

Estrategias metodológicas de análisis urbano frente al cambio climático

Matriz para el diseño adaptativo en asentamientos informales

Adriana Patricia López-Valencia

Oswaldo López-Bernal

Universidad del Valle, Cali (Colombia)

Grupo de Investigación Hábitat y Desarrollo Sostenible

Adriana Patricia López-Valencia

Arquitecta, Universidad del Valle, Cali (Colombia).

Especialista en Gestión Ambiental, Universidad Autónoma de Occidente.

Magíster en Urbanismo, Universidad Nacional de Colombia.

PhD en Ciencias Ambientales, Universidad del Valle; magíster en Urbanismo

Docente e investigadora, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente – Área de Gestión Ambiental, Universidad del Valle, Cali (Colombia).

<http://orcid.org/0000-0003-1857-7580>

adriana.lopez@correounivalle.edu.co

Oswaldo López-Bernal

Arquitecto, Universidad Católica de Colombia, Bogotá (Colombia).

Magíster en Gestión Ambiental Urbana, Universidad Javeriana.

Doctor en Urbanismo, Universidad Nacional Autónoma de México.

Docente e investigador, Escuela de Arquitectura, Universidad del Valle, Cali (Colombia)

<http://orcid.org/0000-0003-3781-2582>

oswaldo.lopez@correounivalle.edu.co

López-Valencia, A., & López Bernal, O. (2018). Estrategias metodológicas de análisis urbano frente al cambio climático. Matriz para el diseño adaptativo en asentamientos informales. *Revista de Arquitectura*, 20(2), 78-89. doi: <http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.2.859>

<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.2.859>



Resumen

Se presentan los resultados de investigación de estrategias urbanas para el mejoramiento de las condiciones de adaptabilidad de los asentamientos informales al cambio climático. Se pretende realizar un aporte al conocimiento de elementos de análisis y metodologías asociadas a los sistemas de información geográfica que apoyen el desarrollo de ejercicios enfocados en la generación de estrategias de gestión del riesgo, a fin de mejorar la calidad del entorno construido y natural y, de esta manera, la calidad de vida y sostenibilidad de la población que los habita. Se propone la construcción de una matriz de adaptabilidad en la cual se incluyan los aspectos más relevantes para el análisis desde la susceptibilidad y la exposición frente a amenazas naturales; finalmente, se conceptualizan y ponderan los factores de acuerdo con niveles de incidencia mutua, a fin de obtener una evaluación que permita modificar elementos constitutivos del medio construido para enfrentar los efectos del cambio climático.

Palabras clave: diseño urbano, desarrollo sostenible, SIG, adaptación climática, modelo de simulación.

Methodological strategies for urban analysis in the face of climate change. An adaptive design matrix for informal settlements

Abstract

This article presents the research results of some urban strategies to improve the conditions of climate change adaptability in informal settlements. It aims to contribute to a better understanding of analysis factors and methodologies associated with geographic information systems (GIS) that support the development of exercises focused on generating risk management strategies, which seek to improve the quality of built and natural environments and, thus, the quality of life and sustainability of the population that inhabits them. The paper proposes to develop an adaptability matrix that includes the most relevant aspects for the analysis based on susceptibility and exposure to natural hazards. Finally, these factors are conceptualized and weighted according to mutual incidence levels, in order to obtain an evaluation that allows modifying the constituent elements of built environment to face the effects of climate change.

Keywords: Urban design, sustainable development, GIS, climatic adaptation, simulation model.

Estratégias metodológicas de análise urbana ante mudanças climáticas. Matriz para o desenho adaptativo em assentamentos informais

Resumo

Apresentam-se os resultados de pesquisa de estratégias urbanas para a melhora das condições de adaptabilidade dos assentamentos informais às mudanças climáticas. Pretende-se realizar uma contribuição no que diz respeito ao conhecimento de elementos de análise e metodologias associadas aos sistemas de informação geográfica que apoiem o desenvolvimento de exercícios enfocados na geração de estratégias de gestão do risco, com a finalidade de melhorar a qualidade do entorno construído e natural e, dessa forma, a qualidade de vida e sustentabilidade da população que vive neles. Propõe-se a construção de uma matriz de adaptabilidade, na qual se incluíam os aspectos mais relevantes para a análise a partir da susceptibilidade e da exposição ante ameaças naturais; finalmente, é feita a conceitualização e ponderamento dos fatores de acordo com níveis de incidência mútua, obtendo uma avaliação que permita modificar elementos constitutivos do meio construído para enfrentar os efeitos das mudanças climáticas.

Palavras-chave: desenho urbano, desenvolvimento sustentável, SIG, adaptação climática, modelo de simulação.

Introducción

Este artículo surge en el marco del proyecto “Mejoramiento del confort ambiental urbano en asentamientos informales”, el cual fue financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad del Valle, mediante convocatoria interna para la conformación del banco de proyectos de investigación 2012, convocatoria áreas de ciencias sociales y humanas, realizado por el grupo de investigación Hábitat y Desarrollo Sostenible.

De acuerdo con los diferentes estudios científicos, apoyados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se calcula que las temperaturas se están elevando a escala global y, desde que se tiene registro (1867), los 15 años más calurosos han transcurrido desde 1980. La principal preocupación de los científicos se centra en los resultados colaterales de los desastres socionaturales, principalmente epidemias y hambrunas en todas las regiones del mundo, concentradas sobre todo en las zonas menos desarrolladas y más pobres, que serían las que llevarían la peor parte; sin embargo, tan solo en años recientes se ha comenzado a prestar atención a los procesos de adaptación y prevención.

A la fecha no hay unanimidad científica con respecto al calentamiento global y sus repercusiones en el clima, lo que suceda en el futuro es muy incierto. Se puede estimar que hay relación directa entre calentamiento global y cambio climático; a pesar de que las pruebas son evidentes, la sensación de incertidumbre es una situación que agrava la percepción del riesgo (López y López, 2015). El problema central del calentamiento global está relacionado directamente con factores económicos, las posibles soluciones traen consigo grandes costos y sacrificios en ese plano pero, adicionalmente, no hay evidencias científicas que permitan concluir la hipótesis planteada de que necesariamente va a ocurrir una catástrofe mundial.

El cambio climático es un fenómeno potencializador de los desastres, los cuales son riesgos socionaturales no manejados, dichos riesgos son

Recibido: septiembre 5 / 2017

Evaluado: abril 3 / 2018

Aceptado: agosto 13 / 2018

fenómenos socialmente construidos y producto de procesos erróneos de desarrollo (Blakely, 2007). A partir de estas premisas, aceptadas por la comunidad científica, se constituye el punto de partida para la adaptación contra desastres socionaturales desde un enfoque sostenible. Dado que el proceso de construcción de riesgo socionatural está relacionado con el de desarrollo urbano, particularmente con el uso de los recursos naturales y la ocupación del territorio, estos dos espacios se constituyen en elementos esenciales para la planificación y el diseño urbano de la ciudad con miras a la adaptación al cambio climático, donde se pueden revertir procesos de riesgos socionaturales desde un enfoque holístico y sostenible de intervención humana sobre el espacio urbano. Uno de los objetivos principales de esta investigación es la adaptación al cambio climático en los asentamientos informales, entendidos como áreas urbanas de crecimiento espontáneo en las que los procesos de planificación se han desarrollado de manera limitada y cuyo territorio físico normalmente está localizado en zonas de alto riesgo de ocurrencia de desastres dada su cercanía a ríos o zonas de ladera, con grandes problemas de inestabilidad derivados de la ocupación informal del territorio.

En primera instancia se presenta la metodología con la que se ha aproximado a la temática, recogiendo marcos conceptuales sobre exposición, vulnerabilidad y riesgo, a fin de plantear un punto de partida para la construcción de la matriz de adaptabilidad y los factores de análisis relevantes para la comprensión de los fenómenos urbanos y los impactos asociados al cambio climático. Posteriormente, el texto se enfoca en la generación de lineamientos y determinantes macro para abordar el concepto de adaptación desde el entorno construido, identificando las metas del desarrollo urbano para la inclusión de los cambios determinados por el clima, a fin de incorporarlos como variables de análisis dentro de la matriz de adaptabilidad propuesta. Finalmente, se propone la matriz a partir del establecimiento de fases para su construcción y análisis simultáneo, determinando los factores que inciden en el entorno urbano a partir de la exposición variable ante fenómenos climáticos extremos; la matriz contempla la ponderación de los indicadores identificados según su nivel de incidencia mutua, la cual permite evidenciar los elementos urbanos más susceptibles de verse afectados por dichos cambios para, posteriormente, plantear estrategias de intervención para la adaptación.

El montaje del Sistema de Información Geográfico (SIG), a partir del uso de los indicadores propuestos en la matriz de adaptabilidad, nos permite tener una información alfanumérica espacializada del territorio, lo que resulta en una visión más real del estado del sistema en términos de susceptibilidad. Para tal fin se ha diseñado un modelo cartográfico el cual plantea la forma de ir cruzando y analizando información por niveles de jerarquía. Este modelo cartográfico es utilizado para esquematizar el uso de las funciones de un SIG, bajo una secuencia lógica, en

la solución de problemas espaciales complejos. Estos modelos se basan en el cruce de información multivariada de cada uno de los subsistemas analizados; esto quiere decir que cada subsistema tendrá como primer resultado un mapa de cruce de todos los indicadores analizados, que finalmente resultan en los mapas síntesis denominados Entorno natural y Entorno construido. La metodología permite ir cruzando información según las relaciones establecidas en la matriz para determinar el nivel de adaptabilidad del asentamiento urbano

Aproximación conceptual a la matriz de adaptabilidad

Para el desarrollo de una matriz de adaptabilidad es necesario, primero, comprender los factores de análisis y los conceptos asociados con dicha situación. En primera instancia, la investigación desarrolla un marco conceptual asociado a la temática del riesgo y sus componentes, entendiendo que este se encuentra definido en la Ley colombiana 1523 del 2012 por la presencia de una amenaza y un tipo de vulnerabilidad y que, a su vez, esta vulnerabilidad solo estará presente si se está expuesto ante algún tipo de amenaza (Carter, 1999). A fin de identificar estos conceptos y organizar las fases para la construcción de la matriz que permita medir a partir de indicadores el nivel de adaptabilidad ante amenazas naturales, fue necesario comprender la estructura conceptual que da origen al riesgo, para ello se tomó como referencia la construcción del Índice Mundial de Riesgo (IMR) (Birkmann *et al.*, 2011) y sus componentes; como punto de partida para la comprensión del marco sobre el cual fundamentar el análisis en la matriz, el enfoque de esta investigación aporta en desescalar los elementos de análisis hasta un contexto local, dado que el IMR se define para una escala nacional utilizando datos para cada país como unidad mínima de análisis en el montaje de la base de datos georreferenciada. El aporte de la matriz aquí presentada está dado por la posibilidad de comprender los fenómenos de riesgo desde la escala local a partir de indicadores detallados que definen lineamientos para la intervención desde el diseño urbano, estableciendo una relación directa entre la matriz y los elementos diseñables para hacerlos adaptativos.

Índice Mundial de Riesgo

Debido al aumento considerable de los desastres naturales en las últimas décadas, que tienen relación principalmente con el cambio climático, diferentes entidades a nivel mundial están desarrollando nuevas metodologías para determinar el nivel de riesgo que puede presentar un país frente a la ocurrencia de desastres naturales, un ejemplo de esto es el Índice Mundial de Riesgo (World Risk Index), el cual se toma como punto de referencia por ser Colombia parte de este estudio y por la importancia del mismo a nivel académico e institucional. El estudio desarrollado por Bündnis Hilft Entwicklung (Alianza Desarrollo y Obras) publica el reporte de riesgo



Figura 1. Concepto del World Risk Index

Fuente: World Risk Index, 2011 – UNU-EHS.

mundial *World Risk Report 2011* (Birkmann et al., 2011) como una herramienta para evaluar el riesgo de desastres al que una sociedad o país está expuesto por factores externos e internos, cuyo objetivo es sensibilizar a la opinión pública y a los políticos responsables del tema de riesgos de desastres.

El World Risk Index se basa en entender que el núcleo de riesgos de desastres de una sociedad está influenciado por la estructura, los procesos y el marco de condiciones o contexto, que a su vez pueden ser afectados por fenómenos naturales y los efectos del cambio climático, como se observa en la Figura 1. Una ventaja del índice es su estructura modular basada en cuatro componentes:

- La exposición a los riesgos naturales (*Exposure*).
- La susceptibilidad (*Susceptibility*).
- Las capacidades de resistencia (*Coping*).
- Las capacidades de adaptación (*Adaptation*).

Componentes del Índice Mundial de Riesgo

Exposición ante desastres naturales (*Exposure*). La exposición en su significado central se refiere a factores externos y a la probabilidad de ser propensos a ser afectadas por una situación de peligro. Estos factores incluyen a las personas, los recursos, la infraestructura, la producción, los bienes, los servicios ecosistémicos y los sistemas socioecológicos. La exposición se puede diferenciar desde un componente temporal y otro espacial, por lo cual, dentro el World Risk Index, la exposición está relacionada con el número potencial promedio de los individuos que están expuestos cada año a terremotos, tormentas, sequías e inundaciones (Peduzzi et al., 2009).

Dada su importancia, de acuerdo con una alta probabilidad de ocurrencia según datos estadísticos, los siguientes cinco desastres naturales fueron seleccionados como los más relevantes:

- Terremotos.
- Tormentas.
- Inundaciones.
- Sequías.
- Subida del nivel del mar.

Susceptibilidad (*Susceptibility*). El concepto se refiere a las características de una sociedad y las condiciones en las que los actores sociales y las infraestructuras existentes se enfrentan a posibles fenómenos climáticos. A este respecto, la nutrición, la situación económica, así como el estado de las infraestructuras son especialmente importantes. Estas características hacen posible

formular hipótesis provisionales sobre la susceptibilidad relativa que tienen unas sociedades en comparación con otras (Birkmann, 2006).

Generalmente, la susceptibilidad se entiende como la probabilidad de sufrimiento de un daño, o el sufrimiento de la sociedad y la infraestructura en caso de la ocurrencia de un desastre. Conceptualmente, la susceptibilidad ha sido separada en subcategorías que reflejan la calidad de vida y las condiciones de hábitat de las personas dentro de un país, entre las cuales se resaltan las siguientes:

- La infraestructura pública.
- Las condiciones de vivienda.
- La nutrición.
- La pobreza y la dependencia.
- La capacidad económica y la distribución del ingreso.

Capacidad de reacción para contrarrestar consecuencias de los desastres (*Coping*). Las capacidades de reacción para hacer frente o contrarrestar las consecuencias de los desastres incluyen las fortalezas que poseen las sociedades y los elementos expuestos (tales como los sistemas y las instituciones), para minimizar el impacto negativo de las amenazas naturales y el cambio climático, a través de la acción directa sobre los recursos. De acuerdo con el concepto del World Risk Index - 2011, la reacción incluye las habilidades y capacidades para minimizar los daños en la ocurrencia de un evento peligroso. Las siguientes cinco subcategorías representan el componente de capacidad de reacción:

- El Gobierno y las autoridades.
- La preparación para los desastres y alertas tempranas.
- Los servicios médicos.
- Las redes sociales.
- La cobertura de material.

Sobre la base de las definiciones de susceptibilidad y capacidad de reacción, se puede observar que ambos componentes en el World Risk Report - 2011 están estrechamente vinculados entre sí, y que una separación clara en la práctica es, por tanto, a menudo imposible. No obstante, es importante enfatizar que las sociedades tienden a convivir con las amenazas naturales, y son capaces de manejarlas ellas mismas mediante la mejora de su capacidad instalada.

Capacidad de hacer los correctivos de largo plazo (*Adaptation*). La adaptación incluye las

capacidades, las medidas y las estrategias que permiten a las comunidades cambiar con el fin de minimizar el impacto y las consecuencias derivadas de las amenazas naturales y el cambio climático. Esto implica que una sociedad tiene que haber modificado su infraestructura, sus políticas y comportamientos culturales antes de la aparición de efectos negativos como consecuencia de desastres naturales, de tal manera que las medidas para enfrentar dichos fenómenos cambiarán de acuerdo con el nivel de preparación y serán distintas en la medida en la que se involucren nuevos aprendizajes, como un componente para la consolidación de la resiliencia urbana (Wisner, 2002). En contraste con la capacidad de reacción, las capacidades están fuertemente destinadas a la transformación de las estructuras actuales (educación, estado del medio ambiente, etc.). La adaptación se centra en las capacidades que pueden desencadenar los cambios necesarios. Las siguientes cinco subcategorías se identificaron dentro de este concepto. En un sentido más amplio pueden ser responsables, en el largo plazo, de que las sociedades sean más resistentes y adaptables a los efectos del cambio climático y desastres naturales:

- La educación y la investigación.
- La equidad de género.
- El estado del medio ambiente / protección del ecosistema.
- Las estrategias de adaptación.
- Las inversiones.

Factores de análisis para la construcción de la matriz de adaptabilidad

Al sintetizar el índice de adaptabilidad urbana en una matriz, se espera contribuir con una metodología para mejorar la adaptabilidad del entorno construido y el entorno natural en la ciudad, desde el diseño urbano de los elementos identificados en ella, a fin de garantizar la prevención de los desastres socionaturales, y de elevar las condiciones de calidad físico-espacial, natural y de confort ambiental. Para este fin se trabaja la matriz como una herramienta de análisis multivariable que fundamentalmente aborda los conceptos del Índice Mundial de Riesgo (IMR) y propone una nueva escala local de análisis para determinar las incidencias y los impactos de las amenazas naturales (exposición) frente a los elementos expuestos que pueden ser objeto del diseño urbano para garantizar una condición de adaptación frente a eventos extremos de lluvia y periodos de intensa sequía, funcionando de manera eficiente en ambos contextos climáticos.

La matriz propuesta le apunta a la construcción de un índice de adaptabilidad, el cual puede ser usado para la valoración físico-espacial y toma de decisiones en asentamientos urbanos, de esta forma se podrán definir estrategias de adaptación al cambio climático desde el diseño urbano y ser corroboradas mediante el uso de la matriz. Como se dijo, el concepto de índice subraya que no solo la magnitud de la frecuencia de un evento natural es importante, sino también determinar cómo la

realidad económica y social, y los factores ecológicos determinan si un peligro natural puede convertirse en un desastre (Birkmann *et al.*, 2011).

La matriz de adaptabilidad analiza simultáneamente tres fases durante la ocurrencia de un fenómeno climatológico extremo: i) la susceptibilidad, principalmente de las infraestructuras urbanas y el entorno natural, de sufrir daños frente a desastres naturales; ii) los factores de exposición que podrían presentarse en los asentamientos estudiados frente a desastres naturales principalmente lluvia y sequía. Por último se trabajan; iii) los factores de adaptabilidad que desde la adaptación urbana ayudarían a contrarrestar los efectos de las amenazas naturales en el futuro, dándole mucho énfasis al manejo de tres variables: calidad del entorno construido, calidad del entorno natural y confort ambiental urbano.

La adaptabilidad urbana que le apunta a la mejora de la calidad físico-espacial es aquella que proyecta vías, que resuelve problemas de asoleamiento y valora las corrientes de viento, además de zonas verdes adecuadas, edificios con fachadas bien orientadas y tipologías de vivienda adecuadas a las condiciones ambientales, para lograr elementos adaptables a condiciones climáticas de sequía extrema. Asimismo, es importante contar con criterios bioclimáticos que reduzcan el gasto energético, mejoren el confort y generen un mejor hábitat que potencialice la calidad de vida de los habitantes, a la vez que preserva las condiciones ecológicas del entorno.

Factores de susceptibilidad

Generalmente, la susceptibilidad se entiende como la probabilidad de sufrimiento de un daño, o el sufrimiento de la sociedad y la infraestructura en caso de la ocurrencia de un desastre. En este sentido, la relación del edificio junto con la traza urbana se convierten en punto de análisis de la calidad del entorno natural y del entorno construido urbano. Como lo plantea Higuera (1997), la diversidad de usos y la complejidad funcional permiten la interacción social para conformar la ciudad sostenible. De aquí son singulares los diversos tratamientos que se dan a los lugares debido a sus características, su situación geográfica, clima, riesgos y tipos de impactos frente al cambio climático, etc.

El diseño y el planeamiento urbano pensados desde la calidad del entorno natural y del entorno construido urbano operan de tal manera que el diseño pasa de ser una discusión estética o funcional primaria, a transformarse en un ideal que amplía fronteras con el fin de aumentar notablemente la calidad de vida. Estos ideales de calidad del entorno natural y construido se consiguen estudiando y aprovechando las condiciones del lugar donde: orientación, clima, humedad, microclima, vientos, aguas, campos electromagnéticos y materiales darán como resultado una solución de habitar particular de mayor confort, económica, agradable e integrada al entorno. Lo anterior se da, especialmente, con el carácter de un hábitat sano, que dialoga y se enlaza a varias escalas:

vivienda, barrio, ciudad, región, país, mundo, y enfrenta directamente los impactos generados por las variaciones constantes del clima, teniendo en cuenta sus incertidumbres y posibles riesgos.

Conceptualmente, este artículo parte de los diversos criterios planteados por Fernández (2000), el cual propuso una diversidad de factores de susceptibilidad para ser tenidos en cuenta, que reflejan la calidad físico-espacial y las condiciones ambientales del hábitat de las personas dentro de un asentamiento urbano, entre las cuales se resaltan las siguientes:

- Entorno construido, donde se analiza la calidad físico-espacial de las infraestructuras.
- Entorno natural, donde se analiza la calidad de dicho entorno.

Mediante el análisis de estos dos elementos se espera determinar el nivel de susceptibilidad al que está expuesto un asentamiento urbano informal, usando la matriz de adaptabilidad como el elemento metodológico para su análisis.

Factores de exposición natural

Es importante contar con la evaluación de los factores de exposición surgidos por el cambio climático, incremento en patrones de lluvias, oleadas de calor, entre otros, que afectan las condiciones urbanas y determinan el tipo de planificación que debe hacerse. De acuerdo con la matriz planteada en esta investigación, los factores de exposición se concentran en cinco elementos: temperatura del aire, velocidad del aire, humedad relativa, radiación solar y precipitaciones. Esta decisión obedece a que los lineamientos de adaptabilidad urbana están pensados para tres momentos climatológicos recurrentes en las ciudades colombianas: lluvia, sequía y normalidad climática, por estar cerca de la línea del Ecuador. Estos tres acontecimientos se convierten en los elementos más relevantes de la exposición, por ser recurrentes en el país, y son los que más han generado estragos en los últimos años como consecuencia de la variabilidad climática.

Factores de adaptación al cambio climático

La adaptabilidad urbana al cambio climático se genera a partir de estrategias que persiguen un objetivo común: hacer de los espacios urbanos lugares más agradables y adecuados, actuando con respeto hacia el entorno y permitiendo la inclusión de la arquitectura en el medio natural. Por otro lado, se espera tener la posibilidad de habitar ciudades y viviendas con un mejor entendimiento de su ubicación, donde se disponga de la mejor manera de los recursos naturales, de la energía, y se resuelvan equitativamente aspectos de fragilidad que presentan los asentamientos de origen informal y que derivan en mayor vulnerabilidad frente a los fenómenos naturales extremos. En pocas palabras, la adaptabilidad urbana se define como aquella que aprovecha

las características ambientales y las incorpora en su desarrollo urbano, posibilitando la obtención de nuevos recursos, además de brindar una mejor calidad en cuanto a la mitigación de los desastres socionaturales como consecuencia del cambio climático (Hough, 1995).

Metodología

La aplicación metodológica se basa en encontrar, a partir del cruce de los factores de exposición y los niveles de susceptibilidad, indicios del estado de adaptación del asentamiento analizado. Se estudian los factores de adaptación que tiene un asentamiento frente a fenómenos climatológicos extremos, cruzando los mapas resultantes de las fases de susceptibilidad que tiene un asentamiento vs. la exposición a fenómenos naturales que pueden suceder en el territorio.

Para la construcción y aplicación de la matriz de adaptabilidad se siguen seis fases que permiten la conceptualización de indicadores, siendo esta la construcción de la matriz en sí misma, a partir de los componentes identificados en el World Risk Index, y retomados en esta investigación para la adaptación conceptual en el contexto local y la escala de barrio. La Fase I se enfoca en la definición de los indicadores de susceptibilidad que deben ser aplicados en los asentamientos urbanos; la Fase II permite la definición de estándares por indicador, de acuerdo con la normativa internacional, pautas y modelos técnicos; la Fase III aborda la aplicación de la herramienta de análisis planteada en la matriz con la definición del estado de susceptibilidad urbana, el cual se obtiene al cruzar los indicadores según el modelo conceptual propuesto para el montaje de un sistema de información geográfica; la Fase IV determina los estados que permiten evidenciar y medir los factores de exposición, estos son estados climáticos críticos del sistema (intensa lluvia y periodos de sequía extrema); en la Fase V se desarrolla la simulación del comportamiento del sistema construido y el sistema natural en los asentamientos informales frente a cuatro momentos climáticos extremos, y, finalmente, la Fase VI permite la generación de estrategias para la implementación de proyectos de diseño urbano en asentamientos informales que logren adaptarse a las condiciones simuladas de manera eficiente.

La definición de la adaptabilidad de un asentamiento supone el seguimiento de las fases aquí presentadas, a partir de las cuales para esta investigación se llevó a cabo un ejercicio aplicado en el barrio Las Américas del municipio de Yumbo, Valle, en Colombia, el cual es un territorio urbano altamente expuesto a los efectos de la contaminación del aire y, por ende, ha generado un microclima especial (López y López, 2015) en el que es necesario el análisis de los factores de incidencia de esta situación frente a los efectos del cambio climático.

Resultados

Fase I. Definición de los indicadores de susceptibilidad para ser aplicados en los asentamientos urbanos

Como primera medida se procede a identificar los indicadores de susceptibilidad urbana que representan el estado de calidad del entorno construido y el entorno natural, para posteriormente definir, analizar y valorar cada indicador para el sistema en cuestión. Lo importante de este análisis es identificar el nivel de susceptibilidad del barrio frente a exposiciones naturales normales. Así, se parte de construir un marco de referencia muy general determinando estándares de susceptibilidad de cada uno de los subsistemas; al final del diagnóstico se define con precisión el estado de la susceptibilidad urbana del barrio Las Américas como caso de estudio de esta investigación.

Fase II. Definición de estándares por indicador

Los estándares son los indicadores óptimos de susceptibilidad urbana a los cuales debe responder el sistema; dichos estándares se encuentran relacionados directamente con los objetivos propuestos por los lineamientos de adaptabilidad urbana.

Los indicadores de susceptibilidad se analizaron y evaluaron desde cada uno de los subsistemas propuestos para determinar la calidad del entorno construido y natural, lo que dio como resultado un modelo sistémico que garantiza la ponderación o evaluación desde cada una de las variables e indicadores de los subsistemas. En la tabla 1 se observa cómo se valora cada indicador; es importante resaltar que todos los indicadores se evalúan en cinco rangos: crítico, malo, regular, bueno y óptimo (López y López, 2015). Asimismo, los valores de calificación cuantitativa serán aplicados a todos los rangos de manera similar.

Valoración del indicador	Continuidad del andén	Calificación cuantitativa	Calificación cualitativa
CRÍTICO	Bloqueado	0,2	Definición cualitativa de cada nivel del indicador
MALO	Interrumpido	0,4	Definición cualitativa de cada nivel del indicador
REGULAR	Intermitente	0,6	Definición cualitativa de cada nivel del indicador
BUENO	Semicontinuo	0,8	Definición cualitativa de cada nivel del indicador
ÓPTIMO	Continuo	1	Definición cualitativa de cada nivel del indicador

Tabla 1. Ejemplo de valoración de un indicador
Fuente: elaboración propia.

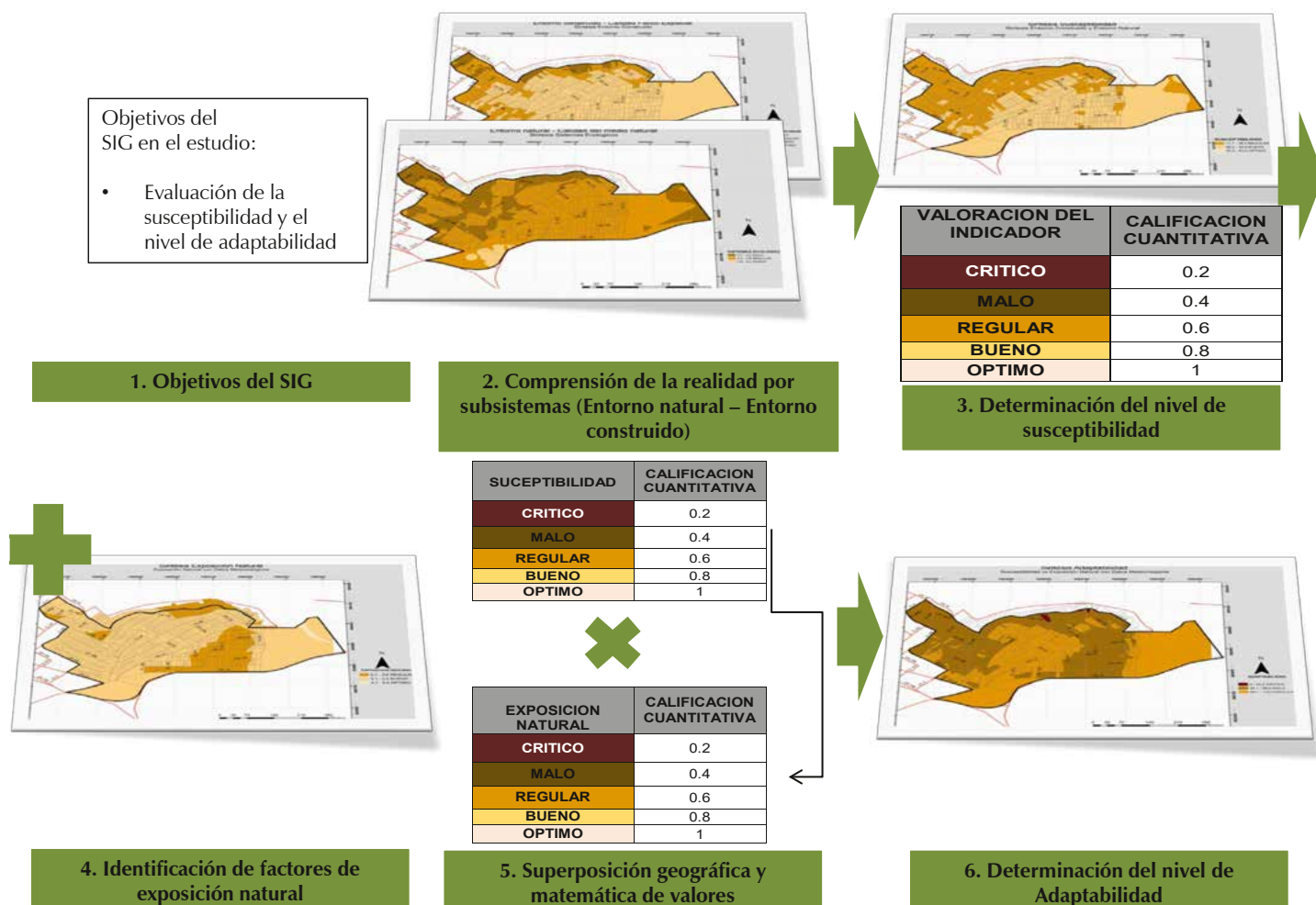


Figura 2. Metodología utilizada para el cruce de la información en el SIG

Fuente: elaboración propia – Licencia ArcGis Desktop Free Trial 60 días (2016).

Fase III. Definición del estado de susceptibilidad urbana

Para la construcción de los indicadores de manera espacial fue necesario el montaje de un sistema de información geográfica (SIG) que permite tener una información alfanumérica espacializada del sistema, lo que da como resultado una visión más real del estado del sistema en términos de susceptibilidad. Para tal fin se diseñó un modelo cartográfico el cual plantea la forma de cruzar y analizar información por niveles de jerarquía, como se observa en la Figura 2. Este modelo cartográfico fue utilizado para esquematizar el uso de las funciones de un SIG, bajo una secuencia lógica, en la solución de problemas espaciales complejos.

Estos modelos se basan en el cruce de información multivariada de cada uno de los subsistemas analizados; esto quiere decir que cada subsistema tiene como primer resultado un mapa de cruce de todos los indicadores analizados, que finalmente deriva en la obtención de los mapas síntesis denominados Entorno natural y Entorno construido. La idea se basa en ir relacionando la información geográfica que representa cada uno de los indicadores hasta un punto donde resultan dos mapas bases de cada uno de los subsistemas, para posteriormente ser cruzados entre sí a fin de determinar el nivel de susceptibilidad que luego será nuevamente cruzado con el mapa Síntesis de factores de exposición natural y arrojará según, las relaciones establecidas en la matriz, el nivel de adaptabilidad (Figura 3).

Fase IV. Simulación de adaptación de asentamientos informales a cuatro fenómenos climáticos

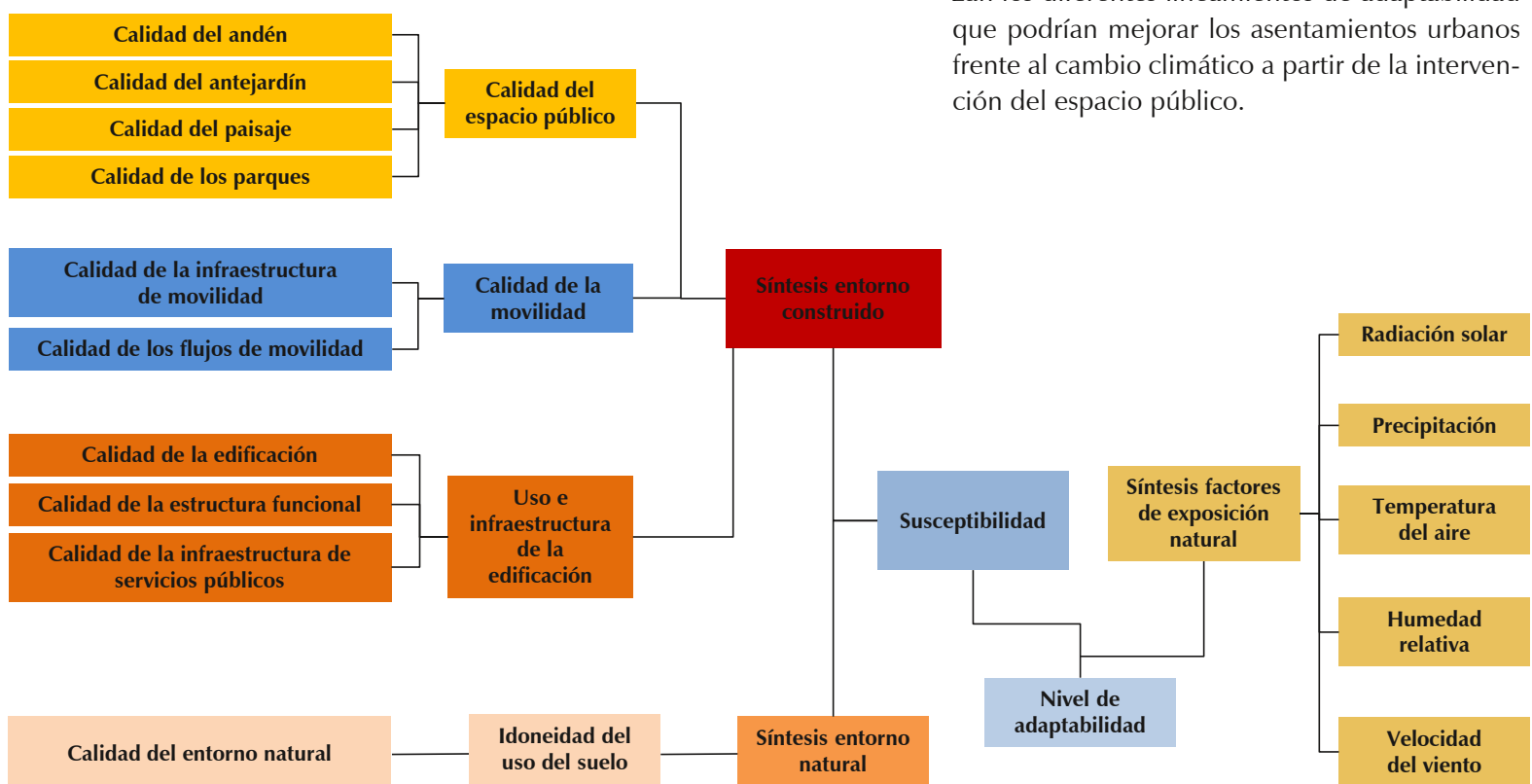
En este momento de la investigación se valoraron las capacidades, las medidas y las estrategias que permiten a las comunidades cambiar con el fin de minimizar el impacto y las consecuencias derivadas de las amenazas naturales y el cambio climático. La adaptabilidad de un asentamiento se valora en dos oportunidades: primero, analizando el estado del asentamiento y su capacidad de adaptación con la infraestructura que cuenta hoy. La segunda, a partir de la propuesta de lineamientos de adaptabilidad urbana que le apunten a mejorar la capacidad de adaptación frente a fenómenos climáticos extremos.

Fase V. Definición de proyectos de diseño urbano en asentamientos informales

Con este procedimiento se deciden las operaciones urbanas y los proyectos estratégicos por desarrollar como resultado de los desbalances encontrados en el procedimiento de diagnóstico. Estos proyectos se concretan a través de los lineamientos de diseño urbano adaptativo. Luego de decidir los proyectos estratégicos que se van a desarrollar se simulan nuevamente los fenómenos climatológicos para observar cómo responden los asentamientos en estas simulaciones.

El cruce de indicadores que se hace en la matriz de adaptabilidad resultante (Tabla 2, p. 86), realizado en los cuatro eventos climatológicos propuestos, permite analizar el nivel de prioridad de adaptabilidad de cada uno de los indicadores evaluados en la fase de susceptibilidad del entorno natural y construido. En este punto se analizan los diferentes lineamientos de adaptabilidad que podrían mejorar los asentamientos urbanos frente al cambio climático a partir de la intervención del espacio público.

Figura 3. Modelo cartográfico del sistema multivariado para la aplicación de la matriz de adaptabilidad en el SIG
Fuente: elaboración propia, 2016.



Dentro de los criterios de prioridad se encuentran:

Muy alta prioridad: esta categoría hace alusión a infraestructura y equipamientos muy importantes para la subsistencia básica de la población, que puedan verse seriamente afectados en el momento de la exposición ante un fenómeno climático extremo o muy alto, y que tienen urgencia de tomar medidas de adaptación.

Alta prioridad: esta categoría hace alusión a infraestructura y equipamientos o alojamientos muy relevantes para el desarrollo de las actividades básicas o cotidianas de la población, que se pueden ver afectados en el momento de la exposición ante un fenómeno climático extremo o muy alto.

Media prioridad: esta categoría se refiere a infraestructura, equipamientos y usos complementarios a las actividades básicas de la población, que están relacionados con la calidad de vida de esta, que pueden verse afectados en el momento de la exposición a un fenómeno climático extremo o alto.

Baja prioridad: esta categoría hace alusión a infraestructura, equipamientos y usos complementarios, que son importantes para la calidad de vida de la población, pero que podrían no existir, o que pueden verse poco afectados en el momento de la exposición ante un fenómeno climático extremo o alto y requieren pocos niveles de adaptación.

Muy baja prioridad: esta categoría hace alusión a infraestructura, equipamientos y usos complementarios relacionados con la calidad de vida de la población, que pueden verse poco afectados en el momento de la exposición ante un fenómeno climático extremo o alto, y no requieren estrategias de adaptación.

Discusión

La adaptación al cambio climático ha sido vista siempre separada de otros procesos sociales y ha sido determinada por análisis científicos principalmente; este enfoque fue sugerido primeramente por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su documento sobre lineamientos técnicos para la evaluación de los impactos del cambio climático y la adaptación (Carter y Kenkyū, 1994). Un enfoque un tanto más complejo determina las necesidades de adaptación desde la comprensión y descripción de los riesgos relacionados con el clima, tanto en el presente como en el futuro, considerando las variaciones constantes del clima junto con factores denominados no climáticos.

El principal impacto de esta investigación está dirigido a reconocer a la arquitectura y el diseño urbano como aquellas disciplinas capaces de

transformar entornos de ciudades informales que fueron creadas en condiciones de suma precariedad. Colombia y, en general, los países en desarrollo, se caracterizan por tener una urbanización de tipo informal que supera en más del doble las iniciativas formales de urbanización. De acuerdo con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en su informe de gestión del 2016, en Colombia menos del 25% de la vivienda nueva cumple con toda la normatividad, las restantes construcciones se edifican mediante procesos de autoconstrucción. Esto supone que el principal impacto de esta investigación está dirigido a aquella población que día a día construye la otra ciudad, la ciudad informal, la cual responde a diversas lógicas espaciales y arquitectónicas de tipo local, que deberían pensarse. De esta manera, la academia debería hacer un esfuerzo importante por entender esta realidad urbana y brindar metodologías apropiadas para la incorporación de temas como el cambio climático en los procesos de diseño urbano en contextos de autoconstrucción de barrios urbanos.

El diseño urbano es un instrumento técnico que debe articularse con la labor de planificación; propende por cuidar la imagen de la ciudad, es y por excelencia uno de los instrumentos del urbanismo para la generación de espacio público de calidad físico-espacial y confort ambiental. De igual modo, es el encargado de relacionar las características arquitectónicas y urbanísticas formadas históricamente por la población, donde concurren tecnologías, materiales de construcción, ideas, creencias, preferencias y sensibilidades propias de cada época y grupo humano. Esta condición hace que los procesos de adaptación al cambio climático se consideren relevantes para ser parte de las cualidades básicas del diseño urbano, sumadas a las ya conocidas como logro visual, funcional, ambiental y de experiencia urbana (Cook, 1980), lo que permite una estrategia de intervención urbana más coherente con su contexto particular y ligada a procesos específicos para enfrentar los cambios climáticos desde una perspectiva que incluya las necesidades concretas del entorno urbano.

La implementación de una metodología para el análisis de las condiciones de adaptabilidad de un asentamiento informal, en el caso de estudio de Yumbo, permite la indagación detallada de condiciones locales en términos de carencias en la infraestructura, de fallas en los elementos técnicos construidos, así como la comprensión de las condiciones naturales que interactúan con estos elementos constitutivos del paisaje construido, y da como resultado las situaciones observadas después del levantamiento de información para el montaje del sistema de indicadores que sugiere la matriz aquí propuesta.

LINEAMIENTOS DE DISEÑO URBANO

LINEAMIENTOS DE DISEÑO URBANO				EXPOSICIÓN NATURAL																						
				D	D	A	A	A	M	M	M	M	M	A	A	D	D	D	DR	DR	DR	DR	DR			
				c	b	m	c	c	b	o	o	o	r	o	c	c	m	c	tc	tc	tc	tc	tc			
				Radiación solar	Temperatura del aire	Velocidad del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar	Temperatura del aire	Velocidad del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar	Temperatura del aire	Velocidad del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar	Temperatura del aire	Velocidad del aire	Humedad relativa	Precipitación			
				Síntesis con pluviosidad alta					Síntesis con aluviosidad media					Síntesis con pluviosidad baja					Síntesis datos meteorológicos							
Variable	Resultado	Indicadores																								
Entorno construido	Espacio público y zonas verdes	Andenes	Calidad del andén	Continuidad en el andén																						
				Estado constructivo del andén																						
				Materialidad del andén																						
		Antejardines	Calidad del antejardín	Existencia y dimensión del andén																						
				Vegetación en el antejardín																						
				Estado del antejardín																						
				Materialidad del antejardín																						
		Parques y zonas verdes	Calidad del paisaje	Dimensión antejardines																						
				Invasión del espacio público																						
				Contaminación visual del espacio público																						
	Calidad de los parques y zonas verdes		Imagen del barrio																							
			Visuales del paisaje																							
			Topografía del paisaje urbano																							
	Movilidad	Infraestructura de movilidad	Calidad de la infraestructura de movilidad	Calidad urbana de los parques existentes																						
				Arborización en el espacio público																						
				Proximidad a espacios públicos																						
		Flujos de movilidad	Calidad de los flujos de movilidad	Jerarquía vial																						
				Estado de las vías																						
				Secciones viales																						
				Flujos peatonales																						
Permanencia de los peatones																										
Flujos vehiculares																										
Sentido vial																										
Edificabilidad	Calidad de la edificación	Tipo de tráfico																								
		Transporte público																								
		Altura de la edificación																								
Estructura funcional	Calidad de la estructura funcional	Estado de la construcción																								
		Sistema constructivo																								
		Tipología edificatoria																								
		Usos del suelo																								
Infraestructura de servicios públicos	Calidad de la infraestructura de servicios públicos	Proximidad a salud																								
		Proximidad a educación																								
		Edificios vitales																								
Entorno natural	Sistemas ecológicos	Biótico	Idoneidad del uso del suelo	Agua																						
				Alcantarillado																						
		Abiótico	Idoneidad del uso del suelo	Energía																						
				Vegetación																						
				Hidrología, escorrentía de agua																						
	Abiótico	Idoneidad del uso del suelo	Capacidad de suelos																							
			Áreas con remoción en masa																							
	Abiótico	Idoneidad del uso del suelo	Erosión																							
					5-4,1	Muy alta prioridad			4-3,1	Alta prioridad			3-2,1	Mediana prioridad			2-1,1	Baja prioridad			1-0	Muy baja prioridad				

Adaptabilidad

Tabla 2. Matriz de diseño urbano adaptativo

Fuente: elaboración propia.

La discusión surge entonces a partir de los resultados obtenidos después del análisis llevado a cabo en el SIG, donde se observan datos relacionados con la calidad del entorno construido y natural, que sugieren hipótesis que permiten determinar causas de las situaciones de susceptibilidad del asentamiento urbano analizado frente a los fenómenos naturales cada vez más intensos relacionados con el cambio climático. Estas causas son espacialmente identificadas como resultado de la georreferenciación de los indicadores, lo que permite la individualización y tipificación de las mismas y su relación con aquellos elementos “diseñables” como son los andenes, las fachadas, las vías, los antejardines, que componen lo que denominamos un espacio urbano, y con los cuales las propuestas de diseño se pueden materializar para posteriormente simular su incidencia en la solución efectiva de las problemáticas encontradas.

La matriz, entonces, sugiere un análisis detallado que aborda la perspectiva de los efectos del cambio climático a una escala local, de detalle constructivo, para enfatizar en las situaciones problemáticas del asentamiento desde los elementos que pueden llegar a modificarse a partir del diseño. Los indicadores sugeridos en la matriz permiten que el análisis del asentamiento se lleve a cabo de manera detallada, precisa y georreferenciada, a fin de determinar áreas de mayor complejidad, de prioritaria intervención, y sugiere etapas para la intervención urbana de manera organizada y planificada.

Conclusiones

El principal problema para la adaptación contra desastres siconaturales en la ciudad radica en dos elementos: primero, la planificación y el diseño urbano se piensan a largo plazo y sus resultados no son inmediatos; segundo, se planifica y diseña para un evento que quizá no ocurra nunca, pero se tiene un rango de vulnerabilidad bastante alto relacionado con la ocurrencia de un fenómeno catastrófico. Estos dos elementos son los puntos de partida para la planeación y el diseño urbano en la ciudad. Teniendo en cuenta que este artículo se concentra en la adaptabilidad urbana al cambio climático, los sistemas de información geográfica aportan información valiosa para la toma de decisiones basada en la organización de los datos por categorías temáticas, aportando en este caso específico la posibilidad de evaluar y simular estrategias que podrían contemplarse para la adaptación y mitigación de desastres siconaturales en zonas urbanas.

Entre las potencialidades que tienen los sistemas de información geográfica y que la matriz de adaptabilidad aquí propuesta aborda para el

desarrollo de análisis de fenómenos urbanos asociados con la gestión del riesgo de desastres están:

La posibilidad de representar y establecer claramente las áreas que muestran riesgos, amenazas y vulnerabilidades, definiendo y simulando proyectos encaminados a la mitigación y adaptación a corto, mediano y largo plazo.

Identificar a partir de la cartografía detallada los sectores más vulnerables a los desastres que deben priorizarse a nivel municipal en cuanto a mitigación y adaptación contra desastres siconaturales, a partir del uso de indicadores que evalúan el grado de vulnerabilidad urbana.

Simular las acciones y el tipo de intervenciones requeridas para asegurar una gestión integral de riesgos a nivel principalmente municipal, lo que permite un uso eficiente de los recursos para la planificación del territorio.

Apoyar de manera analítica, detallada, y con un análisis de tipo mixto (cualitativo y cuantitativo), la generación de políticas y lineamientos de ordenamiento territorial que tengan en cuenta la gestión integral de riesgo urbano.

Permitir incluir desde la metodología de análisis la perspectiva y percepción de la comunidad en las decisiones de gestión de riesgo mediante procesos de participación ciudadana.

Como resultado de la implementación de la matriz georreferenciada en un estudio de caso, es posible obtener una guía de intervención para el diseño urbano, que sugiere tres aspectos clave: i) los elementos potencialmente ajustables; ii) el tipo de situación problemática relacionada con su localización en el espacio urbano; iii) los factores potencializadores (sociales, ecológicos, económicos) relacionados con la situación. Estos aspectos analizados en la matriz propuesta sugieren cambios posibles de realizar desde el diseño urbano a partir de la capacidad de adaptar los elementos, según el tipo de situación (nivel de susceptibilidad), y proponer un tipo de intervención urbana según la capacidad y disponibilidad de recursos que se encuentren en el entorno analizado; esto sugiere determinar, por ejemplo, acciones tipo *bottom-up* para la solución de problemáticas de pequeña escala identificadas por la matriz con una alta prioridad, que requieren soluciones inmediatas y que no dan espera a los procesos de intervención estatal normalmente de largo plazo; se logra así que la matriz de adaptabilidad propuesta sirva como un instrumento alternativo que puede ser usado por las comunidades en un proceso de participación informado y acompañado, que permita desarrollar estrategias locales de adaptación a partir de intervenciones de bajo costo orientadas a modificar de manera progresiva los elementos diseñables que se han identificado a partir del uso de esta matriz.

Aunque existen avances en la incorporación de estrategias metodológicas para el análisis del cambio climático, es necesaria la reflexión frente a las herramientas para proyectar-diseñar el espacio urbano y poder demostrar su efectividad relacionada con las variaciones, por ejemplo, de la intensidad de lluvias. El uso de matrices multivariable está tomando cada vez más importancia para la planeación y el diseño de la ciudad, ya que cada vez es necesario considerar más variables que hacen que el entorno urbano sea un sistema de alta complejidad; las herramientas digitales de representación del territorio se convierten en elementos clave para la simulación y la toma de decisiones, soportándose metodológicamente en enfoques para el análisis cuantitativo y cualitativo de la gestión del riesgo.

El uso de este tipo de instrumentos permite la articulación de diferentes tipos de saberes y, en este artículo, se sugiere la incorporación de la participación de la comunidad como elemento clave para la intervención adaptativa del espacio público a través de un diseño urbano más consciente de los efectos del cambio climático en la escala local, que permita un intercambio de saberes técnicos y vivenciales en un ejercicio de intervención urbana pensado para abordar de manera integral un proceso de adaptación progresiva del espacio físico (natural y construido) a las condiciones climáticas cambiantes en asentamientos urbanos, por tanto, el uso de esta matriz está condicionado a una interacción entre profesionales del diseño urbano y habitantes del entorno analizado, para lograr una verdadera implementación de la condición inicial propuesta: la adaptabilidad.

Referencias

- Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies*, 1, 9-54. Recuperado de https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452031945/Joern_1.pdf
- Birkmann, J. (2011). Regulation and coupling of society and nature in the context of natural hazards. En *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security* (pp. 1103-1127). Springer Berlin Heidelberg. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-17776-7_68
- Birkmann, J. y Fernando, N. (2008). Measuring revealed and emergent vulnerabilities of coastal communities to tsunami in Sri Lanka. *Disasters*, 3, 82-105. Doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-7717.2007.01028.x>
- Birkmann, J., Garschagen, M., Lopez-Valencia, A., Pelling, M., Maqami, N.Q. y Yu, Q. (2014). Urban development, climate change and disaster risk reduction: Interaction and integration. En *Megacities and the Coast: Risk, Resilience and Transformation*. New York, USA: Routledge.
- Birkmann, J., Krause, D., Stiadi, N., Suárez, D., Welle, T. y Wolfertz, J. (2011). *World Risk Report*. Bonn: UNU and IEHS.
- Blakely, E. J. (2007). *Urban planning for climate change*. Lincoln Institute of Land Policy Working Paper, 1-25. Recuperado de <https://www.lincolninst.edu/publications/working-papers/urban-planning-climate-change>
- Cardona, O. D. (1999). Environmental management and disaster prevention. Two related topics: A holistic risk assessment and management approach. *Natural disaster management*. London: IDNDR-Tudor Rose
- Carter, T. R. (1999). Representing Uncertainty in Climate Change Scenarios and Impact Studies: Proceedings of the ECLAT Helsinki Workshop, 14-16, Climatic Research Unit.
- Carter, T. R. y -, K. K. K. C. K. (1994). *IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations: Part of the IPCC special report to the first session of the conference of the parties to the UN framework convention on climate change*. London: University College London, Department of Geography y Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies. Recuperado de https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc11970/m2/1/high_res_d/ipcc-technical-guidelines-1994n.pdf
- Cook, R. S. (1980). *Zoning for downtown urban design: How cities control development*. Lexington, Mass.: Lexington Books.
- Fernández, R. (2000). *Gestión ambiental de ciudades, Teoría crítica y aportes metodológicos*. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.
- Higueras, E. (1997). Urbanismo bioclimático. Criterios medioambientales en la ordenación de asentamientos. Resumen de Tesis doctoral. ETS de Arquitectura, Dirección General de la Vivienda, Arquitectura y Urbanismo. Recuperado de <http://habitat.aq.upm.es/ub/>
- Houg M. (1995) *Ciudad y naturaleza*. Barcelona: Gustavo Gili.
- IPCC (2008): Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: R. K. Pachauri, et al. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- López, V. A. y López B. O. (2015). *Diseño urbano adaptativo al cambio climático*. Cali: Programa Editorial de la Universidad del Valle.
- Peduzzi, P., Dao, H., Herold, C. y Mouton, F. (2009). Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: The Disaster Risk Index. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(4), 1149-1159. Recuperado de www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1149/2009/nhess-9-1149-2009.pdf
- Wisner, B. (2002). Who? What? Where? When? in an emergency. Notes on possible indicators of vulnerability and resilience: by phase of the disaster management cycle and social actor. En *Environment and Human Security: Contributions to a Workshop in Bonn, 23-25 October 2002*. Bonn.

