



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERIA EN CONSERVACION DE RECURSOS NATURALES.

**APORTE DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA EN LA
PLANIFICACIÓN ESPACIAL Y CAMBIO CLIMATICO.**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de
Concepción para otorgar al título profesional de Ingeniero en Conservación de
Recursos Naturales

POR: Pablo Andres Velasquez Rodriguez

Profesor Guía: Cristian Mauricio Echeverria Leal

Marzo, 2025
Concepción, Chile

© 2025, Pablo Andres Velasquez Rodriguez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

**APORTE DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA EN LA
PLANIFICACIÓN ESPACIAL Y CAMBIO CLIMATICO.**

Profesor Guía



Cristian Mauricio Echeverria Leal

Profesor titular

Ingeniero Forestal, PhD.

Profesor Co Guía



**DANIEL ROZAS
VASQUEZ**

Firmado digitalmente

por DANIEL ROZAS VASQUEZ

Fecha: 2025.03.20

08:28:54 -03'00'

Daniel Alejandro Rozas Vásquez

Colaborador académico

Biólogo, PhD.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a las tres mujeres más importantes en mi vida: mi pareja, Ana Guzmán; mi madre, Libertad Rodríguez; y mi hermana, Libertad Vergara. Sin el apoyo incondicional de cada una de ellas, no sería la persona que soy hoy. Espero, con todo mi corazón, poder retribuirles algún día el esfuerzo y sacrificio que han hecho por mí.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis profesores Cristian Echeverría y Daniel Rozas, cuya guía y apoyo fueron fundamentales en una de las etapas más significativas de mi formación académica.

Agradezco el apoyo financiero brindado por el Proyecto FONDECYT N° 1231233 “Integrated assessment of the impacts of climate and land use change on multiple ecosystem services in south-central Chile.”

A mi pareja, Ana Guzmán, le agradezco de corazón su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años, siendo siempre mi mayor fortaleza.

A mi madre, Libertad Rodríguez, y a mi hermana, Libertad Vergara, les dedico mi gratitud infinita por ser pilares esenciales en mi vida y por haberme brindado el aliento necesario para alcanzar mis metas.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	6
2.1 Estableciendo parámetros de búsqueda/criterios de búsqueda	6
2.2 Proceso de selección y limpieza de literatura.....	7
2.3 Análisis.....	8
III. RESULTADOS	11
3.1 Distribución y concentración de estudios	11
3.2 SbN y SE identificados en la revisión.....	12
3.3 Amenazas climáticas	14
3.4 Tipos de actores y escala política de la SbN.....	15
3.5 Relación entre los SE, SbN, las amenazas climáticas y las categorías establecidas por la UICN y la ONU	19
3.6 Conceptos relacionados	23
IV. DISCUSIÓN	24
V. CONCLUSIÓN.....	30
VI. GLOSARIO	20
VII. BIBLIOGRAFIA.....	36
VIII. ANEXO.....	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1 Diagrama de flujo PRISMA describiendo las etapas de la revisión sistemática de la literatura	10
Figura 3.1. Distribución y concentración de artículos que abordaban las SbN por país, identificadas en la revisión de la literatura	12
Figura 3.2 Soluciones basadas en la naturaleza identificadas en la revisión sistemática con frecuencia de implementación mayor a 7	13
Figura 3.3 Servicios Ecosistémicos identificados en la revisión sistemática con frecuencia de mención mayor o igual a 2.....	14
Figura 3.4. Amenazas climáticas identificadas en la revisión sistemática y su frecuencia de mención	15
Figura 3.5. Porcentaje de actores sociales identificados en la revisión sistemática.	16
Figura 3.6. Escala de intervención de las Soluciones basadas en la Naturaleza con su frecuencia de mención en la revisión sistemática	17
Figura 3.7. Diagrama aluvial de flujo entre Actores y Soluciones basadas en la Naturaleza registrados en la revisión sistemática.....	18
Figura 3.8. Diagrama aluvial que muestra la correlación de Servicios ecosistémicos, Soluciones basadas en la naturaleza y Amenazas climáticas registradas en la revisión sistemática	20
Figura 3.9. Diagrama aluvial de flujo de la reclasificación de amenazas climáticas registradas a la categoría de amenazas de las Naciones Unidas, las Soluciones basadas en la Naturaleza identificadas y las categorías IUCN propuestas para las soluciones	22
Figura 8.1. Numero de artículos identificados en la revisión sistemática publicados por año	39
Figura 8.2. Numero de publicaciones de revistas identificadas en la revisión sistemática con frecuencia igual o mayor a 2.....	39

RESUMEN

Este estudio aborda el rol y los aportes de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) en la planificación territorial como una estrategia clave para mitigar riesgos climáticos y promover la sostenibilidad. Estas soluciones, definidas como acciones que aprovechan los ecosistemas para enfrentar desafíos sociales, han ganado protagonismo al complementar o sustituir enfoques tradicionales de ingeniería, destacando su efectividad en la mitigación de inundaciones, islas de calor y olas de calor, entre otros. Basándonos en una revisión sistemática de literatura mediante el marco PRISMA, se analizaron 115 artículos que identificaron 37 SbN como techos verdes, bosques urbanos e infraestructura verde, con una predominancia en contextos urbanos. Estos elementos no solo ofrecieron beneficios ecosistémicos como regulación de temperatura y control de escorrentías, sino que también abordaron amenazas climáticas desde un enfoque multidimensional. Sin embargo, se identificaron desafíos significativos para su implementación, tales como la falta de marcos regulatorios y resistencia al cambio, lo que subraya la necesidad de estrategias colaborativas entre gobiernos, comunidades y actores privados. Este estudio destaca además la importancia de las SbN en la resiliencia comunitaria y la adaptación al cambio climático, planteando la integración de estas estrategias en políticas y prácticas urbanas y rurales. Las recomendaciones incluyen fomentar investigaciones futuras que exploren los desafíos operacionales.

ABSTRACT

This study addresses the role and contributions of Nature-Based Solutions (NbS) in territorial planning as a key strategy to mitigate climate risks and promote sustainability. These solutions, defined as actions that leverage ecosystems to tackle social challenges, have gained prominence by complementing or replacing traditional engineering approaches, highlighting their effectiveness in mitigating floods, heat islands, and heat waves, among others. Based on a systematic literature review using the PRISMA framework, 115 articles were analyzed, identifying 37 NBS such as green roofs, urban forests, and green infrastructure, with a predominance in urban contexts. These elements not only provided ecosystem benefits such as temperature regulation and runoff control but also addressed climate threats through a multidimensional approach. However, significant challenges for their implementation were identified, such as the lack of regulatory frameworks and resistance to change, underscoring the need for collaborative strategies among governments, communities, and private actors. This study further highlights the importance of NbS in community resilience and climate change adaptation, proposing the integration of these strategies into urban and rural policies and practices. Recommendations include encouraging future research to explore operational challenges and associated trade-offs, promoting a comprehensive approach that prioritizes equity, participation, and continuous monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

La degradación de los servicios ecosistémicos, es decir, la disminución de los beneficios que los ecosistemas brindan a la sociedad representa una amenaza creciente para el bienestar humano y el desarrollo sostenible (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Esta degradación se manifiesta en la pérdida de biodiversidad, la disminución de la calidad del agua, la reducción de la fertilidad del suelo y la alteración de los ciclos biogeoquímicos, entre otros (Hua et al, 2024). Las consecuencias de esta degradación son múltiples y afectan tanto a los aspectos económicos como sociales, como la pérdida de oportunidades de desarrollo, el aumento de la pobreza y la aparición de nuevas enfermedades (Berrouet et al, 2024). Por lo tanto, es crucial implementar estrategias de conservación y restauración de ecosistemas para garantizar la provisión continua de estos servicios esenciales para la sociedad.

Tradicionalmente, para hacer frente a esto se han propuesto métodos basados en la ingeniería y la tecnología, abordando diversos desafíos, ya que ofrecen simplicidad y replicabilidad en el diseño y gestión, pero conllevan altos costos de construcción y limitada adaptabilidad a cambios futuros (Fang et al, 2024). Términos relacionados como adaptación basada en ecosistemas e infraestructura verde son cada vez más considerados como una alternativa o complemento a los enfoques convencionales de mitigación de amenazas (Deng

et al., 2022). Si bien, el concepto de SBN fue usado oficialmente por primera vez por el Banco Mundial el 2008 (MacKinnon et al., 2008), este ha ganado aceptación recientemente como un enfoque integrado que ofrece un enorme potencial para abordar las crisis del cambio climático (tanto para mitigación como para adaptación) y la pérdida de biodiversidad; al tiempo que garantizan el flujo de servicios ecosistémicos de los que depende el bienestar humano (Faivre et al., 2017; Seddon et al., 2021). Las SbN ofrecen un enfoque en la sustentabilidad y soluciones a largo plazo, definiéndose como las acciones para proteger, conservar, restaurar, utilizar de manera sostenible y gestionar ecosistemas terrestres, acuáticos dulces, costeros y marinos naturales o modificados que aborden de manera efectiva desafíos sociales, económicos y ambientales. Las SbN son vistas cada vez más como alternativas o complementos a los enfoques convencionales de ingeniería para la mitigación de riesgos (International Union for Conservation of Nature, 2023).

Las amenazas climáticas se interpretan como impactos negativos del cambio climático en el medio ambiente y las poblaciones humanas (Castellar et al. 2021). En este contexto se puede destacar como las SbN se han utilizado principalmente para abordar las inundaciones urbanas y el estrés por calor, que pueden empeorar con el cambio climático. Los autores destacan la importancia de la investigación futura para identificar qué tipos de SbN son eficaces para abordar

desafíos específicos de sostenibilidad urbana en diferentes contextos, incluidas las condiciones climáticas cambiantes (Fang et al. 2024).

En este contexto la planificación espacial juega un papel clave para abordar las amenazas climáticas a través de la ubicación y diseño de infraestructuras, áreas urbanas y rurales. Además, la planificación espacial aporta la gestión de recursos naturales, los cuales pueden influir significativamente en la vulnerabilidad de una región frente a los eventos climáticos extremos (Wang et al, 2023). Esta disciplina, en un contexto urbano como el proceso de dar forma (principalmente, pero no solo) al entorno físico de las ciudades, tiene la capacidad de adaptarse y acomodar tales cambios socio ecológicos a través de tres atributos: métodos de diseño (ciclo de conocimiento), proceso de diseño (coevolución de los sistemas urbanos socioculturales/ecológicos) y desempeño del diseño (Palazzo, 2019).

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza pueden integrarse en la planificación territorial para abordar estos desafíos de manera sostenible y eficiente (Tsatsou, 2023). Algunos ejemplos de SbN en la planificación territorial incluyen la recuperación de humedales, bosques y manglares que pueden proteger las costas de la erosión, mejorar la calidad del agua y actuar como barreras naturales contra inundaciones y tormentas (Liu et al, 2023).

Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales de las SbN, su implementación en la planificación territorial plantea una serie de desafíos (Muñoz et al, 2023). Por ejemplo, ¿Cuál es el rol de las SbN para enfrentar el

riesgo climático? Aunque las SbN ofrecen soluciones prometedoras, es fundamental comprender su papel específico en la mitigación del riesgo climático.

La aplicación de SbN en la planificación territorial o espacial puede enfrentar obstáculos como la falta de conocimiento y experiencia, la resistencia al cambio, la necesidad de marcos legales y regulatorios adecuado la dificultad para evaluar los beneficios a largo plazo (Castelo et al., 2023). Frente a estos obstáculos, surge la interrogante de cuáles son los principales desafíos para su implementación en la planificación espacial.

En este contexto, el objetivo del presente estudio es identificar el rol de las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) en función de su potencial de resistencia a distintos riesgos climáticos y su implementación en la planificación territorial. En particular se busca: (i) analizar publicaciones científicas asociadas al uso de SbN a nivel global, (ii) identificar el rol de SbN para riesgos climáticos, y (iii) describir medidas de implementación de SbN para la planificación territorial

El presente estudio apunta a construir un marco analítico respecto las SbN y aportar en la planificación territorial y riesgo climático. En este estudio se llevará a cabo una revisión sistemática basada en el sistema PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al, 2020), la cual permitirá identificar, evaluar y sintetizar de manera rigurosa la evidencia disponible sobre el tema, respondiendo a las preguntas planteadas anteriormente y generando recomendaciones para futuras investigaciones y prácticas. Se

espera que identifique brechas de conocimiento y áreas prioritarias para futuras investigaciones, contribuyendo así al desarrollo de políticas y prácticas más efectivas para la adaptación y mitigación al cambio climático y la construcción de ciudades más resilientes y sostenibles.

II. METODOLOGÍA

Este estudio utilizó las directrices de los artículos preferidos para la Presentación de Revisiones Sistemáticas y Meta-Análisis (PRISMA) como un marco estructurado durante la fase metodológica de la revisión exhaustiva de la literatura (Moher et al., 2009). La cantidad y características de las publicaciones indican el interés científico y el estado de implementación de las soluciones basadas en la naturaleza en diversos países. A continuación, se detallan las directrices PRISMA empleadas en la metodología de esta revisión sistemática.

21. Estableciendo parámetros de búsqueda/criterios de búsqueda

Se realizó una búsqueda exhaustiva en las bases de datos Web of Science (WoS) y Scopus para localizar artículos pertinentes. Los criterios de inclusión para realizar la Revisión Sistemática de la Literatura (SLR) en este estudio consistieron en artículos de revistas revisados por pares publicados desde 2015 hasta 2024, escritos en inglés y español.

Los términos de búsqueda utilizados en las bases de datos WoS y Scopus para determinar los estudios realizados sobre SbN fueron “Nature-based solutions” AND (“Climate change” OR “Climate Hazard” OR “Climate risk” OR

“Climate Impact”) AND (“Spatial planning” OR “Land-use planning” OR “territorial planning” OR “urban planning” OR “city planning”).

22 Proceso de selección y limpieza de literatura

A partir de esta búsqueda se obtuvo un set inicial de artículos los cuales se sometieron a análisis utilizando el método PRISMA detallado a continuación.

- i. Se llevó a cabo una revisión de los títulos y se eliminarán las entradas duplicadas.
- ii. Se eliminarán aquellos artículos que excluyan las palabras clave principales, sin un énfasis particular en las soluciones basadas en la naturaleza
- iii. Luego, los resúmenes se examinarán y comprenderán a fondo para determinar si los estudios se refieren concretamente a las SbN.
- iv. A continuación, se realizará una revisión posterior sobre el texto completo de los artículos de la búsqueda inicial de palabras clave.
- v. Para la ronda final de selección, se identificaron más registros que coincidían con los criterios de búsqueda en las listas de referencias de los artículos de texto completo.

23 Análisis

Las fases de PRISMA a través de las fases de SLR (Systematic literature review) se muestran en la figura 1. El proceso de PRISMA reveló los artículos más relevantes para el estudio sistemático con la información del año, ciudad y país donde se implementó, escala, amenaza climática, SbN propuestos o mencionados, actores involucrados, servicios ecosistémicos relacionados y metodología en los artículos resultantes ya obtenidos. El objetivo es establecer concretamente cuales fueron los roles de las SbN y que tipo de implementación tuvieron.

Del análisis de los artículos seleccionados, se identificaron cinco categorías principales de actores involucrados en la implementación las SbN. Investigadores, Gobierno, Comunidades locales, Privados y ONG. En cuanto a la escala política de la intervención identificada se categorizó en Global, Multinacional, Ciudad, Municipal y Local. La información para esta clasificación provino de la sección “área de estudio” de cada artículo.

La evaluación de los servicios ecosistémicos se realizó mediante la aplicación de la Clasificación Internacional de los Servicios de los Ecosistemas (CICES). Asimismo, para la categorización de las soluciones identificadas en la revisión, se emplearon las categorías establecidas por

la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) para las SbN. Los resultados de la revisión fueron analizados y representados mediante gráficos, los cuales visualizan la cuantificación de los artículos seleccionados, así como su distribución, frecuencia y concentración.

Las amenazas climáticas que se identificaron en la revisión de los artículos se catalogaron dentro de las 7 amenazas identificadas por las Naciones Unidas, (United Nations, 2020) para garantizar la comparabilidad y estandarización de los datos. Este proceso de reclasificación permite armonizar la información, facilitando el análisis y la generación de conclusiones comparables a nivel global. Este análisis buscará llenar esos vacíos al centrarse en la implementación concreta de SbN a nivel local y regional y permitirá comprender mejor cómo se están aplicando las SbN en la práctica, qué desafíos enfrentan y qué lecciones se pueden aprender para mejorar su eficacia y escalabilidad (UICN 2016).

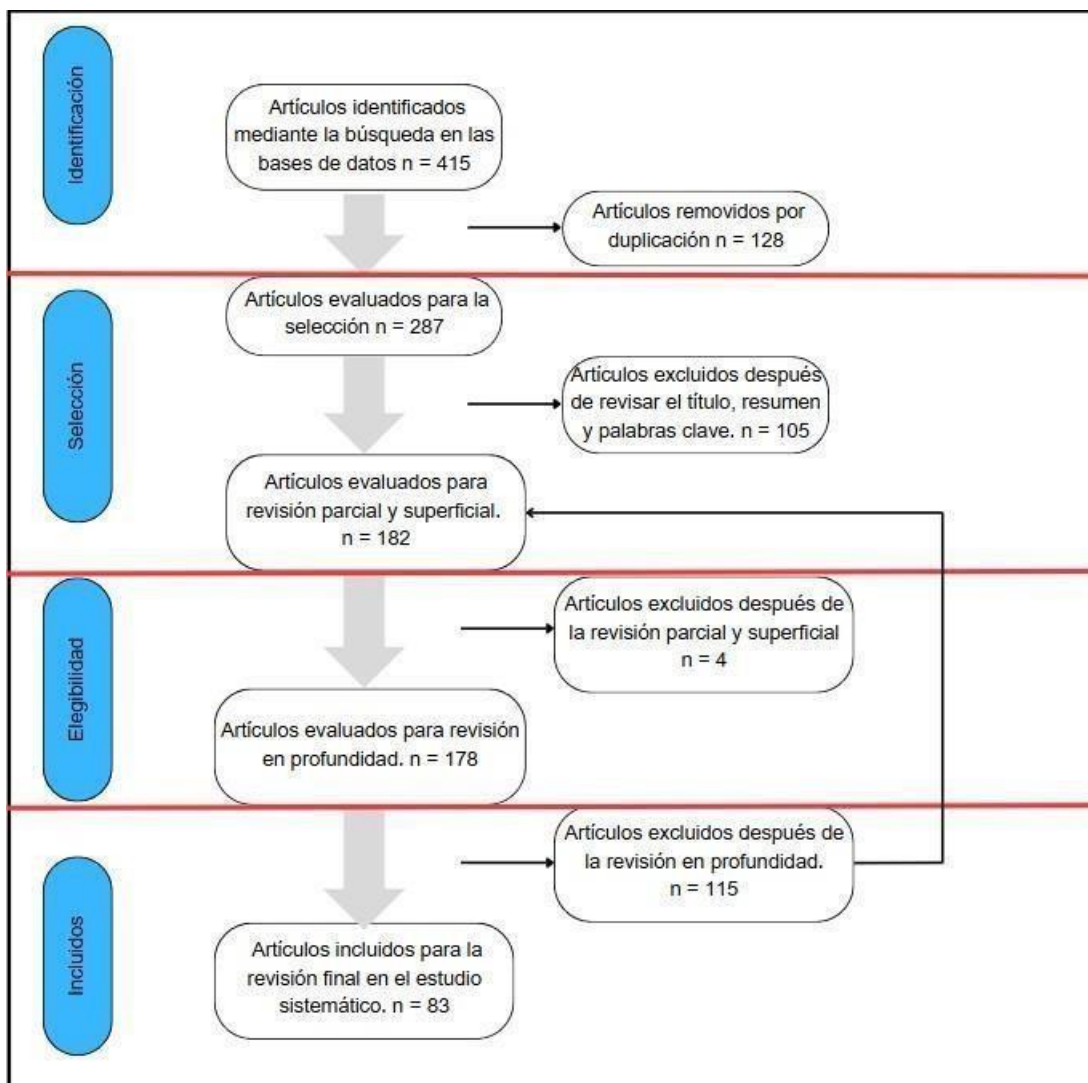


Figura 2.1 Diagrama de flujo PRISMA describiendo las etapas de la revisión sistemática de la literatura.

III. RESULTADOS

3.1 Distribución y concentración de estudios

El análisis de la literatura permitió identificar un total de 53 países mencionados en los estudios revisados, con una frecuencia acumulada de 153 menciones en los artículos analizados. Los resultados evidencian que el 70% de las SbN implementadas se concentran en el hemisferio norte, con una frecuencia de 107 registros. Asimismo, se observa una mayor concentración de estas iniciativas en regiones específicas, destacando Estados Unidos, Europa occidental y China como los principales focos de implementación (Figura 2).



Figura 3.1. Distribución y concentración de las NbS implementadas por país, identificadas en la revisión de la literatura.

3.2 SbN y SE identificados en la revisión

El análisis de los 115 artículos revisados permitió identificar un total de 37 SbN descritas por los mismos autores. Entre las SbN identificadas, las de mayor frecuencia fueron los techos verdes, representando el 13% del total, seguidos por los pavimentos permeables en zonas urbanas (9,5%), los bosques urbanos (9%),

la infraestructura verde (8,3%), los jardines fluviales (8%) y los humedales (6%). Estas constituyen las cinco SbN más implementadas según la literatura analizada.

Por el contrario, las SbN menos referenciadas incluyen la jardinería para la vida silvestre, con una representación del 0,3%, los malecones (0,9%) y los estacionamientos verdes (1,2%).

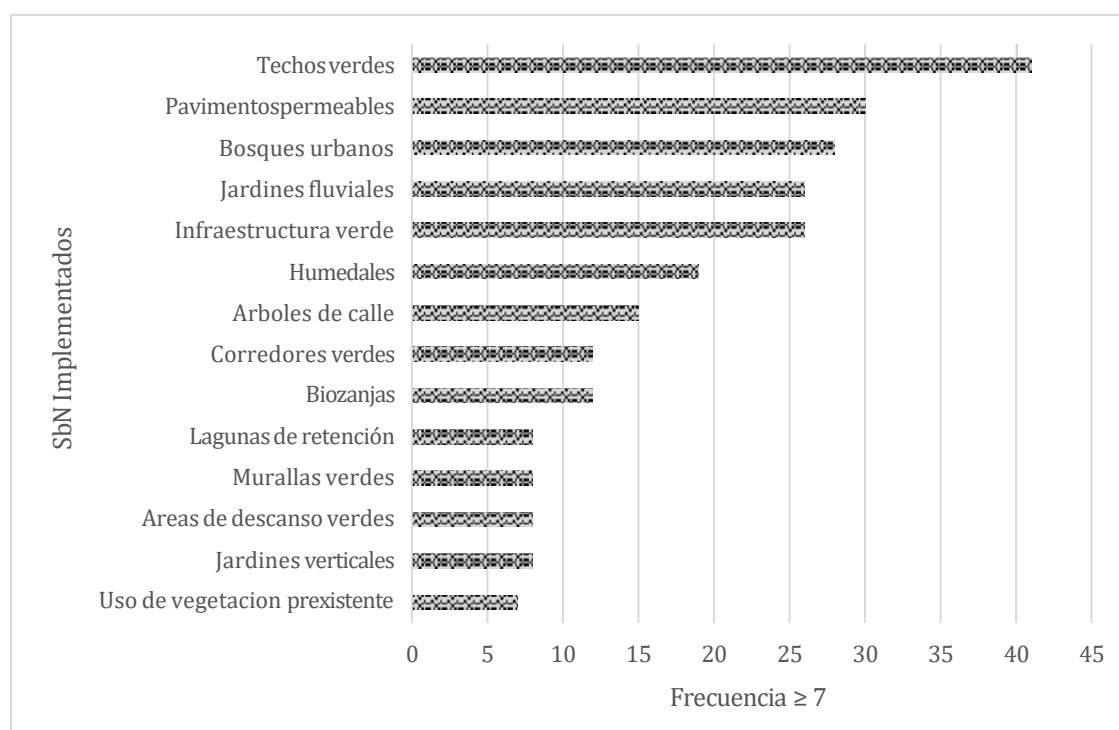


Figura 3.2. Soluciones basadas en la naturaleza identificadas en la revisión sistemática con frecuencia de implementación mayor a 7.

En relación con los SE, se identificaron un total de 27, tomando como base su mención explícita en los artículos analizados

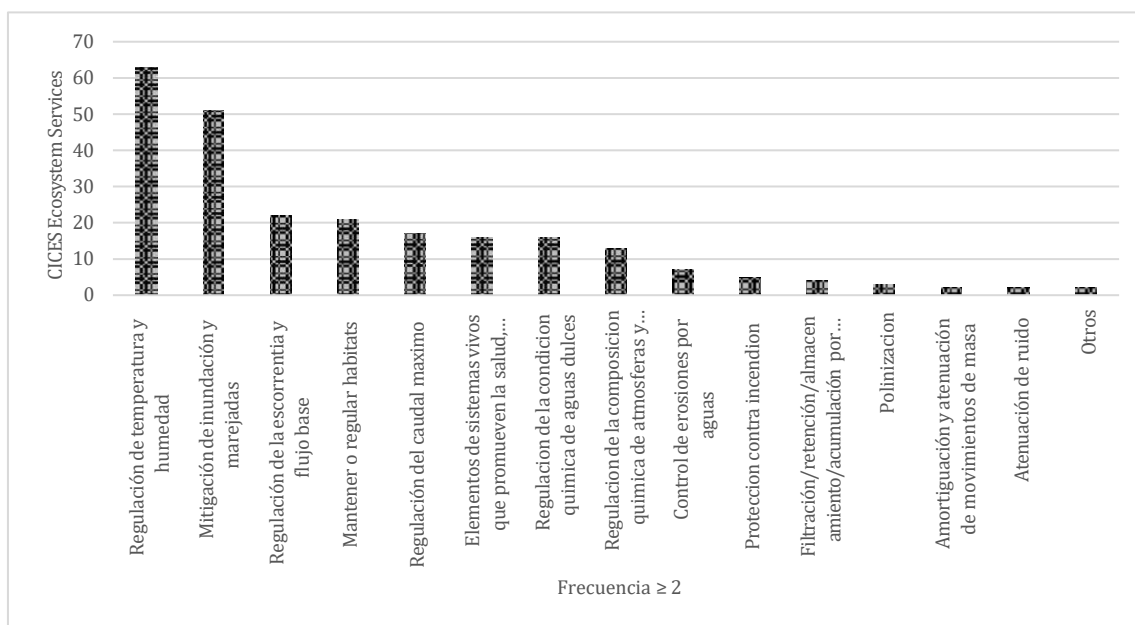


Figura 3.3. Servicios Ecosistémicos identificados en la revisión sistemática con frecuencia de mención mayor o igual a 2

Dentro de los servicios identificados, la categoría de Regulación resultó ser la más relevante, representando el 90% del total, seguida por Cultural con un 9% y Aprovechamiento con un 1%. En particular, se destacan los servicios de Regulación de temperatura y humedad, Mitigación de inundaciones y marejadas, y Regulación de la escorrentía y flujo base como los más frecuentemente mencionados. Por otro lado, los servicios menos frecuentes fueron Atenuación de ruido, Amortiguación y alteración de movimientos en masa, y Polinización.

3.3 Amenazas climáticas

Se identificaron un total de 17 amenazas climáticas descritas por los autores (Figura 4). Entre estas, las más frecuentes fueron: inundaciones, representando el 24,6% de los casos; islas de calor, con un 13,3%; y olas de calor, con un 11,3%.

Por otro lado, las amenazas menos mencionadas fueron: escasez de agua, con un 0,4%; erosión, con un 1,2%; y precipitaciones, con un 1,6%.

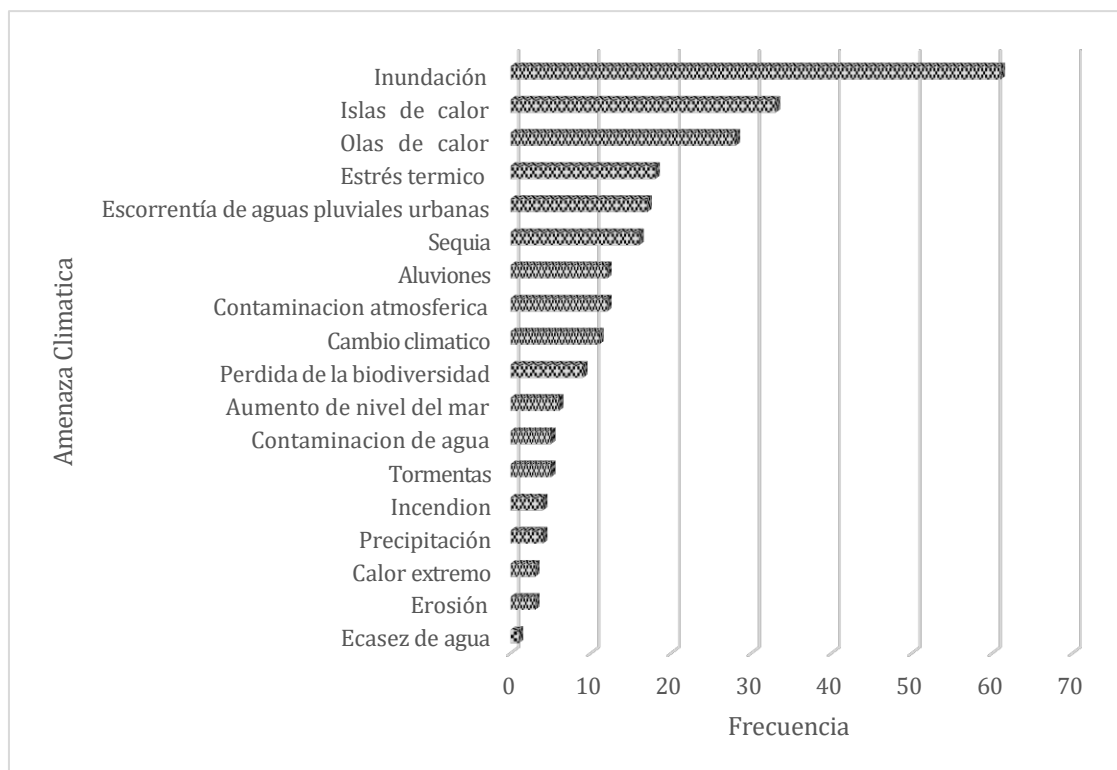


Figura 3.4. Amenazas climáticas identificadas en la revisión sistemática y su frecuencia de mención.

3.4 Tipos de actores y escala política de la SbN

El grupo predominante correspondió a “Investigadores”, representando el 35% del total, seguido por “Gobierno” con un 29%, “Comunidad local” con un 20%, “Privados” con un 10%, y finalmente las “ONG” con un 7% (Figura 6). Dentro de la categoría de comunidades locales, se incluyeron actores sociales clave, comunidades indígenas y ciudadanos. Los tomadores de decisiones se distribuyeron entre estas categorías, siendo representados por al menos un actor social en cada una de las cinco.

En cuanto a la escala política en la que se implementaron las SbN, se identificaron cinco escalas principales. La escala más frecuente fue la “Ciudad”, con un 61% de los casos, seguida por la escala “Local” (21%), “Municipal/Comunal” (12%), “Global” (5%) y “Multinacional” (4%) (Figura 7). La categoría “Multinacional” comprende casos donde las SbN se desarrollaron en distintas ciudades y países dentro de un mismo continente.

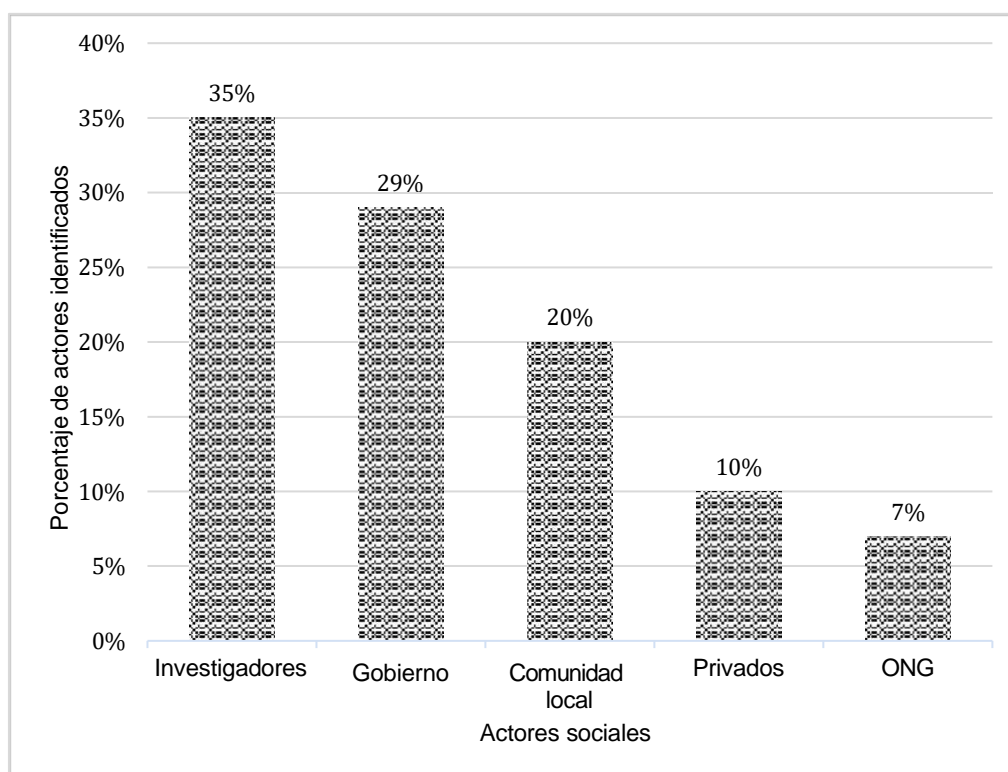


Figura 3.5. Porcentaje de actores sociales identificados en la revisión sistemática

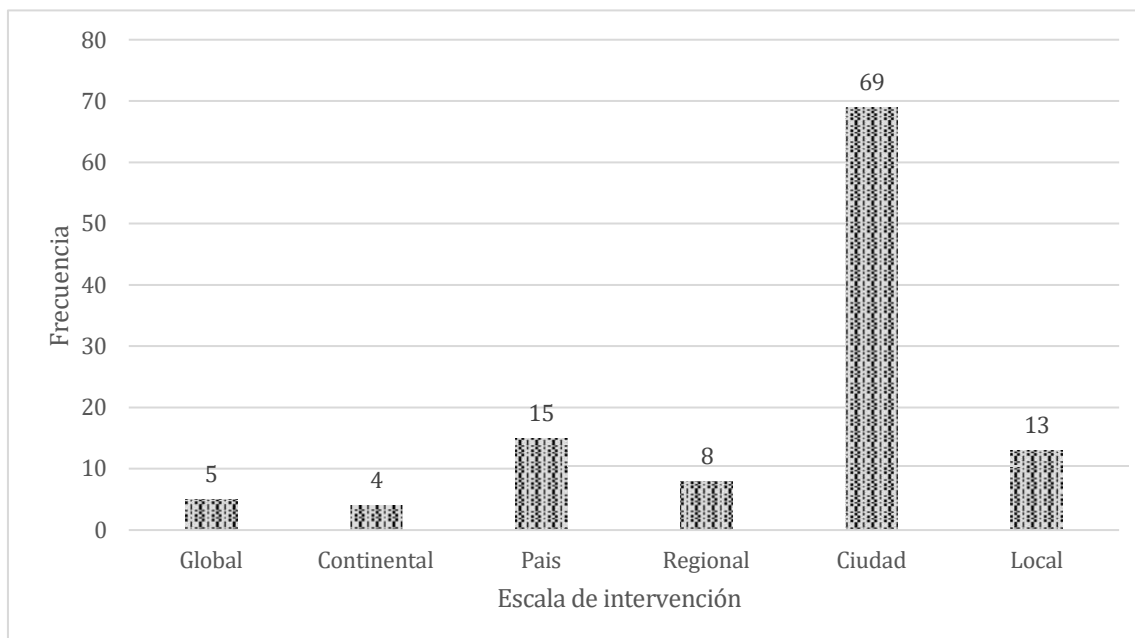


Figura 3.6. Escala de intervención de las Soluciones basadas en la Naturaleza con su frecuencia de mención en la revisión sistemática.

El diagrama de la figura 8 ilustra la relación entre los actores sociales y las SbN identificadas a través de la revisión sistemática. Las SbN agrupan a una amplia diversidad de actores, siendo la categoría predominante “Techos verdes”, que representa el 23% del total de la suma de frecuencia de actores, con 34% de investigadores, 30% de Gobierno, 18% de Comunidad local, 13% Privados y 5% de ONG en respecto a la cantidad de actores involucrados en la implementación de esta SbN. A esta le siguen “Bosques urbanos” con un 17% donde la proporción de actores es de un 31% en investigadores, 28% de gobierno, 16% de comunidades locales, 11% privados y 9% de ONG. En tercer lugar “Infraestructura verde” con un 13% en el cual su proporción de actores

involucrados sigue una tendencia similar con un 41% en investigadores, 29% Gobierno, 14% de comunidades locales, 14% de privados y 3% de ONG.

Se observó una multiplicidad de interacciones entre los actores sociales y las SbN, lo que evidencia una distribución heterogénea de esfuerzos y roles en el desarrollo e implementación de estas iniciativas.

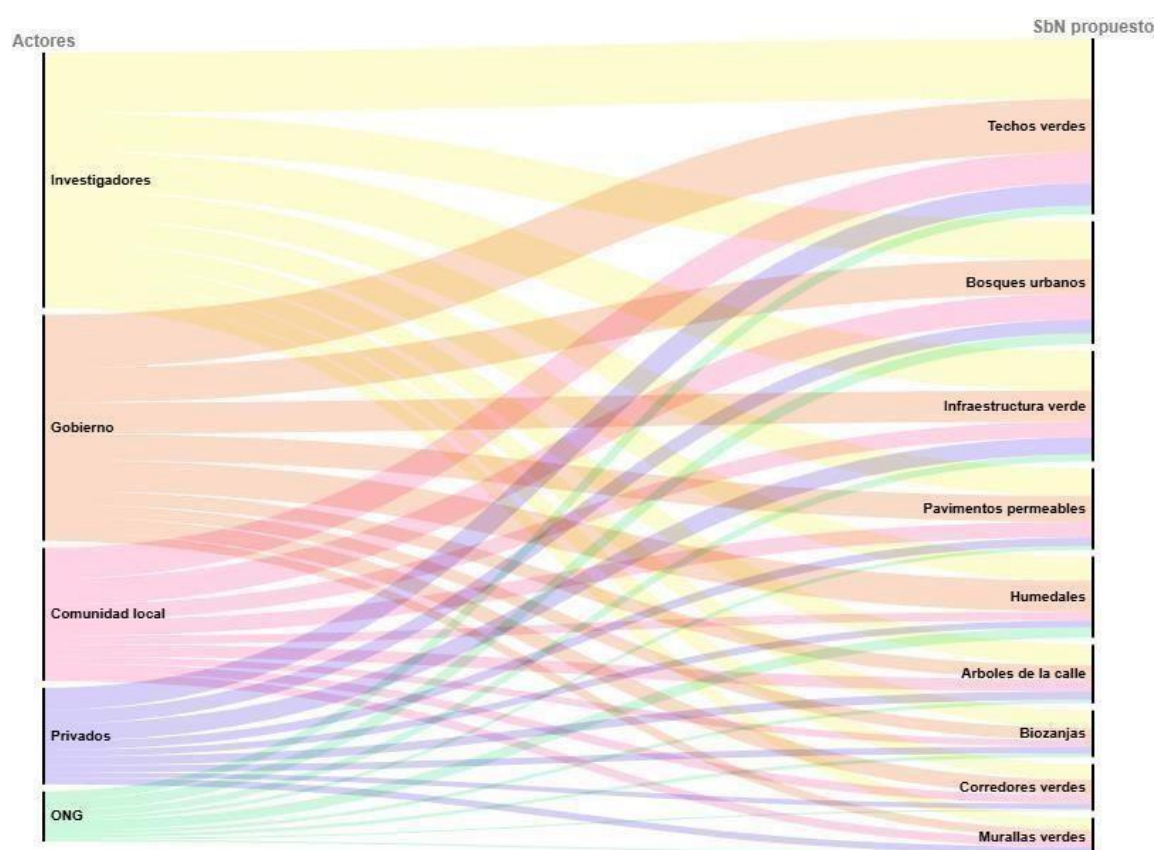


Figura 3.7. Relación entre tipo de actores y Soluciones basadas en la Naturaleza según información obtenida de la revisión sistemática.

3.5 Relación entre los SE, SbN, las amenazas climáticas y las categorías establecidas por la UICN y la ONU

La “regulación de temperatura” fue el SE con mayor representación de SbN, alcanzando un 24% del total (Figura 9). Por su parte, la SbN más utilizada es “Techos verdes”, que abarca el 19% de las soluciones identificadas. En cuanto a los riegos o amenazas climáticas, “Inundación” se posiciona como la más abordada mediante SbN, con un 27% de las soluciones destinadas a su mitigación.

En detalle, la regulación de la temperatura y la humedad se encontró estrechamente asociada con SbN como los techos verdes y los bosques urbanos. Estas soluciones, a su vez, se vincularon con la mitigación de amenazas climáticas como las islas de calor. Por otro lado, los SE relacionados con la mitigación de inundaciones presentaron una fuerte correlación con SbN como los humedales y los jardines fluviales, los cuales estuvieron asociados con las inundaciones y las escorrentías urbanas.

Estas interacciones permitieron entender las interdependencias entre las SbN y las amenazas climáticas, en que cada SbN actúa como un elemento clave que canaliza los beneficios de los SE hacia la mitigación o prevención de amenazas climáticas específicas. Además de la “Mitigación de inundaciones”, otros servicios ecosistémicos destacados son la “Regulación de la escorrentía”, que representa el 10% de las conexiones analizadas.

En cuanto a las SbN, “Bosques urbanos” e “Infraestructura verde” ocupan el segundo y tercer lugar en frecuencia, con un 12% y 10%, respectivamente, después de los “Techos verdes”. Por el lado de las amenazas climáticas, “Inundaciones” destaca como la siguiente más abordadas después de “Calor extremo”, con porcentajes de mitigación del 32% y 27%, respectivamente.

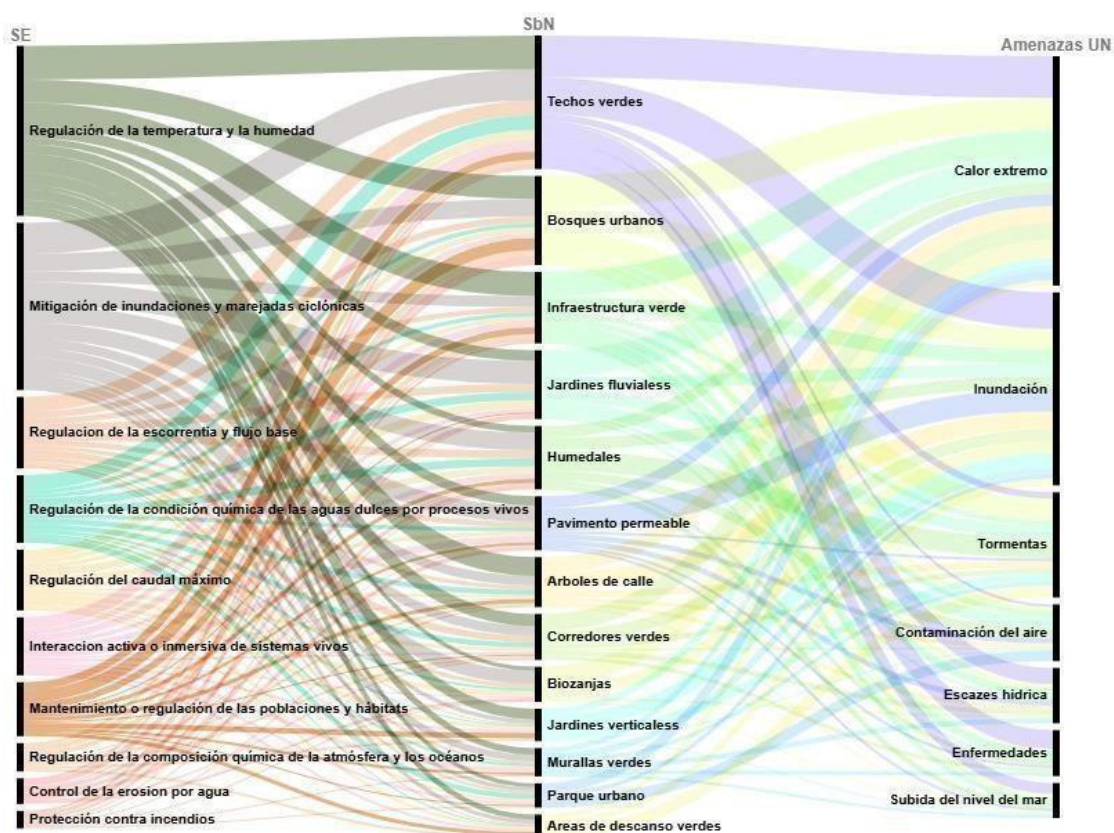


Figura 3.6. Diagrama aluvial que muestra la correlación de Servicios ecosistémicos, Soluciones basadas en la naturaleza y Amenazas climáticas registradas en la revisión sistemática.

Se estableció una conexión entre diversas amenazas categorizadas por las Naciones Unidas, las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y las categorías de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Este análisis permite observar cómo cada amenaza está vinculada a múltiples SbN,

revelando una relación multidimensional en la que una sola solución puede abordar diferentes problemáticas ambientales (Figura 10). Este enfoque destaca la versatilidad de las SbN para mitigar impactos relacionados con fenómenos climáticos, contaminación y pérdida de recursos naturales.

Entre las amenazas categorizadas por las Naciones Unidas, “Calor extremo” representa el 32%, seguido de “Inundaciones” y “Tormentas” con el 27% y 15%, respectivamente. En cuanto a las categorías de la UICN utilizadas para evaluar la utilidad de las SbN, destacan “Reducción del riesgo de desastres” (36%) y “Adaptación y mitigación del cambio climático” (28%). Entre las SbN más integradas en estas categorías se encuentran los “Techos verdes” (19%), los “Bosques urbanos” (13%) y la “Infraestructura verde” (10%).

Los flujos entre las SbN y las categorías de la UICN ponen de manifiesto cómo estas soluciones contribuyen simultáneamente a objetivos amplios, tales como la adaptación al cambio climático, la seguridad hídrica y la salud humana. La intersección de múltiples líneas sugiere que ciertas SbN, como los techos verdes, los bosques urbanos y los humedales, son particularmente relevantes para abordar diversas amenazas globales, demostrando su potencial integral y multidimensional en la mitigación de problemáticas ambientales complejas.

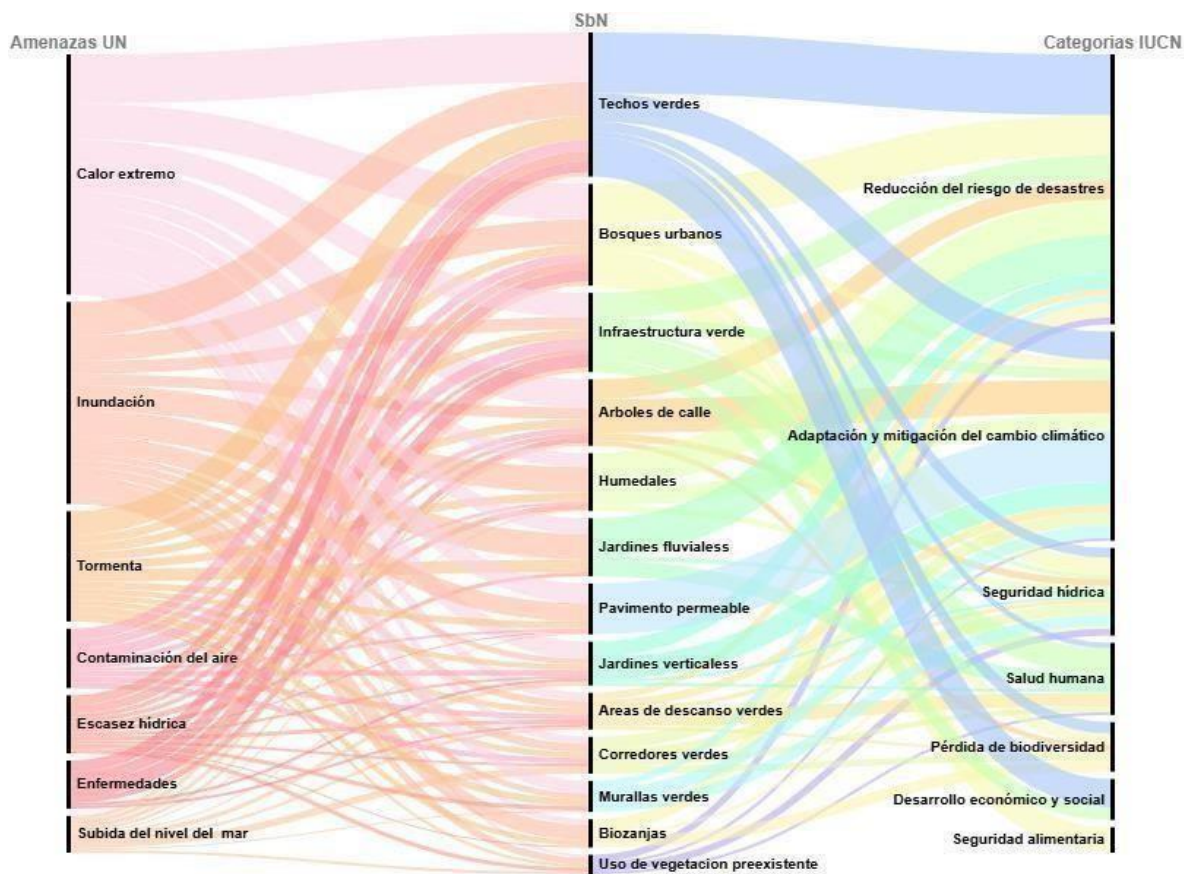


Figura 3.7. Diagrama aluvial de flujo de la reclasificación de amenazas climáticas registradas a la categoría de amenazas de las Naciones Unidas, las Soluciones basadas en la Naturaleza identificadas y las categorías IUCN propuestas para las soluciones.

3.6. Conceptos relacionados.

En la revisión de la literatura se identificó el uso análogo de ciertos conceptos, como impacto, peligro y vulnerabilidad, a pesar de no ser sinónimos. Si bien estos términos no estuvieron presentes en la totalidad de los artículos analizados, su recurrencia fue lo suficientemente significativa como para ser considerada.

Asimismo, en la categorización de amenazas extraídas de los estudios revisados, se observó que términos como "cambio climático", "terremoto" y "enfermedad" fueron mencionados como amenazas climáticas, a pesar de que, según las clasificaciones establecidas, estos corresponden a categorías diferentes.

IV. DISCUSIÓN

4.1 Aporte de las SbN a la planificación territorial

Las SbN representan un concepto que integra diversos enfoques centrados en los servicios ecosistémicos, y adaptados a distintos desafíos sociales (UICN 2020). Estas soluciones se destacan por su capacidad para generar múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos, aunque también presentan ciertas limitaciones (Castellar, 2021).

Las SbN abarcan una amplia variedad de enfoques, lo que las convierte en una herramienta versátil para enfrentar múltiples desafíos sociales mediante intervenciones específicas en la planificación territorial. Sin embargo, su flexibilidad conceptual puede dar lugar a interpretaciones diversas entre las partes interesadas. (Ruangpan et al., 2020) subrayando la importancia de una comunicación y colaboración efectivas para garantizar el éxito de estas iniciativas, Lo anterior se evidencia en las interacciones identificadas a lo largo del estudio, las cuales destacan la relevancia y la sólida interdependencia de la colaboración entre distintos sectores. Este hallazgo subraya el papel fundamental de dicha cooperación para maximizar el impacto y garantizar la sostenibilidad de las SbN, pero, aun así, las SbN complementan frecuentemente la infraestructura tradicional, en algunos contextos se recurre a enfoques híbridos o soluciones de ingeniería convencional (Corgo et al., 2024). Este equilibrio entre enfoques pone

de manifiesto la necesidad de priorizar estrategias específicas basadas en las características del contexto y las necesidades locales.

Los estudios realizados sobre las SbN enfatizan la importancia de involucrar a las comunidades locales, formuladores de políticas y profesionales en la identificación de prioridades y la evaluación de impactos sociales y ambientales (Su et al., 2023). Esto se demuestra en los proyectos implementados los cuales consideran diversos actores de distintas áreas.

Es crucial considerar las compensaciones y consecuencias no deseadas, como deservicios ecosistémicos o problemas sociales asociados, entre ellos la gentrificación verde. Además, se subraya la necesidad de desarrollar principios orientadores que faciliten la implementación y operacionalización de las SbN, junto con un monitoreo continuo que permita evaluar su efectividad (Sharifi et al., 2021) . La UICN, mediante su Estándar Global, establece un marco de referencia respaldado por indicadores específicos para asegurar que los proyectos de SbN se alineen con principios definidos y promuevan la sostenibilidad (UICN, 2020).

La planificación de las SbN requiere un enfoque integral que priorice la equidad, la integración y la toma de decisiones basada en evidencia. Varios estudios de la literatura revisada proponen un ciclo de planificación adaptativa que considera tanto las dimensiones humanas como ambientales de los desafíos sociales, fomentando la colaboración interdisciplinaria entre planificadores, ecólogos y científicos sociales (Albert et al. 2021). Este enfoque permite desarrollar SbN

equilibradas y adaptadas a contextos específicos, sumando efectividad a la capacidad de integrar distintos actores sociales y la capacidad de respuesta a amenazas climáticas por parte de las SbN y su preponderancia de los servicios de regulación en el contexto estudiado, así como la importancia de considerar su variabilidad en la planificación y manejo ecosistémico.

Reconocer el valor transformador de las SbN es esencial para enfrentar desafíos climáticos complejos y persistentes. Aunque los marcos existentes ofrecen una orientación valiosa, su efectividad depende de la selección adecuada del marco más relevante para cada contexto (Kisser et al., 2020). Esto le da la capacidad a las SbN de no limitarse a una sola región global o clima, evidenciado por la extensión de SbN implementados a nivel global.

La categorización de los principios de las SbN permite a los profesionales tomar decisiones informadas y diseñar soluciones específicas que respondan a las necesidades ecológicas, sociales y de gobernanza de cada proyecto. A pesar de los avances en la integración de las SbN en las políticas globales, persisten desafíos relacionados con la coherencia política, la estandarización de métodos de evaluación y la integración sectorial (Wickenberg et al., 2021). Implementar estrategias más sólidas a nivel local y municipal, junto con enfoques participativos que incluyan a las comunidades, puede potenciar la efectividad de las SbN en la adaptación climática, fortaleciendo la resiliencia comunitaria y promoviendo buenas prácticas para superar obstáculos.

4.2 SbN y su relación con los SE y amenazas climáticas desde una perspectiva global

La revisión sistemática identificó aspectos clave relacionados con los desafíos en la implementación de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), el desarrollo de estas intervenciones y la escala de los resultados obtenidos. La investigación destacó el alto potencial de las SbN para abordar desafíos socioambientales, incluyendo amenazas climáticas como inundaciones, islas de calor y sequías, mientras que simultáneamente ofrecen una amplia gama de servicios ecosistémicos, principalmente en las categorías de regulación y cultura (Keesstra et al., 2018).

Uno de los desafíos más evidentes identificados en la literatura es la falta de coherencia en la definición y delimitación de los parámetros asociados a las SbN. En particular, se observó ambigüedad en la conceptualización de las amenazas climáticas, ya que términos como impacto, peligro y vulnerabilidad se emplean de manera intercambiable, lo que dificulta la estandarización de los enfoques (Escobedo et al., 2019). Además, la integración de conceptos como "cambio climático" dentro de la categoría de amenazas añade complejidad al proceso, dificultando una implementación efectiva de las SbN. Esta falta de claridad y categorización en la literatura científica incrementa las barreras para su adopción al generar confusión y limitar la comprensión compartida entre los diferentes actores involucrados (Albert et al., 2019; Sarabi et al., 2020; Grace et al., 2021).

Este análisis resalta la necesidad de avanzar hacia definiciones más precisas y consensuadas en el ámbito académico y práctico, con el fin de facilitar la operacionalización de las SbN y maximizar su efectividad en la mitigación de amenazas climáticas y la provisión de beneficios ecosistémicos.

Por otro lado, el análisis de las relaciones entre los SE, las SbN y las amenazas climáticas revela un entramado complejo de interdependencias. Las SbN actúan como puentes que canalizan los beneficios de los SE hacia la mitigación o prevención de amenazas específicas. Por ejemplo, la regulación de la temperatura y la humedad, asociada a soluciones como los techos verdes y los bosques urbanos, se vincula directamente con la mitigación de las islas de calor. Asimismo, los humedales y jardines fluviales, que contribuyen a la mitigación de inundaciones y escorrentías urbanas, son fundamentales para abordar las amenazas relacionadas con el agua. Este enfoque multidimensional evidencia cómo una misma SbN puede contribuir a la mitigación de diversas amenazas climáticas, resaltando su efectividad en la adaptación al cambio climático.

Se identificó que las categorías de mitigación de la UICN, como la reducción del riesgo de desastres (36%) y la adaptación y mitigación del cambio climático (28%), son las que más se benefician de la implementación de SbN. Especialmente, aquellas SbN como los techos verdes, los bosques urbanos y la infraestructura verde abordan múltiples objetivos simultáneamente. Esto evidencia que las SbN son soluciones versátiles y efectivas para enfrentar

diversas amenazas climáticas y promover la adaptación al cambio climático. Las interacciones entre las SbN, los SE y las amenazas climáticas hacen ver la necesidad de un enfoque integrado que permite mitigar los impactos del cambio climático, mejorar la resiliencia de las comunidades y promover la sostenibilidad (Bush et al. 2019)

V. CONCLUSIÓN

Esta investigación provee una vista general de como las SbN se posicionaron como herramientas esenciales para mitigar riesgos climáticos y mejorar la planificación territorial.

Las SbN más utilizadas incluyeron techos verdes, bosques urbanos e infraestructura verde, las cuales abordaron efectivamente desafíos como las islas de calor y las inundaciones urbanas. Estas soluciones demostraron un impacto significativo en la promoción de la resiliencia climática y el bienestar comunitario.

Las SbN ofrecen múltiples beneficios, su implementación enfrenta desafíos como la falta de marcos regulatorios adecuados y la resistencia al cambio, lo que resalta la necesidad de estrategias integradas y colaborativas entre gobiernos, comunidades y el sector privado. La revisión sistemática evidenció la relevancia de las SbN en contextos urbanos y rurales, demostrando su efectividad para abordar problemáticas específicas mediante un enfoque multidimensional. Además, se identificó la importancia de una base sólida para el desarrollo de políticas y prácticas en la planificación territorial, lo que permitiría contribuir a la sostenibilidad y resiliencia de las ciudades. Además, las recomendaciones derivadas del estudio fomentan futuras investigaciones y respaldan la implementación de SbN como estrategias viables para mitigar los efectos del cambio climático

Las investigaciones futuras deberían centrarse en aspectos críticos relacionados con las SbN, particularmente aquellos que influyen en la viabilidad de implementaciones adicionales. Entre estos aspectos destacan la gentrificación verde y los trade-offs asociados a las SbN. Asimismo, sería relevante avanzar en la categorización sistemática de estos trade-offs, lo que permitiría una comprensión más integral de los desafíos y oportunidades que estas soluciones presentan.

VII. GLOSARIO

Adaptación al cambio climático: Estrategias y medidas que buscan minimizar los impactos negativos del cambio climático y aprovechar posibles oportunidades.

Amenazas climáticas: Eventos y condiciones derivadas del cambio climático, como inundaciones, sequías, olas de calor y aumento del nivel del mar, que afectan negativamente a los ecosistemas y las comunidades humanas.

Biozanjas: infraestructura lineal subterránea de captación, biorremediación y filtración del agua de lluvia. El bioswale tiene como objetivo captar y gestionar in situ las aguas de escorrentía.

Bosques urbanos: Áreas arboladas dentro de ciudades que proporcionan beneficios ecológicos, sociales y económicos.

Cambio climático: Variaciones a largo plazo en las condiciones climáticas de la Tierra, causadas por factores naturales y actividades humanas, como la emisión de gases de efecto invernadero.

CICES: Clasificación internacional común de los servicios de los ecosistemas' y tiene como objetivo apoyar la implementación de cuentas públicas de los ecosistemas y la investigación sobre los servicios de los ecosistemas haciendo que los resultados sean comparables entre estudios y países.

Corredores ecológicos: Áreas naturales que conectan hábitats fragmentados, permitiendo el movimiento de especies y la conservación de la biodiversidad.

Escorrentía urbana: Flujo de agua superficial en entornos urbanos debido a la impermeabilización del suelo.

Gentrificación verde: Fenómeno en el cual la implementación de proyectos ecológicos o de infraestructura verde eleva el valor de las propiedades, desplazando a comunidades de bajos ingresos.

Infraestructura verde: Redes de espacios naturales o seminaturales diseñadas para proporcionar beneficios ambientales y mejorar la calidad de vida en entornos urbanos y rurales.

Islas de calor: fenómeno que se produce en aquellas zonas urbanas que experimentan temperaturas más altas que las zonas circundantes debido a la actividad humana. La causa principal son la acumulación de estructuras, como edificios, aceras o asfaltos, que absorben más calor y lo liberan más lentamente, al revés que parajes naturales como bosques, ríos o lagos. A esto se suma el calor y la contaminación generada por el tráfico y la industria. Todo ello agrava las consecuencias del cambio climático en las ciudades y disminuye la calidad de vida de sus habitantes.

Marco PRISMA: Metodología utilizada en revisiones sistemáticas de literatura para garantizar un proceso riguroso en la selección y análisis de información científica.

Mitigación del cambio climático: Acciones destinadas a reducir o prevenir la emisión de gases de efecto invernadero para limitar el calentamiento global.

Murallas Verdes: sistema vegetativo que permite el desarrollo de plantas sobre estructuras arquitectónicas verticales como muros o paredes en las ciudades, estos integrados con un sistema de riego por goteo/gravedad o microaspersión.

Pavimento permeable: permite la absorción e infiltración del agua de lluvia y de la nieve derretida en el lugar. Existen varios nombres diferentes para los tipos de pavimento permeable, entre ellos, hormigón permeable o poroso, asfalto poroso y adoquines permeables entrelazados.

Planificación espacial: Proceso que organiza y gestiona el uso del suelo y los recursos naturales para un desarrollo sostenible.

Resiliencia climática: Capacidad de los ecosistemas y sociedades para resistir, recuperarse y adaptarse a los impactos del cambio climático.

Servicios ecosistémicos (SE): Beneficios que los ecosistemas brindan a la sociedad, como la regulación del clima, la provisión de agua y la purificación del aire.

Soluciones basadas en la naturaleza: Acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales y modificados que

aborden los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, beneficiando simultáneamente a las personas y la naturaleza. (IUCN 2023)

Techos verdes: Superficies vegetadas instaladas en las azoteas de edificios para mejorar el aislamiento térmico, reducir la escorrentía de agua y mitigar el efecto isla de calor urbano.

UICN: (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza): Organización global que establece estándares y directrices para la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales.

VII. BIBLIOGRAFIA

Albert, C., M. Brillinger, P. Guerrero, S. Gottwald, J. Henze, S. Schmidt, E. Ott, & B. Schroter. (2021). *Planning nature-based solutions: Principles, steps, and insights*. *Ambio* 50: 1446–1461

Albert, C., B. Schroter, D. Haase, M. Brillinger, J. Henze, S. Herrmann, S. Gottwald, P. & Guerrero, et al. (2019). *Addressing societal challenges through nature-based solutions: How can landscape planning and governance research contribute? Land scape and Urban Planning* 182: 12–21

Berrouet, T.M., Machado, J., & Villegas-Palacio, C. (2018) *Vulnerability of socio— ecological systems: A conceptual Framework*. Elsevier.

Bush J, Doyon A. (2019) *Building urban resilience with nature-based solutions: How can urban planning contribute? Cities*

Castelo S, Amado M, & Ferreira F. (2023). *Challenges and Opportunities in the Use of Nature-Based Solutions for Urban Adaptation*. Sustainability (Switzerland).

Castellar, J. A. C., Popartan, L. A., Pueyo-Ros, J., Atanasova, N., Langergraber, G., Säumel, I., ... & Acuña, V. (2021). *Nature-based solutions in the urban context: Terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services*. *Science of The Total Environment*, 779, 146237.

Escobedo, F.J., V. Giannico, C.Y. Jim, G. Sanesi, & R. Laforteza. (2019). *Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? Urban Forestry & Urban Greening* 37: 3–12.

Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., de Boissezon, B., & Vandewoestijne, S. (2017). *Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges*. *Environmental Research*, 159, 509–518

Fang, X., Li, J., Ma, Q., Zhou, R., & Du, S. (2024). *A quantitative review of nature-based solutions for urban sustainability (2016-2022): From science to implementation*. *Science of The Total Environment*, 927, 172219.

Grace, M., M. Balzan, M. Collier, D. Geneletti, J. Tomaskinova, R. Abela, D. Borg, & G. Buhagiar. (2021). *Priority knowledge needs for implementing nature- based solutions in the Mediter ranean islands*. *Environmental Science and Policy* 116: 56–68

IUCN. (2023). *IUCN position paper for UNFCCC COP28*. Twenty-eighth session of the Conference of the Parties (COP28) (p. 4). Dubai: IUCN.

Corgo J, Cruz S, & Conceição P. (2024). *Nature-based solutions in spatial planning and policies for climate change adaptation: A literature review*. Ambio. Oporto, Portugal.

Keesstra S, Nunes J, Novara A, Finger D, Avelar D, Kalantari Z, & Cerda A. (2018). *The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services*. Elsevier.

Kirk, B. E., Zingraff, A., & Rahman, M. (2023). *Review article: Potential of nature-based solutions to mitigate hydro-meteorological risks in sub-Saharan Africa*. NATURAL HAZARDS AND EARTH SYSTEM SCIENCES, 482.

Kisser J, Wirth M, & De Gusseme B. (2020) *A review of nature-based solutions for resource recovery in cities*. BLUE-GREEN SYSTEMS.

Liu, J., Tan, S., & Chang, H. (2023). *Nature-based solutions for coastal resilience: A review of concepts, approaches, and challenges*. Ocean & Coastal Management, 236, 106611

Malgwi, M. B., Fuchs, S., & Keiler, M. (2020) *A generic physical vulnerability model for floods: review and concept for data scarce regions*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 20, 2067–2090,

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press.

Moher D., Liberati A., Tetzlaff J., Altman D. G., Antes G., Atkins D., Barbour V., Barrowman N., Berlin J. A., Clark J., Clarke M., Cook D., D'Amico R., Deeks J. J., Devereaux P. J., Dickersin K., Egger M., Ernst E., Gøtzsche P. C., Grimshaw J., Guyatt G., Higgins J., Ioannidis J. P. A., Kleijnen J., Lang T., Magrini N., McNamee D., Moja L., Mulrow C., Napoli M., Oxman A., Pham B., Rennie D., Sampson M., Schulz K. F., Shekelle P. G., Tovey D. & Tugwell P. 2009 *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement*. PLoS Medicine 6 (7), 1000097.

Muñoz, A., Fuentes, C., Schneider I. (2023) *Lineamientos para la incorporación de soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático en Chile*. Ministerio del Medio Ambiente.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*

Ruangpan, L., Z. Vojinovic, S. Di Sabatino, L.S. Leo, V. Capobianco, A.M.P. Oen, M.E. McClain, & E. Lopez-Gunn. (2020). *Nature based solutions for hydro-meteorological risk reduction: A state-of-the-art review of the research area*. Natural Hazards and Earth System Sciences 20: 243–270.

- Sarabi, S., Q. Han, A.G.L. Romme, B. de Vries, R. Valkenburg, & E. den Ouden. (2020). *Uptake and implementation of nature-based solutions: An analysis of barriers using interpretive structural modeling*. Journal of Environmental Management 270: 110749.
- Sharifi A, Pathak M, Joshi C et al. (2023) *A systematic review of the health co-benefits of urban climate change adaptation*. Sustainable Cities and Society.
- Seddon, N., Smith, A., Smith, P., Key, I., Chausson, A., Girardin, C., House, J., Srivastava, S. and Turner, B. (2021), *Getting the message right on nature-based solutions to climate change*. Glob. Change Biol., 27: 1518 1546
- Su J, Wang M, Razi M, et al. (2023), *A Bibliometric Review of Nature-Based Solutions on Urban Stormwater Management*. SUSTAINABILITY.
- UICN France. (2016). Nature-based solutions to address climate change. Paris, France.
- UICN. (2020). IUCN Global Standard for Nature-based Solutions. Gland, Switzerland
- UN. (2020). Amenazas de cambio climático, métricas de mitigación y adaptación en ciudades de América Latina y el Caribe. Cepal.
- Wang, Z., Fan, C., & Li, X. (2023). *Nature-based solutions for urban resilience to climate change: A systematic review*. Journal of Cleaner Production, 382, 135357.
- Warman, G.J. (2014). Beneficios socioeconómicos y de conservación derivados de la recuperación del capital natural. En: Ávila-Foucat (Coord) (2014). Pobreza y sustentabilidad. Capitales en comunidades rurales. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 301 p.
- Wickenberg B, McCormick K, & Olsson J. (2021). *Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: A review of frameworks*. Environmental Science and Policy.
- Xuening, F., Jingwei, L., Qun, M., Rui, Z., & Shiqiang, D. (2024). *A quantitative review of nature-based solutions for urban sustainability (2016–2022): From science to implementation*. Elsevier, 1-2.
- Yuxin Hua., Dan Yan., Xiaojie Liu. (2024). *Assessing synergies and trade-offs between ecosystem services in highly urbanized area under different scenarios of future land use change*. Elsevier, 7-8.

VIII. ANEXO

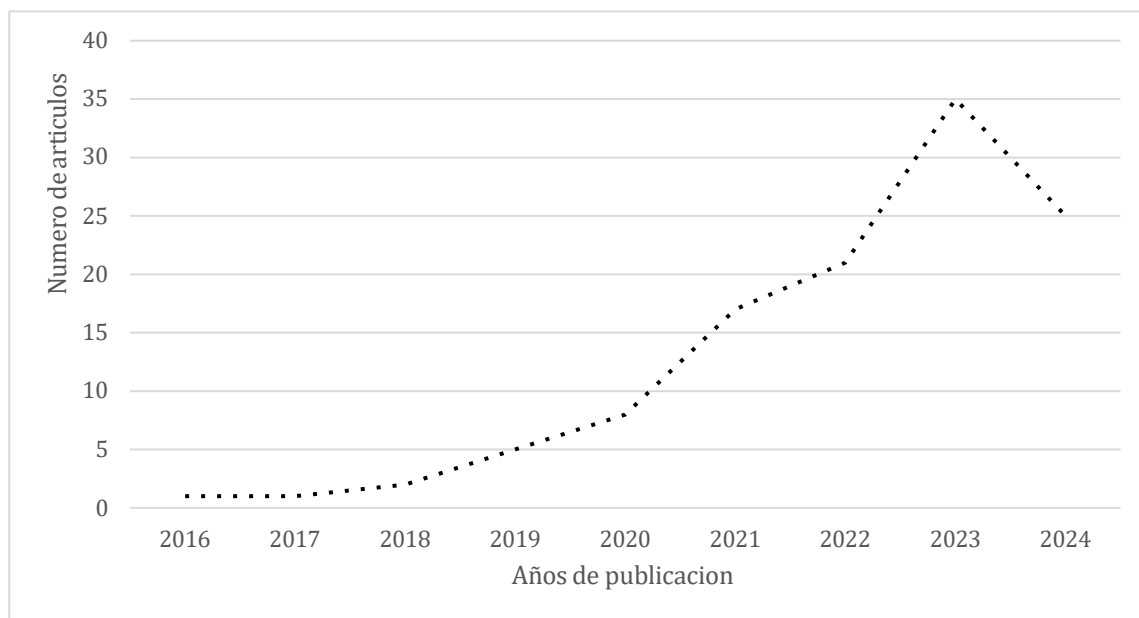


Figura 8.1. Numero de artículos identificados en la revisión sistemática publicados por año.

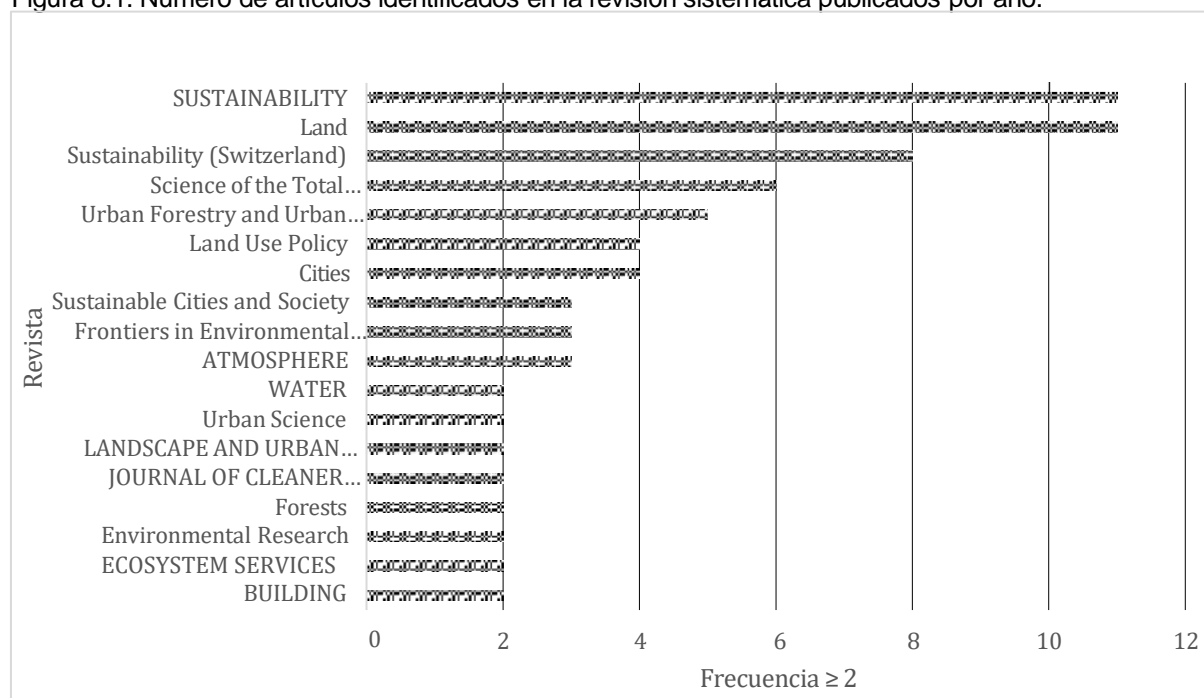


Figura 8.2. Numero de publicaciones de revistas identificadas en la revisión sistemática con frecuencia igual o mayor a 2