porcentaje se saca la cantidad de respuestas y se justifica. Hace para saber en agua de lluvia valor, ya que no opción es más otra. Ahí sería (L) que se utiliza complicado. Le preguntarse en utilizarlos como	
												Moderado: Entre el 30% y el 70% reportan uso de agua de lluvia	sí	sí	sí	sí			
												Bajo: Menos del 30% reportan uso de agua de lluvia							

Se propone la categoría “Agua” con tres subcategorías correspondientes “Agua Potable”, “Agua Residual” y “Agua Pluvial”. Como se observa en el cuadro anterior, las cuatro personas expertas entrevistadas en esta fase estuvieron de acuerdo en incluir cada uno de los indicadores propuestos con la única observación por parte de E2 (quien participó también de la fase anterior) de considerar unir el indicador de “acceso a agua potable” y “conexiones a la red de abastecimiento” en una sola variable, ya que las mismas pueden estar relacionadas. Con respecto a los indicadores y su escala de medición, todos los entrevistados estuvieron de acuerdo en incluirlos en la propuesta. Se obtuvieron recomendaciones específicamente de E5 en los indicadores de “Calidad de agua potable” y “Acceso a agua potable” refiriéndose a la complejidad de la medición del indicador y la mejora de la escala de medición, respectivamente. Con relación al indicador de “Uso de agua de lluvia” se obtuvieron dos posiciones donde por un lado se menciona el interés por el tipo de usos que se le puede estar dando al agua pluvial dentro de la comunidad mientras que la segunda posición sostiene que esta información no tiene mayor utilidad al relacionarse con la resiliencia climática.

Es importante destacar que la inclusión del indicador correspondiente a “Conexiones a la red de abastecimiento” se realizó debido a que como se comentó anteriormente, muchos de estos asentamientos se desarrollan fuera de los ordenamientos jurídicos establecidos por lo que no necesariamente sus conexiones a la red son a través de una entidad autorizada. Esto puede reducir la resiliencia climática de la comunidad debido a que ante un evento climático que impacte negativamente a la comunidad, las conexiones pueden dañarse y en este caso no hay institución que se haga responsable por la reparación lo que podría obligar a la población afectada a depender de fuentes no seguras para consumo.

Se visualiza que la mayoría de las personas entrevistadas no realizaron ninguna observación con respecto a los indicadores propuestos en esta categoría lo cual se denota con “No aplica” (N/A). Esto podría indicar que de forma general se percibe positivamente la propuesta realizada. Seguidamente se muestran los resultados con respecto a la categoría “Residuos” (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6: Resultados Fase II de la validación, categoría “Residuos”

Categoría	Subcategoría	Variable	Inclusión de la variable				Observaciones de la variable				Indicador	Escala de medición	Inclusión del indicador y su escala				Observaciones
			E4	E2	E5	E6	E4	E2	E5	E6			E4	E2	E5	E6	
Residuos Sólidos	No Valorizables y valorizables	Frecuencia del servicio	si	si	si	si	N/A	N/A	N/A	N/A	Frecuencia del servicio de recolección de residuos sólidos	Al menos 2 veces a la semana	si	si	si	si	N/A
												1 vez a la semana					
												Servicio esporádico					
												No hay servicio					
		Acceso al servicio	si	si	si	si	Sería interesante saber qué hace la gente cuando no hay servicio, ¿se tira al río? ¿se quema?	N/A	N/A	N/A	Grado de acceso a puntos de recolección establecidos	Acceso adecuado: más del 80% de los hogares tienen acceso a un punto de recolección a una distancia razonable (150mts) y sin obstáculos (gradas, falta de aceras, etc)	si	no	si	si	N/A
												Acceso parcial: entre el 50% y el 80% de los hogares tienen acceso a un punto de recolección a una distancia razonable (150mts) y sin obstáculos (gradas, falta de aceras, etc)					
												Acceso inadecuado: menos del 50% de los hogares tienen acceso a un punto de recolección a una distancia razonable (150mts) y sin obstáculos (gradas, falta de aceras, etc)					

Para esta categoría se consideraron dos variables con sus respectivos indicadores, “Frecuencia del servicio” y “Acceso al servicio”. Ambos fueron validados positivamente por las cuatro personas entrevistadas, solamente con una observación de que no hacen las personas de la comunidad cuando no hay servicio de recolección, sin embargo, en este caso específico no se consideró en el enfoque del estudio. Específicamente con respecto al indicador de “Grado de acceso a puntos de recolección establecidos” estuvo de acuerdo con la escala del indicador ya que la propuesta mide dos determinantes en una misma escala. A pesar de que medir el acceso es de gran valor en el caso de los asentamientos informales a raíz de experiencias que ha vivido algunas comunidades desde el área de gobernanza y la gestión de residuos sólidos.

A continuación, se muestran los resultados para la tercera categoría propuesta, “Biodiversidad” (Cuadro 4.7).

Cuadro 4.7: Resultados Fase II de la validación, categoría “Biodiversidad”

Categoría	Subcategoría	Variable	Inclusión de la variable				Observaciones de la variable				Indicador	Escala de medición	Inclusión del indicador y su escala				Observaciones	
			E4	E2	E5	E6	E4	E2	E5	E6			E4	E2	E5	E6		
Biodiversidad	Vegetación urbana	Porcentaje de vegetación urbana	sí	sí	sí	sí	N/A	N/A	N/A	N/A	% vegetación urbana / % infraestructura gris	Porcentaje de vegetación urbana mayor al porcentaje de infraestructura gris	no	no	sí	sí	Un porcentaje puede ser algo un poco complicado de medir. Podría ser algo más general, ¿hay vegetación o no hay?, ¿Cuántos parques hay? ¿qué es lo que hay? Tipo de vegetación. Es una evaluación más general pero puede dar más insumos para pensar en acciones que se quieran realizar desde la comunidad	Trabajar con algo más complicado. Priorizar sacar las (Ha) de verde gris. Lo ideal sería de área verdes (serían) o como urbana. Si se podría ser % urbana entre el resto de la comunidad trabajarla
			Porcentaje de vegetación urbana menor al porcentaje de infraestructura gris															
	Ríos urbanos	Área de protección de ríos	sí	sí	sí	sí	N/A	Recomienda incluir ríos, nacientes y quebradas	N/A	N/A	Cumplimiento de la Ley Forestal 7575 artículo 33 inciso b.	Porcentaje menor al 30%					Con SIG se puede obtener, la pregunta es ¿quién estaría usándolo? ¿quién estaría analizando? Se podrían trabajar tipos de medidas de adaptación, por ejemplo si el % es bajo, buscar fortalecer las zonas de protección.	Tal vez se complicó de que utilizara satelital
			Porcentaje entre 30% y 50%	sí	sí	sí	sí											
			Porcentaje entre 50% y 70%															
			Porcentaje mayor al 70%															
		Contaminación visible por residuos sólidos	sí	sí	sí	sí	N/A	El nombre de la categoría tal vez no calza tanto. Se podría valorar "Conservación de ecosistemas o Ecosistemas"	N/A	N/A	Existencia de contaminación visible por residuos sólidos en ríos urbanos cercanos a la comunidad	Existe contaminación visible por residuos sólidos en los ríos urbanos cercanos a la comunidad	sí	sí	sí	sí	Una vez que se obtenga la info, ¿qué se puede hacer con eso?	N/A
			No existe contaminación visible por residuos sólidos en los ríos urbanos cercanos a la comunidad															

Para esta categoría las cuatro personas expertas entrevistadas estuvieron de acuerdo en incluir las tres variables propuestas. El E2 recomienda incluir en la variable “Área de protección de ríos” a las quebradas y nacientes, para las cuales también se menciona en la Ley Forestal 7575 mencionada anteriormente y su protección también aporta a la construcción de resiliencia. Respecto al indicador de “Porcentaje de vegetación urbana” tanto E4 como E2 no se encuentran de acuerdo en incluirlo porque su medición puede llegar a ser compleja por lo que proponer simplificarla cambiando el indicador por cantidad de áreas verdes del asentamiento informal o tipo de vegetación o en general por número de áreas verdes con los que cuenta la comunidad.

resaltar que para el indicador de “Cumplimiento de la Ley Forestal 7575” de igual forma E4 y E2, destacan que la inclusión de este indicador resulta compleja, especialmente si el objetivo es que se utilice en herramientas de medición a nivel comunitario o local. Finalmente, se presentan los resultados en el Cuadro 4.8 con respecto a la categoría “Riesgos Ambientales” la cual, como parte del proceso de análisis de indicadores, fue una de las categorías más estudiadas dentro de la resiliencia en la dimensión ambiental y esta no fue considerada en la Fase I del proceso de validación.

Cuadro 4.8: Resultados Fase II de la validación, categoría “Riesgos ambientales”

Categoría	Subcategoría	Variable	Inclusión de la variable				Observaciones de la variable				Indicador	Escala de medición	Inclusión del indicador y su escala				Observaciones
			E4	E2	E5	E6	E4	E2	E5	E6			E4	E2	E5	E6	
Riesgos ambientales	Vulnerabilidad territorial	Terrenos inundables	si	si	si	si	N/A	N/A	N/A	Existencia de terrenos inundables en la comunidad	Existen terrenos inundables dentro de la comunidad	si	si	si	si	N/A	
											No existen terrenos inundables dentro de la comunidad						
		Terrenos propensos a deslizamientos	si	si	si	si				Existencia de terrenos propensos a deslizamientos en la comunidad	Existen terrenos propensos a deslizamientos dentro de la comunidad	si	si	si	si		
											No existen terrenos propensos a deslizamientos dentro de la comunidad						

En este caso, se obtuvo una respuesta positiva para la inclusión de las variables y sus respectivos indicadores sin embargo, no se obtuvieron comentarios específicos u observaciones por parte de las cuatro personas expertas entrevistadas. Esto puede estar relacionado con el hecho de que la vulnerabilidad territorial está estrechamente relacionado con los asentamientos informales como ya se describió anteriormente. Por lo tanto, que obtener estos resultados confirma la importancia de incorporar esta categoría como parte de los indicadores para la resiliencia.

Al concretar esta sección de validación, se retomó el proceso de considerar las observaciones y sugerencias para la inclusión de los indicadores ambientales, la cual se aborda con mayor detalle en la siguiente sección.

4.3. DISEÑO DEL CONJUNTO DE INDICADORES AMBIENTALES

La propuesta final de categorías, subcategorías e indicadores ambientales para asentamientos informales en el marco de la resiliencia climática se muestra en el Cuadro 4.9.

Cuadro 4.9: Propuesta final de indicadores ambientales

Categoría	Subcategoría	Variable	Indicador
Recurso hídrico	Potable	Calidad del agua potable	Cumplimiento de parámetros de primer nivel del Reglamento para la calidad del Agua Potable No. 38924-S
		Acceso al servicio	Existencia de servicio formal de conexión a la red de abastecimiento de agua potable en la comunidad
		Frecuencia del servicio	Cantidad de días a la semana con que la comunidad cuenta con acceso al servicio de agua potable
	Residual	Sistema de tratamiento	Distribución del porcentaje de la población según sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuentan
	Pluvial	Uso de agua de lluvia	Porcentaje de hogares que reportan uso de agua de lluvia
Gestión de Residuos Sólidos	Servicio de recolección	Frecuencia del servicio	Número de veces a la semana que la comunidad cuenta con servicio de recolección de residuos sólidos
		Acceso al servicio	Porcentaje de hogares que cuentan con acceso a puntos de recolección establecidos sin obstáculos físicos
	Impacto en matrices	Contaminación visible por residuos sólidos	Existencia de contaminación visible por residuos sólidos en cuerpos de agua, vías y otros espacios públicos o privados dentro de la comunidad
Espacios verdes urbanos	Cobertura verde urbana	Porcentaje de cobertura verde urbana	% cobertura verde urbana / % infraestructura gris
Riesgos ambientales	Vulnerabilidad territorial	Área de protección de cuerpos de agua urbanos	Porcentaje del área de protección de los cuerpos de agua cercanos a la comunidad que cumplen con la Ley Forestal 7575, artículo 33 inciso b.
		Zonas propensas a inundaciones	Existencia de zonas propensas a inundaciones en la comunidad
		Zonas propensas a deslizamientos	Existencia zonas propensas a deslizamientos en la comunidad

Como se observa, se proponen los mismos 12 indicadores que se presentaron anteriormente con algunas modificaciones importantes de mencionar. Se mantienen las mismas cuatro categorías validadas en la sección anterior, con la diferencia de que los indicadores se encuentran distribuidos de una manera más acorde con lo que se desea medir. Por ejemplo, la categoría “Biodiversidad”

que pasó a llamarse “Espacios verdes urbanos” cuenta con solamente la subcategoría “Cobertura verde urbana” mientras que “Área de protección de ríos” se agrupó con los demás indicadores de “Riesgos Ambientales” y “Contaminación visible por residuos sólidos” pasó a la categoría de “Gestión de Residuos Sólidos”.

La incorporación de los indicadores ambientales propuestos en el desarrollo de metodologías de cuantificación de resiliencia climática urbana en asentamientos informales, permitirá generar nuevo conocimiento sobre estas comunidades, las cuales enfrentan una realidad poco visibilizada y sobre las que existe limitada información sistematizada. De acuerdo con ONU-Hábitat [23], la recopilación y actualización de información cualitativa y cuantitativa es una acción clave para comprender mejor los contextos urbanos locales de los asentamientos informales y responder de manera oportuna y accesible a sus necesidades.

La información obtenida a partir de estos indicadores ambientales contribuye a fortalecer la capacidad de los gobiernos locales, instituciones y comunidad para tomar decisiones informadas; promoviendo que los procesos de gestión territorial y adaptación local frente al cambio climático implementen acciones basadas en evidencia. Esto podría permitir el diseño de soluciones más focalizadas y efectivas en temáticas como la planificación territorial adaptada al contexto local, la priorización de proyectos según recursos disponibles y la formulación y/o evaluación de políticas públicas que contemplen las necesidades reales de los asentamientos informales.

Al contar con datos nuevos y actualizados estos incluso pueden integrarse a sistemas y/o procesos ya existentes a nivel local como por ejemplo el Plan de Desarrollo Humano Local, los Planes Reguladores, los Planes Cantonales de Adaptación al Cambio Climático, entre otros. Esto permitiría alinear las acciones establecidas en dichos procesos de gobernanza con las necesidades diagnosticadas. En caso de que se desarrolle una herramienta que facilite la estandarización de datos locales, estos podrían llegar a alimentar bases de datos a nivel regional y nacional como por ejemplo el Sistema Nacional de Métricas de Cambio Climático (SINAMECC) e incluso políticas públicas como la Política Nacional de Adaptación ante el Cambio Climático y la Política Nacional de Ordenamiento Territorial.

Adicionalmente se diseñó el resumen ejecutivo *“Propuesta de indicadores ambientales para asentamientos informales de Costa Rica en el marco de la resiliencia climática urbana”* con el conjunto de indicadores ambientales propuesto, el cual se encuentra anexo a este documento.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A pesar de la trayectoria de investigación que ha tenido el concepto de resiliencia, este continúa siendo abstracto y multifacético, con interpretaciones que varían según la disciplina en la que se aplique. Se considera que presenta una capacidad dual: por un lado se visualiza como una capacidad intrínseca de los sistemas y una respuesta natural e inherente que surge a partir de eventos adversos y por otro, como una capacidad que se puede construir a partir de intervenciones planificadas que diagnostican vulnerabilidades y potencian fortalezas dentro del sistema. Específicamente en el contexto del cambio climático y los sistemas urbanos, este concepto se ha relacionado a la capacidad que tienen estas comunidades de afrontar y reducir los impactos adversos causados por eventos climáticos.

Es así como la resiliencia climática no puede comprenderse plenamente sin abordar otros conceptos como vulnerabilidad y adaptación, los cuales están ampliamente relacionados. La resiliencia no es la ausencia de vulnerabilidad, sino que a medida que se construye una mayor capacidad de adaptación y el sistema se vuelve más resiliente, se puede influir en la reducción del nivel de vulnerabilidad del mismo. Para lograr esto, se debe reconocer que dentro de los sistemas urbanos existen desigualdades sociales y económicas que generan diferentes niveles de vulnerabilidad entre los grupos que los componen, donde por ejemplo los asentamientos informales han demostrado ser uno de los grupos más vulnerables ante el cambio climático. Esto demuestra que la necesidad de construir resiliencia no está distribuida de manera uniforme en los sistemas urbanos y que su fortalecimiento depende de abordar estas desigualdades desde un foco multidimensional, considerando aspectos sociales, económicos, ambientales, de infraestructura e institucionales.

Los asentamientos informales permanecen al margen del tejido urbano formal, enfrentándose a desafíos de inclusión y visibilidad que los dejan en una posición de vulnerabilidad socioeconómica y climática. Esto ha provocado un vacío de información relacionada con estas comunidades, en donde por ejemplo en Costa Rica la información es insuficiente para entender la dimensión real de los desafíos que aquejan a esta población. Lo anterior representa un reto importante al querer estudiar la resiliencia climática en estas comunidades, no solo debido a la carencia de datos

actualizados sino también a la falta de metodologías de cuantificación que integren indicadores que incorporen la realidad específica de esta población.

La revisión sistemática de literatura realizada y el análisis de los artículos seleccionados, permitió observar la brecha significativa en la representación de América Latina en los estudios globales sobre el tema, donde las metodologías y enfoques sobre resiliencia climática urbana siguen estando fuertemente influenciados por estudios realizados en el norte global, particularmente en regiones como Asia y Norteamérica. La exclusión de estudios específicos sobre las comunidades más vulnerables frente al cambio climático, como los asentamientos informales, especialmente en el contexto latinoamericano, limita el avance en la construcción de resiliencia climática urbana.

En cuanto a los indicadores ambientales de resiliencia climática urbana analizados, se observa que las categorías o temáticas están claramente definidas y abordan áreas clave como agua, aire, biodiversidad, espacio verde, y riesgos ambientales. Sin embargo, es notorio que pocos indicadores abordan directamente el tema del acceso, un factor crítico en la resiliencia de los asentamientos informales. Por ello, en la propuesta de indicadores ambientales para asentamientos informales realizada en este estudio, el acceso fue considerado un enfoque fundamental.

Las múltiples formas de abordar la RCU también se evidencian a partir de las discrepancias que existen entre autores sobre ciertas características de su definición. Basarse en uno u otro posicionamiento dependerá del enfoque teórico asignado a la investigación y lo que se desea explorar. Si bien en este caso específico estas características no fueron incluidas explícitamente como guía conceptual en el planteamiento de los indicadores ambientales, la propuesta realizada presenta la relación de cada indicador ambiental con la resiliencia climática urbana desde una perspectiva general. Estas relaciones se fundamentan en cómo según los resultados que se obtengan a partir de la escala de medición de cada indicador, se logra un aporte positivo o negativo a la construcción de RCU.

La integración de la resiliencia climática en los procesos de gestión urbana es crucial para afrontar los retos del cambio climático, especialmente cuando se trata de los grupos más vulnerables, como los asentamientos informales. Es fundamental que las políticas y estrategias urbanas no solo busquen

mitigar los efectos del cambio climático en términos generales, sino que prioricen la inclusión de estas comunidades en la planificación y toma de decisiones. Promover una transformación socioambiental colectiva e integral significa asegurar que todos los grupos, sin importar su nivel socioeconómico, tengan las herramientas, recursos y capacidades necesarias para adaptarse a los desafíos climáticos. De esta manera, no solo se fortalece la resiliencia de los asentamientos informales, sino que se contribuye a la construcción de ciudades más equitativas, sostenibles y justas frente al cambio climático, enfrentando este desafío global desde una perspectiva inclusiva y colaborativa.

Al integrar los indicadores ambientales propuestos en los procesos de planificación existentes, se trasciende su valor como un simple insumo técnico. Se convierten en una herramienta de empoderamiento que visibiliza la vulnerabilidad ambiental desde una perspectiva de justicia climática y territorial, al reconocer y abordar las profundas desigualdades que afectan a las comunidades vulnerables. Enfrentar la crisis climática implica una transformación profunda que comienza con el reconocimiento de las voces, las necesidades y las capacidades de quienes habitan estas comunidades, para así construir soluciones justas, equitativas y sostenibles.

5.2. Recomendaciones

Para desarrollar marcos conceptuales más robustos sobre cómo estudiar la resiliencia climática urbana en asentamientos informales es necesaria la exploración teórica desde diversas perspectivas. Para esto, se recomienda profundizar en la relación que existe entre los componentes que abordan las definiciones de RCU presentados en el Cuadro 2.1 y cómo estos influyen en 1. Lo que se desea medir con cada indicador propuesto y 2. La contribución de cada indicador ambiental a la construcción de RCU.

Dado que la propuesta de indicadores se ha desarrollado a partir de una revisión sistemática de literatura, se recomienda llevar a cabo un proceso de validación a nivel comunitario. Esta validación permitirá asegurar que los indicadores sean relevantes y aplicables en el contexto local, considerando las necesidades y realidades específicas de la comunidad a la cual van dirigidos. Además, involucrar a la comunidad en este proceso garantizará que las perspectivas y conocimientos locales sean incorporados, lo que fortalecerá la eficacia y la adaptabilidad de la propuesta en la práctica,

promoviendo una mayor apropiación y aceptación de los indicadores por parte de los actores clave en la gestión urbana y la resiliencia climática.

Debido a que este análisis de resiliencia climática urbana en asentamiento informales se ha centrado en los indicadores ambientales, se recomienda ampliarlo hacia otras dimensiones clave como la social, económica, de infraestructura, institucional y normativa. Esta expansión permitirá contar con un estudio más integral de la resiliencia climática urbana en estas comunidades, considerando no solo los aspectos ambientales, sino también otros factores esenciales que inciden directamente en la capacidad de esta población para adaptarse y responder a los impactos del cambio climático. Incorporar estas dimensiones proporcionará una visión más completa de los desafíos y las oportunidades en la construcción de resiliencia climática urbana.

Se recomienda utilizar la propuesta de indicadores ambientales presentada en este estudio como una base en el desarrollo de herramientas de medición de resiliencia climática urbana en asentamientos informales, las cuales los incorporen de manera integral y los adapten conforme al contexto propio de cada comunidad y al tipo de información o enfoque que se desea analizar. En el caso específico en que se desee aplicar la propuesta presentada, es necesaria la inclusión de un procedimiento para la recolección de información, el análisis de los datos y la interpretación de los resultados según la escala propuesta para cada indicador ambiental.

En el eventual desarrollo de herramientas de medición de resiliencia climática urbana a partir de esta propuesta, se recomienda un enfoque local estableciendo alianzas estratégicas con gobiernos municipales interesados en promover la gobernanza adaptativa y participativa en temas de cambio climático en asentamientos informales que se ubiquen en su cantón. La misma podría ser una herramienta útil en la generación de información para equipos como el Comité Local de Emergencias. En el caso en que se busque la escalabilidad a nivel nacional de la herramienta, a largo plazo, se recomienda buscar el respaldo del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos de Costa Rica, el Instituto Mixto de Ayuda Social, el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, entre otras instituciones líderes en la materia.

VI. REFERENCIAS

- [1] IPCC, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA,; Cambridge University Press, 2022. doi: 10.1017/9781009325844.
- [2] UN-Habitat, “World Cities Report 2022,” Nairobi, Kenya, 2022. Accessed: Mar. 26, 2023. [Online]. Available: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2022-envisaging-the-future-of-cities>
- [3] A. Quesada-Román, “Disaster Risk Assessment of Informal Settlements in the Global South,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 16, Aug. 2022, doi: 10.3390/su141610261.
- [4] Dirección de Cambio Climático; Ministerio de Ambiente y Energía., “¿A qué nos adaptamos y cómo nos adaptamos? Bases conceptuales para la adaptación al cambio climático en Costa Rica. Proyecto Plan A: Territorios Resilientes ante el Cambio Climático.,” San José, Costa Rica., 2021.
- [5] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2021. doi: 10.1017/9781009157896.
- [6] ONU, “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático,” 1992. Accessed: Apr. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2009/6907.pdf>
- [7] D. Kweku *et al.*, “Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming,” *J Sci Res Rep*, vol. 17, no. 6, pp. 1–9, Feb. 2018, doi: 10.9734/jsrr/2017/39630.
- [8] IPCC, “Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems,” in *Global Warming of 1.5°C*, Cambridge University Press, 2022, pp. 175–312. doi: 10.1017/9781009157940.005.
- [9] N. W. Arnell, J. A. Lowe, B. Lloyd-Hughes, and T. J. Osborn, “The impacts avoided with a 1.5 °C climate target: a global and regional assessment,” *Clim Change*, vol. 147, no. 1–2, pp. 61–76, Mar. 2018, doi: 10.1007/s10584-017-2115-9.

- [10] World Meteorological Organization, “State of the Global Climate 2023,” Geneva, Switzerland, 2024.
- [11] Dirección de Cambio Climático and Ministerio de Ambiente y Energía, “Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026,” San José, Costa Rica, 2022.
- [12] Luis Fernando Alvarado Gamboa, “Proyecciones de Cambio Climático regionalizadas para Costa Rica (Escenarios RCP-2.6 y RCP8.5),” San José, 2021.
- [13] J. Cabanyes Truffino, “Resilience: An approach to the concept,” *Revista de Psiquiatria y Salud Mental*, vol. 3, no. 4, Ediciones Doyma, S.L., pp. 145–151, 2010. doi: 10.1016/j.rpsm.2010.09.003.
- [14] V. Carazo Vargas, “Resiliencia y coevolución neuroambiental,” *Revista Educación*, pp. 528–555, Jul. 2018, doi: 10.15517/revedu.v42i2.28137.
- [15] S. Meerow, J. P. Newell, and M. Stults, “Defining urban resilience: A review,” *Landsc Urban Plan*, vol. 147, pp. 38–49, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.landurbplan.2015.11.011.
- [16] A. Brown, A. Dayal, and C. Rumbaitis Del Rio, “From practice to theory: Emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience,” *Environ Urban*, vol. 24, no. 2, pp. 531–556, Oct. 2012, doi: 10.1177/0956247812456490.
- [17] D. Satterthwaite *et al.*, “Building Resilience to Climate Change in Informal Settlements,” Feb. 21, 2020, *Cell Press*. doi: 10.1016/j.oneear.2020.02.002.
- [18] S. Tyler and M. Moench, “A framework for urban climate resilience,” Oct. 2012. doi: 10.1080/17565529.2012.745389.
- [19] S. L. Cutter *et al.*, “A place-based model for understanding community resilience to natural disasters,” *Global Environmental Change*, vol. 18, no. 4, pp. 598–606, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013.
- [20] S. L. Cutter, “Resilience to What? Resilience for Whom?,” Jun. 01, 2016, *Blackwell Publishing Ltd*. doi: 10.1111/geoj.12174.
- [21] A. Reisinger *et al.*, “The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross-Working Group discussions,” Geneva, 2020.
- [22] MINAE, SEPLASA, DCC, IMN, MIDEPLAN, and CNE, *Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2018-2030*. San José, Costa Rica, 2018.
- [23] ONU-Hábitat, “DOCUMENTO TEMÁTICO SOBRE ASENTAMIENTOS INFORMALES: TEMA HABITAT III,” Nueva York, May 2015. Accessed: Jul. 26, 2023. [Online]. Available:

https://habitat3.org/wp-content/uploads/Issue-Paper-22_ASENTAMIENTOS-INFORMALES-SP.pdf

- [24] A. Revi *et al.*, “Urban areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” William Solecki, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2014.
- [25] Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, *POLÍTICA NACIONAL DE VIVIENDA Y ASENTAMIENTOS HUMANOS 2013 A 2030 Y SU PLAN DE ACCIÓN*. Costa Rica, Costa Rica, 2014.
- [26] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), “Hogares en asentamientos informales en Costa Rica ¿quiénes son y cómo viven?,” *Notas de Población N°99*, pp. 107–132, Dec. 2014.
- [27] V. E. Paula Andrea, “Construcción de un Índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático. Caso de Estudio: Medellín,” Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2020.
- [28] M. Zhang, Y. Yang, H. Li, and M. P. van Dijk, “Measuring urban resilience to climate change in three chinese cities,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 22, pp. 1–17, Nov. 2020, doi: 10.3390/su12229735.
- [29] A. Jamali, M. Robati, H. Nikoomaram, F. Farsad, and H. Aghamohammadi, “Urban Resilience and Climate Change: Developing a Multidimensional Index to Adapt against Climate Change in the Iranian Capital City of Tehran,” *Urban Science*, vol. 7, no. 1, Mar. 2023, doi: 10.3390/urbansci7010007.
- [30] M. Romero-Vargas, T. Bermúdez-Roja, and M. Duque-Gutiérrez, “Evaluación cualitativa de indicadores de sostenibilidad socioambiental para su selección y aplicación en ciudades costarricenses,” *Revista Geográfica de América Central*, vol. 1, no. 64, pp. 17–41, Nov. 2019, doi: 10.15359/rgac.64-1.1.
- [31] Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, “GUÍA DE INDICADORES: Orientaciones básicas para su elaboración,” San José, Costa Rica, Jun. 2018. [Online]. Available: www.Mideplan.go.cr
- [32] R. Quiroga Martínez, “Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe,” CEPAL, 2009.

- [33] Municipalidad de La Unión, “Evaluación de la infraestructura verde y los servicios ecosistémicos urbanos en el Cantón de la Unión. La Unión, Cartago, Costa Rica.” 2020.
- [34] D. G. Herrera Enríquez, “ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA RESILIENCIA EN ZONAS DE DESASTRE: FACTORES CRÍTICOS DE ADAPTABILIDAD EN BAÑOS DE AGUA SANTA – ECUADOR,” Santiago de Compostela, 2016.
- [35] M. Javari, M. Saghaei, and F. Fadaei Jazi, “Analyzing the resilience of urban settlements using multiple-criteria decision-making (MCDM) models (case study: Malayer city),” *Sustainable Environment*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.1080/27658511.2021.1889083.
- [36] J. R. Rojas Morales, “La era de la ebullición global: Desafíos y oportunidades para la resiliencia climática en la región centroamericana,” *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 58, no. 2, pp. 1–20, Jun. 2024, doi: 10.15359/rca.58-2.9.
- [37] R. Sánchez Rodríguez, “Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina,” Santiago de Chile, 2013.
- [38] S. L. Cutter, C. G. Burton, and C. T. Emrich, “Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions,” *J Homel Secur Emerg Manag*, vol. 7, no. 1, Aug. 2010, doi: 10.2202/1547-7355.1732.
- [39] J. M. Camacho Sanabria, R. Chávez Alvarado, and D. Velázquez Torres, “PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MEDIR LA RESILIENCIA URBANA ANTE HURACANES E INUNDACIONES EN EL CARIBE MEXICANO,” *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, vol. 2, no. 3, pp. 28–43, 2019.
- [40] J. Murillo Hernández and J. Herrera Murillo, “Evolución del monitoreo de la calidad del aire en Costa Rica,” vol. 274, San José, pp. 11–5, Apr. 2020. [Online]. Available: www.ambientico.una.ac.cr

APÉNDICES

Apéndice 1: Formulario utilizado en la fase I del proceso de validación de indicadores ambientales

Variable	Inclusión de la variable			Observaciones de la variable			Indicador	Escala de medición	Inclusión del indicador y su escala			Observaciones	
	E1	E2	E3	E1	E2	E3			E1	E2	E3	E1	
Bosque urbano							Presencia o ausencia de bosques urbanos dentro de la comunidad	Presencia					
								Ausencia					
Disponibilidad de agua potable							Número de días en que la comunidad cuenta con el servicios de agua potable	Alto (todos los días)					
								Medio (de 5 a 3 días a la semana)					
								Bajo (2 o menos días a la semana)					
Saneamiento							Sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuentan los habitantes de la comunidad	Alcantarillado sanitario o tanque séptico					
								Sistema improvisado de letrina					
								No existe tratamiento					
Gestión de residuos sólidos							Frecuencia del servicio de recolección de residuos sólidos	Al menos 2 veces a la semana					
								1 vez a la semana					
								Servicio esporádico					
								No hay servicio					
Zonas verdes urbanas							Evaluación del estado de las zonas verdes según acceso, seguridad e infraestructura	Zonas verdes en buen estado: facilidad de acceso, seguridad, mantenimiento					
								Zonas verdes en mal estado: acceso restringido, inseguras, infraestructura abandonada					
								No hay zonas verdes dentro de la comunidad					
									Observaciones generales				

Apéndice 2: Formulario utilizado en la fase II del proceso de validación de indicadores ambientales

Categoría	Subcategoría	Variable	Inclusión de la variable				Observaciones de la variable				Indicador	Escala de medición	Inclusión del indicador y su escala					
			E4	E2	E5	E6	E4	E2	E5	E6			E4	E2	E5	E6		
Biodiversidad	Vegetación urbana	Porcentaje de vegetación urbana									% vegetación urbana / % infraestructura gris	Porcentaje de vegetación urbana mayor al porcentaje de infraestructura gris						
												Porcentaje de vegetación urbana menor al porcentaje de infraestructura gris						
	Ríos urbanos	Área de protección de ríos									Cumplimiento de la Ley Forestal 7575 artículo 33 inciso b.	Porcentaje menor al 30%						
												Porcentaje entre 30% y 50%						
												Porcentaje entre 50% y 70%						
												Porcentaje mayor al 70%						
	Contaminación visible por residuos sólidos									Existencia de contaminación visible por residuos sólidos en ríos urbanos cercanos a la comunidad	Existe contaminación visible por residuos sólidos en los ríos urbanos cercanos a la comunidad							
											No existe contaminación visible por residuos sólidos en los ríos urbanos cercanos a la comunidad							
Riesgos ambientales	Vulnerabilidad territorial	Terrenos inundables									Existencia de terrenos inundables en la comunidad	Existen terrenos inundables dentro de la comunidad						
												No existen terrenos inundables dentro de la comunidad						
		Terrenos propensos a deslizamientos									Existencia de terrenos propenso a deslizamientos en la comunidad	Existen terrenos propensos a deslizamientos dentro de la comunidad						
												No existen terrenos propensos a deslizamientos dentro de la comunidad						
													Observaciones generales					

Apéndice 3: Matriz de puntuación de artículos según criterios comparativos

Artículo	Referencia	Enfoque	Criterios			
			Año de publicación	Objeto de estudio	Indicadores ambientales	Alcance
Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions	Cutter et al., 2010	Desastres	1	1	0	2
Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC)	Hazards & Vulnerability Research Institute (HVRI) of the University of South Carolina, 2010	Desastres	1	1	1	2
A Framework for Defining and Measuring Resilience at the Community Scale: The PEOPLES Resilience Framework	Renschler et al., 2010	Desastres	1	1	1	2
City Resilience Index	The Rockefeller Foundation & ARUP, 2015	Cambio Climático y desastres	1	1	1	2
Towards an Urban Resilience Index: A Case Study in 50 Spanish Cities	Suárez et al., 2016	Sostenibilidad	1	1	0	2
Análisis Multidimensional de la Resiliencia en zonas de desastre: factores críticos de adaptabilidad en Baños de Agua Santa, Ecuador	Herrera Enriquez, 2016	Desastres	1	1	1	1
The Resilience to Emergencies and Disasters Index: Applying big data to benchmark and validate neighborhood resilience capacity	Kontokosta & Malik, 2018	Desastres	1	1	0	1

Continuación de Apéndice 3

			Criterios			
Artículo	Referencia	Enfoque	Año de publicación	Objeto de estudio	Indicadores ambientales	Alcance
Measuring urban resilience using Climate Disaster Resilience Index (CDRI)	Wan Mohd Rani et al., 2018	Desastres	1	1	1	1
Propuesta metodológica para medir la resiliencia urbana ante huracanes e inundaciones en el Caribe mexicano	Camacho Sanabria et al., 2019	Desastres	2	1	0	1
Indicators for Monitoring Urban Climate Change Resilience and Adaptation	Feldmeyer et al., 2019	Cambio Climático	2	1	1	2
Evaluación cualitativa de indicadores de sostenibilidad socioambiental para su selección y aplicación en ciudades costarricenses	Romero Vargas et al., 2020	Sostenibilidad	2	1	1	1
Construcción de un Índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático. Caso de Estudio: Medellín	Villada Estrada, 2020	Cambio Climático	2	1	1	1
Measuring Urban Resilience to Climate Change in Three Chinese Cities	Zhang et al., 2020	Cambio Climático	2	1	1	1

Continuación de Apéndice 3

			Criterios			
Artículo	Referencia	Enfoque	Año de publicación	Objeto de estudio	Indicadores ambientales	Alcance
Analyzing the resilience of urban settlements using multiple-criteria decision-making (MCDM) models (case study: Malayer city)	Javari et al., 2021	Sostenibilidad	2	2	1	1
Exploring Climate Disaster Resilience: Insight into City and Zone Levels of Southern Taiwan	Imani et al., 2021	Desastres	2	1	1	1
Indicators of urban climate resilience. Case study: Varamin, Iran	Barzaman et al., 2022	Cambio Climático	2	1	1	1
Evaluation and Factor Analysis for Urban Resilience: A Case Study of Chengdu–Chongqing Urban Agglomeration	Wang et al., 2022	Sostenibilidad	2	2	1	1
Urban Resilience and Climate Change: Developing a Multidimensional Index to Adapt against Climate Change in the Iranian Capital City of Tehran	Jamali et al., 2023	Cambio Climático	2	1	1	1
Urban human settlements' resilience measurement and characteristics and their mechanism model in China	Zhou et al., 2023	Sostenibilidad	2	2	1	1
Building Resilient Cities: A Comprehensive Review of Climate Change Adaptation Indicators for Urban Design	Díaz et al., 2024	Cambio Climático	2	1	1	1

ANEXOS

“Propuesta de indicadores ambientales para asentamientos informales de Costa Rica en el marco de la resiliencia climática urbana”

Ing. María Fernanda Muñoz Tubito



INTRODUCCIÓN

Este documento es el resultado del proceso de investigación realizado en el contexto de este Trabajo Final de Graduación, en el cuál se presenta una propuesta de indicadores ambientales para asentamientos informales de Costa Rica en el marco de la resiliencia climática.

La propuesta contiene 12 indicadores ambientales, distribuidos en 4 categorías y 7 subcategorías, los cuales cuentan con una unidad de medida sugerida y una breve explicación de su relación con la resiliencia climática urbana. Se recomienda validar dichos indicadores con un estudio de caso y considerar su eventual aplicabilidad al ser integrados en herramientas de medición de resiliencia climática urbana para asentamientos informales.

Además, el documento incluye un apartado titulado **"Glosario"**, el cual ofrece una síntesis de diversos conceptos clave que son esenciales para comprender la propuesta presentada. Esta sección busca facilitar la identificación y clarificación de términos relevantes en el contexto del estudio.

GLOSARIO

Asentamiento informal: asentamientos que se desarrollan fuera de los ordenamientos jurídicos establecidos; esto quiere decir, que la mayoría de los habitantes no ostentan derecho de tenencia sobre el terreno o vivienda que ocupan.

Cambio climático: modificación en el clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

Indicador: expresión cualitativa o cuantitativa, que es observable y permite describir las características, comportamientos o fenómenos de la realidad, a través de la evolución de una variable o de la relación entre variables, las cuales una vez comparadas con periodos anteriores, con productos similares o con una meta establecida, permitirá evaluar cómo se ha desarrollado esta variable en el tiempo.

Indicador ambiental: corresponden a aquellos que se ocupan de describir y mostrar los estados y las principales dinámicas ambientales.

Resiliencia climática urbana (RCU): la capacidad de los centros urbanos y de los sistemas de los que dependen para anticipar, reducir, o recuperarse de los efectos de un evento adverso de manera oportuna y eficiente.

INDICADORES AMBIENTALES

Categoría: Recurso hídrico



Subcategoría: Agua potable

Variable	Indicador	Unidad de medida sugerida	Relación con la RCU	Fuentes de datos sugeridas*
Calidad del agua potable	Cumplimiento de parámetros de primer nivel del Reglamento para la calidad del Agua Potable No. 38924-S	Cumple	El cumplir con el reglamento contribuye (+) a la RCU ya que asegura un suministro de agua seguro y confiable. Si no se cumple (-) la vulnerabilidad climática puede aumentar, afectando la RCU considerablemente.	• Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) • Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS) • Gobierno Local
		No cumple		
Acceso al servicio	Existencia de servicio formal de conexión a la red de abastecimiento de agua potable en la comunidad	Existe servicio formal de conexión a la red de abastecimiento de agua potable en la comunidad	Contar con un servicio formal es crucial (+) para la RCU ya que su existencia asegura un acceso constante y seguro al agua, reduciendo la vulnerabilidad climática. En caso de que no exista (-) la capacidad de la comunidad para enfrentar desafíos climáticos se vería significativamente comprometida.	• Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) • Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS) • Gobierno Local • Recolección de datos en la comunidad
		No existe servicio formal de conexión a la red de abastecimiento de agua potable en la comunidad		
Frecuencia del servicio	Cantidad de días a la semana con que la comunidad cuenta con acceso al servicio de agua potable	Todos los días	Un acceso diario (+) garantiza la estabilidad y la preparación ante eventos climáticos adversos, contribuyendo a la RCU, mientras que un acceso limitado (-) a 3-5 días o menos de 2 días a la semana incrementa la vulnerabilidad y los riesgos para la comunidad, afectando la RCU.	• Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) • Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS) • Gobierno Local • Recolección de datos en la comunidad
		De 5 a 3 días a la semana		
		2 o menos días a la semana		



Subcategoría: Agua Residual

Variable	Indicador	Unidad de medida sugerida	Relación con la RCU	Fuentes de datos sugeridas*
Sistema de tratamiento	Distribución del porcentaje de la población según sistema de tratamiento de aguas residuales con el que cuentan	Porcentaje de la población que cuenta con alcantarillado sanitario o tanque séptico	Contar con sistemas como alcantarillado sanitario o tanques sépticos, considerados óptimos, refuerza la capacidad de la comunidad para enfrentar eventos climáticos (+). Por el contrario, depender de sistemas improvisados o carecer de cualquier sistema de tratamiento aumenta la vulnerabilidad, afectando negativamente (-) la RCU.	• Gobierno local • Área Rectora de Salud • Recolección de datos en la comunidad
		Porcentaje de la población que cuenta con sistema improvisado de letrina		
		Porcentaje de la población que cuenta que no cuenta con ningún sistema de tratamiento		



Subcategoría: Agua Pluvial

Variable	Indicador	Unidad de medida sugerida	Relación con la RCU	Fuentes de datos sugeridas*
Uso de agua de lluvia	Porcentaje de hogares que reportan uso de agua de lluvia	Más del 70% de los hogares reportan uso de agua de lluvia	Un alto porcentaje de hogares que reportan uso de agua de lluvia indica una mayor capacidad de adaptación a la escasez hídrica, aportando (+) a la RCU. Mientras que un porcentaje bajo sugiere una mayor vulnerabilidad, afectando la RCU (-).	• Instituto Nacional de Estadística y Censos • Recolección de datos en la comunidad
		Entre el 30% y el 70% de los hogares reportan uso de agua de lluvia		
		Menos del 30% de los hogares reportan uso de agua de lluvia		

Categoría: Gestión de Residuos Sólidos



Subcategoría: Servicio de recolección

Variable	Indicador	Unidad de medida sugerida	Relación con la RCU	Fuentes de datos sugeridas*
Frecuencia del servicio	Número de veces a la semana que la comunidad cuenta con servicio de recolección de residuos sólidos	Al menos 2 veces a la semana	Un servicio regular refuerza la capacidad de la comunidad para gestionar residuos y mitigar impactos climáticas, aportando a la RCU (+). En cambio, un servicio esporádico o inexistente aumenta la vulnerabilidad e incrementa los impactos, afectando (-) la RCU.	- Gobierno Local - Recolección de datos en la comunidad
		1 vez a la semana		
		Servicio esporádico		
		No hay servicio		
Acceso al servicio	Porcentaje de hogares que cuentan con acceso a puntos de recolección establecidos sin obstáculos físicos	Más del 80% de los hogares tienen acceso a un punto de recolección sin obstáculos (gradas, falta de aceras, etc)	Un alto porcentaje de hogares con acceso sin obstáculos físicos a puntos de recolección, refleja una comunidad mejor preparada para adaptarse a condiciones climáticas adversas. Por el contrario, entre menor sea el porcentaje, mayores desafíos en su RCU (-).	- Gobierno Local - Recolección de datos en la comunidad
		Entre el 50% y el 80% de los hogares tienen acceso a un punto de recolección sin obstáculos (gradas, falta de aceras, etc)		
		Menos del 50% de los hogares tienen acceso a un punto de recolección sin obstáculos (gradas, falta de aceras, etc)		



Subcategoría: Impacto en matrices

Variable	Indicador	Unidad de medida sugerida	Relación con la RCU	Fuentes de datos sugeridas*
Contaminación visible por residuos sólidos	Existencia de contaminación visible por residuos sólidos en cuerpos de agua, vías y otros espacios públicos o privados dentro de la comunidad	Existe contaminación visible por residuos sólidos	La existencia de residuos sólidos aumenta el riesgo de inundaciones urbanas e impacta en la salud pública y de los ecosistemas, afectando la RCU (-). Mientras que su gestión adecuada puede contribuir a la reducción de vulnerabilidad y	- Gobierno Local - Recolección de datos en la comunidad
		No existe contaminación visible por residuos sólidos		

Categoría: Riesgos ambientales



Subcategoría: Vulnerabilidad territorial

Variable	Indicador	Escala de medición	Relación con la RCU	Fuentes de datos sugeridas*
Área de protección de cuerpos de agua urbanos	Porcentaje del área de protección de los cuerpos de agua cercanos a la comunidad que cumplen con la Ley Forestal 7575, artículo 33 inciso b.	Porcentaje menor al 30%	Entre mayor sea el porcentaje del área de protección de los cuerpos de agua cercanos a la comunidad, mayor será la capacidad de adaptación (+) y preservación de ecosistemas hídricos. En contraste, entre menor sea el porcentaje, la vulnerabilidad aumentará y podría afectar negativamente la RCU (-).	- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) - Gobierno Local - Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) - Investigación con software de Sistemas de Información Geográfica
		Porcentaje entre 30% y 50%		
		Porcentaje entre 50% y 70%		
		Porcentaje mayor al 70%		
Zonas propensas a inundaciones	Existencia de zonas propensas a inundaciones en la comunidad	Existen zonas propensas a inundaciones dentro de la comunidad	Si estas zonas no existen, la comunidad presenta una menor exposición al riesgo, fortaleciendo su capacidad de adaptación, aumentando su RCU (+). En cambio, la presencia de estas áreas implica un mayor riesgo de afectaciones por eventos climáticos extremos, lo que resalta la necesidad de medidas de mitigación y afecta negativamente la RCU (-).	- Comisión Nacional de Emergencias (CNE) - Gobierno Local - Recolección de datos en la comunidad
		No existen zonas propensas a inundaciones dentro de la comunidad		
Zonas propensas a deslizamientos	Existencia zonas propensas a deslizamientos en la comunidad	Existen zonas propensas a deslizamientos dentro de la comunidad	Si estas zonas no existen, la comunidad presenta una menor exposición al riesgo, fortaleciendo su capacidad de adaptación, aumentando su RCU (+). En cambio, la presencia de estas áreas implica un mayor riesgo de afectaciones por eventos climáticos extremos, lo que resalta la necesidad de medidas de mitigación y afecta negativamente la RCU (-).	- Comisión Nacional de Emergencias (CNE) - Gobierno Local - Recolección de datos en la comunidad
		No existen zonas propensas a deslizamientos dentro de la comunidad		

Categoría: Espacios verdes urbanos



Subcategoría: Cobertura verde urbana

Variable	Indicador	Unidad de medida sugerida	Relación con la RCU	Fuentes de datos sugeridas*
Porcentaje de cobertura verde urbana	% cobertura verde urbana / % infraestructura gris	Porcentaje de cobertura verde urbana mayor al porcentaje de infraestructura gris	El porcentaje de cobertura verde urbana en relación con la infraestructura gris es un indicador crucial de resiliencia climática urbana. Un mayor porcentaje de cobertura verde en comparación con la infraestructura gris indica una mayor capacidad de adaptación y RCU (+).	- Gobierno Local - Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH) - Investigación con software de Sistemas de Información Geográfica
		Porcentaje de cobertura verde urbana mayor al porcentaje de infraestructura gris		

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

ingeniería
ambiental