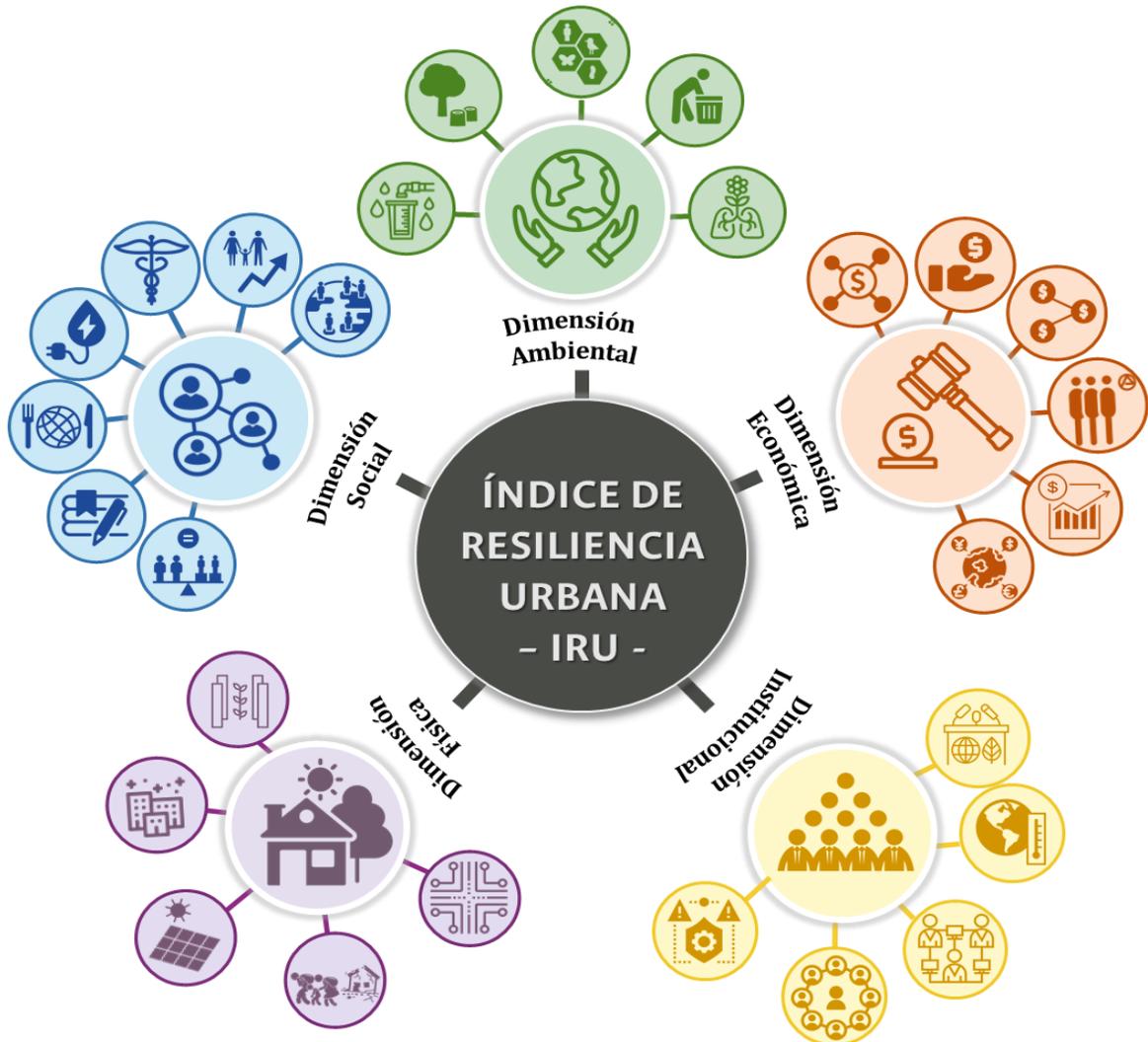
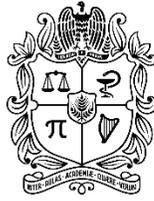


Construcción de un Índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático. Caso de Estudio: Medellín

Paula Andrea Villada Estrada





UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Construcción de un Índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático. Caso de Estudio: Medellín

Paula Andrea Villada Estrada

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Medellín, Colombia
2020

Construcción de un Índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático. Caso de Estudio: Medellín

Paula Andrea Villada Estrada

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Medio Ambiente y Desarrollo

Director:

Ph.D. Santiago Arango Aramburo

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2020

Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla mientras el género humano no escucha.

VÍCTOR HUGO, 1840

A la vida.

A mi familia por ser mi motor para seguir y a ti, esposo mío por cada palabra de aliento, amor y apoyo incondicional.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia, mi Alma Máter.

A mi director de tesis, por su confianza y apoyo. ¡Mil Gracias!

A Patri, Jesús y José Fernando por sus valiosos aportes.

A mi familia, porque les debo todo.

A Alejandro Rodas, mi compañero de vida.

A las PaIMaYa (Meli, Aleja, Diana, Judith), las amigas que me dejó la Maestría.

Resumen

Los riesgos climáticos a los que se enfrentan las ciudades son cada vez mayores. Frente a estos existe la necesidad de construir nuevas herramientas que permitan incrementar la capacidad de las ciudades para sobreponerlos y disminuir su vulnerabilidad. La resiliencia urbana, entendida como la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales para hacer frente a un evento o una tendencia peligrosa, responder o reorganizarse de manera que mantengan su función esencial, identidad y estructura, al mismo tiempo que mantiene la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación (IPCC, 2014), incide en la vulnerabilidad de las ciudades. Para su medición se han empleado índices compuestos que se han establecido como herramientas útiles que permiten incorporar el cambio climático y la variabilidad climática en la planificación de las ciudades.

En el presente estudio se construye un índice de resiliencia urbana (IRU) frente a la variabilidad y el cambio climático adaptado a las características propias de la ciudad de Medellín. Para su estimación se evaluaron 28 variables contenidas en cinco dimensiones, normalizadas y agregadas en el índice a partir del método participativo de panel de expertos, mediante el cual se asignaron ponderaciones tanto a las dimensiones como a las variables a agregar dentro del índice. Se definió una escala de puntuación entre 0 y 100, obteniendo como resultado una calificación media (45,5%) para la ciudad. Respecto a los resultados de la medición de cada una de las dimensiones, las que obtuvieron un puntaje más alto fueron: *Institucional/gobernanza*, *ambiental* y *económica*, siendo las dimensiones *social* y *física* las de puntajes más bajos.

A partir de este resultado es posible identificar las fortalezas y debilidades de la ciudad respecto a su resiliencia urbana, que le permitan hacer frente a los riesgos asociados a la variabilidad y cambio climático, así como las oportunidades para que los planificadores y tomadores de decisiones dirijan sus esfuerzos para incrementar la resiliencia de la ciudad.

Palabras clave: Ciudades, Resiliencia Urbana, variabilidad climática, cambio climático, índice, Medellín.

Variability and Climate Change Urban Resilience Index in Medellín, Colombia.

Paula Andrea Villada Estrada

Research thesis submitted as a partial requirement to qualify for the degree of

Master in Environment and Development

Director:

Ph.D. Santiago Arango Aramburo

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2020

Abstract

The climatic risks that cities face are increasing, and thus, there is a need to build new tools that increase their capacity to deal with these risks and reduce their vulnerability. Urban resilience is understood as the ability of social, economic and environmental systems to cope with a dangerous event or trend, respond or reorganize, such that they maintain their essential function, identity, and structure while maintaining the adaptability, learning, and transformation (IPCC, 2014), affects the vulnerability of cities. For the urban resilience measurement, composite indices have been used, as useful tools to incorporate climate change and climate vulnerability in city planning.

In the present study, an urban resilience index (URI) is constructed to cope with variability and climate change for the city of Medellin; for its estimation, 28 variables were evaluated, contained in five dimensions. The selected variables were normalized and added to the index based on the participatory panel expert method, by which weights were assigned to both the dimensions and the variables to be added within the index. A scale of 0 to 100 was defined, resulting in an average rating (45,5%) for the city. Regarding the results of the measurement of each of the dimensions, the ones that obtained a higher score were *Institutional/governance, environmental and economic*, with the *social and physical* dimensions being those with the lowest scores.

From this result, it is possible to identify the strengths and weaknesses of the city to face the impacts of climate change and climate variability, as well as the opportunities for planners and decision-makers to direct their efforts to increase the resilience of the city.

Keywords: Cities, Urban Resilience, climate variability, climate change, index, Medellin.

Contenido

Pág.

Resumen XI

Lista de figuras..... XVII

Lista de tablasXVIII

Lista de abreviaturas..... XIX

Introducción 1

1. Marco teórico	5
1.1. Variabilidad Climática (VC) y Cambio climático (CC)	5
1.2. Resiliencia Urbana.....	7
1.3. Antecedentes en la medición de la Resiliencia Urbana.....	12
Índices Compuestos	13
2. Metodología.....	19
2.1 Fase I: Definición de resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático, y selección de variables.	20
2.2 Fase II: Recopilación de información y tratamiento de los indicadores.	22
2.3 Fase III: Estimación del índice de resiliencia urbana – IRU para la ciudad de Medellín.....	24
3. Construcción del Índice de Resiliencia Urbana.....	25
3.1 Caracterización de la zona de estudio.	25
3.1.1 Localización.....	26
3.1.2 Condiciones climáticas: Variabilidad y Cambio Climático en Medellín.....	28
3.1.3 Efectos de la Variabilidad y el Cambio Climático en Medellín	33
3.2 Fase I: Definición de resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático, y selección de variables.	37
3.2.1 Selección y clasificación de variables para un índice de Resiliencia Urbana.	37
3.2.2 Consulta a expertos.....	38
3.3 Fase II: Recopilación de información y tratamiento de los indicadores	45
3.3.1 Cálculo de los indicadores para cada una de las variables	45
3.3.2 Normalización de las variables	46
3.3.3 Ponderación y agregación de las variables.....	46
3.4 Fase III: Estimación del índice de resiliencia urbana para la ciudad de Medellín.....	49

4. Resultados: Estimación del Índice de Resiliencia Urbana – IRU para Medellín...	50
4.1 Cálculo del IRU para Medellín	51
4.2 Cálculo del IRU para 2017 y comparación de resultados	61
4.3 Análisis de sensibilidad	64
5. Conclusiones y recomendaciones	66
5.1 Conclusiones.....	66
5.2 Recomendaciones.....	68
A. Anexo 1: Encuesta a expertos.....	69
B. Anexo 2: Descripción de dimensiones y variables a incluir en el Índice de Resiliencia Urbana – IRU-	75
C. Anexo 3: Descripción de los expertos encuestados.....	89
D. Anexo 4: Descripción, medición y normalización de las variables.....	91
Bibliografía	98

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Sistema climático global. Se muestran las muchas interacciones entre los diferentes componentes del sistema climático, incluyendo las ciudades.	6
Figura 2: Perspectivas de la Resiliencia Urbana.	8
Figura 3: Factores presentes en la generación del riesgo por eventos climáticos.	11
Figura 4: Relación entre vulnerabilidad y resiliencia.	12
Figura 5: Metodología empleada para la construcción del índice de Resiliencia Urbana (IRU)	19
Figura 6: Mapa de la zona de estudio.	27
Figura 7: Municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). Comunas y corregimientos de la ciudad de Medellín.	28
Figura 8: Comportamiento de la temperatura promedio mensual en 2018 frente a la temperatura típica mensual período 1981-2010 (Normal climatológica).	30
Figura 9: Comportamiento de la precipitación acumulada mensual en 2018, frente a la precipitación típica mensual, período 1981-2010 (Normal climatológica).	30
Figura 10: Escenarios de cambio climático para Colombia y Antioquia	32
Figura 11: Riesgo por Cambio Climático Antioquia y Medellín.	34
Figura 12: Amenaza por movimiento en masa en la ciudad de Medellín	35
Figura 13: Amenaza por avenidas torrenciales para la ciudad de Medellín.	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 14: Pesos de las dimensiones y las variables dadas por los expertos	44
Figura 15: Estructura del índice de Resiliencia Urbana	46
Figura 16: Estructura para la construcción del Índice de Resiliencia Urbana – IRU	50
Figura 17: Cálculo del IRU para Medellín	51
Figura 18: Resultados del IRU para Medellín año 2018	53
Figura 19: Clasificación variables del IRU	60
Figura 20: Resultados del IRU para Medellín año 2017	61
Figura 21: Comparación de resultados IRU 2017 - IRU 2018	62
Figura 22: Análisis de sensibilidad con asignación de valores aleatorios a los pesos de las dimensiones.	64

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Índices de resiliencia urbana encontrados en la literatura	15
Tabla 2: Categorías y variables seleccionadas para el IRU.	40
Tabla 3: Variables diferentes sugeridas por los expertos a partir de la encuesta.	41
Tabla 4: Definición y forma de medir las variables pre-identificadas.....	42
Tabla 5: Relación de las variables con el IRU.....	47
Tabla 6: Interpretación del Índice de Resiliencia Urbana -IRU.....	52
Tabla 7: Análisis de sensibilidad del IRU con mayor peso en una de las dimensiones. ...	65
Tabla 8: Intervalos para la medición de la calidad del agua.....	79
Tabla 9: Escalas para medir la población en zonas de amenaza alta	84

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
RU	Resiliencia urbana
IRU	Índice de Resiliencia Urbana
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
VC	Variabilidad Climática
CC	Cambio Climático

Introducción

Las ciudades son entendidas como sistemas socio ecológicos urbanos en los cuales interactúan la naturaleza y la vida humana. Las actividades humanas que allí se desarrollan son consideradas como fuentes de impactos ambientales que están alterando, significativamente, los procesos climáticos naturales de la Tierra.

Las ciudades y sus habitantes se están enfrentando a más desafíos debido a los efectos de la urbanización masiva, la variabilidad climática (VC) y el cambio climático (CC). Actualmente el 50% de la población vive en las ciudades y está previsto que esta cifra aumentará al 70% en 2050 (ONU, 2018). Este crecimiento urbano se da en muchas ocasiones como una expansión no planificada e inadecuada planeación territorial, factores que contribuyen al aumento de la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas, principalmente frente a los impactos de la variabilidad y el cambio climático.

En la actualidad, la VC y el CC son temas relevantes debido a sus efectos en todas las escalas geográficas que inciden en aspectos sociales, económicos y ecosistémicos (IPCC, 2007). A nivel mundial se constatan los efectos negativos del cambio climático y de la variabilidad climática sobre las ciudades, convirtiéndose en una amenaza para su desarrollo. Comprendiendo los riesgos, derivados de la VC y el CC, a los que se enfrentan los centros urbanos, el concepto de resiliencia ha ganado prominencia en la planificación de las ciudades como respuesta a la necesidad de construir nuevas herramientas y planteamientos que den poder a los gobiernos locales y a los ciudadanos para incrementar su capacidad de afrontar nuevos desafíos.

La resiliencia es un concepto que, aplicado a las ciudades, hace referencia a su capacidad para prepararse, resistir y recuperarse frente a una crisis climática. En este sentido, la resiliencia permite a los sistemas humanos y naturales, recuperarse ante los impactos del cambio climático e incluso mejorar después de haber sufrido los mismos. Implica que ante

los eventos del cambio climático, la calidad de vida y la producción de bienes y servicios no se vean afectadas significativamente. La resiliencia es un factor clave que debe ser tenido en cuenta por los tomadores de decisiones para crear políticas, planes, proyectos o sistemas más flexibles y resistentes a los futuros impactos del cambio climático.

En los últimos años se ha evidenciado un creciente interés en estudiar y medir la resiliencia de las ciudades frente a los efectos de la VC y el CC (Ahern, 2013; Cutter, 2015; Dhar & Khirfan, 2017; Hassler & Kohler, 2014; Tyler et al., 2016; Tyler & Moench, 2012) con el objetivo de identificar las características físicas, ambientales, económicas, institucionales y sociales que disminuyan su vulnerabilidad. Para ello, la Resiliencia Urbana - RU se ha medido a través de índices compuestos, como una representación simplificada de un conjunto de variables que miden características o atributos de un individuo o un sistema (Saisana & Tarantola, 2002; Schuschny & Soto, 2009). Estos índices son utilizados para sintetizar complejas interrelaciones y permiten comparaciones entre diferentes sistemas que sirven de apoyo a la toma de decisiones, teniendo en cuenta las consideraciones particulares de cada sitio de aplicación. En este contexto, los índices pueden ser útiles para focalizar iniciativas de adaptación en las ciudades que disminuyan los impactos negativos de los fenómenos extremos cada vez más frecuentes y permitan incrementar su resiliencia (Sharma, Singh, & Singh, 2014; Tyler et al., 2016).

Existen diferentes propuestas de índices compuestos para estimar la resiliencia urbana en los contextos de variabilidad y cambio climático, aplicados a diferentes ciudades (Cutter, 2015; D'Lima & Medda, 2015; Engle, de Bremond, Malone, & Moss, 2014; Kotzee & Reyers, 2016; R. Shaw, 2015; Tyler et al., 2016; Xu & Xue, 2017). Estos casos han sido específicos, con dificultades para su aplicación universal (Suárez, Gómez-Baggethun, Benayas, & Tilbury, 2016); lo anterior, debido a que la resiliencia, depende de las características locales asociadas a la vulnerabilidad (Brenkert & Malone, 2005). Por lo tanto, el uso y aplicación de índices requiere una perspectiva propia para cada territorio (Harley, M., Horrocks, L., Hodgson, N., & Van Minnen, 2008).

Las herramientas para medir la RU se deben desarrollar de manera que permitan singularizar las necesidades específicas de los territorios (Sharifi, 2016). La medición de la resiliencia depende de los componentes sociales, ambientales, económicos, físicos e institucionales que caracterizan cada ciudad en particular (Brenkert & Malone, 2005;

Harley, M., Horrocks, L., Hodgson, N., & Van Minnen, 2008; Sharifi, 2016). Si bien, el proceso metodológico para la construcción del índice se puede adoptar y aplicar a otros lugares, los índices construidos deben responder a las particularidades de las ciudades en las cuales se aplicará.

En este trabajo, el problema a investigar se orientó en la pregunta de investigación: ¿Cómo medir la resiliencia urbana frente a la VC y el CC?, como respuesta se propone la construcción de un Índice de Resiliencia Urbana - IRU considerando diferentes variables agrupadas en las dimensiones social, ambiental, económica, física e institucional. El ámbito de estudio seleccionado para llevar a cabo este ejercicio de medición de la resiliencia urbana es la ciudad de Medellín. Con este índice se pretende establecer el grado de RU de la ciudad, así como identificar cuáles variables son determinantes y cuáles son más influyentes en el cálculo de este.

En concordancia se plantean los siguientes objetivos: *Objetivo General*: Construir un índice para medir la Resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático, aplicado a la ciudad de Medellín. *Objetivos Específicos*: (i) Realizar una taxonomía de índices de resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático y establecer su utilidad. (ii) Identificar los componentes y variables que determinan la Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático. (iii) Construir el índice de resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático para la ciudad de Medellín.

El presente documento está estructurado de la siguiente manera: Inicialmente, se desarrolla un marco teórico donde se presentan los conceptos, antecedentes y las bases teóricas en las que se fundamenta esta investigación. En segundo lugar, se presenta la metodología implementada para la construcción del índice. El tercer capítulo, muestra los pasos para la construcción del IRU. En el capítulo cuatro, se presentan los resultados de la aplicación de la metodología propuesta en el caso de estudio; por último se presentan las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

1. Marco teórico

Con el fin de conceptualizar la resiliencia urbana (RU) y su relación con la variabilidad climática (VC) y el cambio climático (CC), a continuación se presentan los principales términos. Inicialmente se citan las definiciones de clima, variabilidad climática y cambio climático. Adicionalmente, se analiza la definición de resiliencia asociado a contextos urbanos, para lo cual se tiene en cuenta su relación con el riesgo, principalmente climático. Por último, se presentan los índices compuestos como antecedentes en la medición de la resiliencia urbana y se exponen algunos casos de estudio donde se han implementado estas herramientas.

1.1. Variabilidad Climática (VC) y Cambio climático (CC)

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dados, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera) (IDEAM-UNAL, 2018). El clima depende de las condiciones predominantes en la atmósfera, y se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos (IPCC, 2014, p.130).

Las variaciones del clima dependen de la interacción entre los componentes del sistema climático global, Figura 1.; estos componentes regulan el equilibrio entre la radiación solar entrante y la radiación solar saliente que determinan el clima de la Tierra (Blake et al., 2011) que es uno de los factores ambientales que incide en diferentes aspectos del territorio, por lo que, los cambios que se generen en él tienen impacto directo en el ambiente, la sociedad y la economía. Por ello, uno de los principales retos hoy en día es enfrentar las consecuencias de los cambios acelerados del clima.

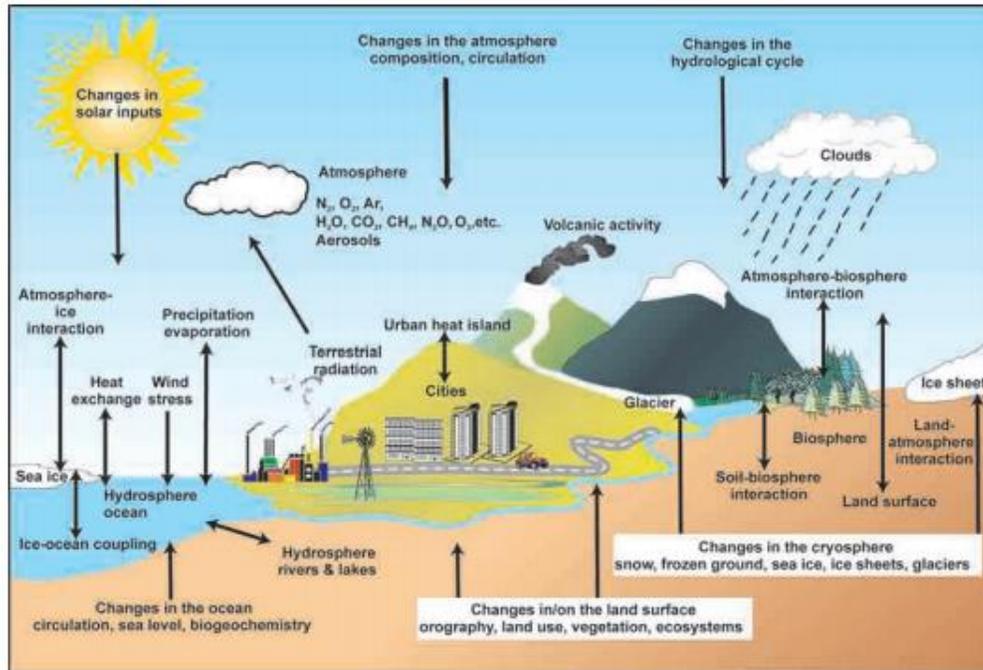


Figura 1: Sistema climático global. Se muestran las muchas interacciones entre los diferentes componentes del sistema climático, incluyendo las ciudades.

Fuente: IPCC, WGI (2007)

La VC se define como las fluctuaciones del clima durante periodos de tiempo relativamente cortos, se mide por las desviaciones estadísticas de una variable meteorológica con relación a su promedio en un mismo periodo de tiempo, diferencia que se denomina “anomalía” (Montealegre, 2009). La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa) (IPCC, 2014, p. 139), y se manifiesta en fenómenos naturales como el evento cálido de El Niño y su contraparte fría, La Niña, conocidos conjuntamente como El Niño Oscilación Sur (ENSO) (Puertas, O. & Carvajal, Y., 2008).

Por su parte, el CC se define como la variación del estado del clima durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos. Se puede evidenciar en el aumento mundial del promedio de la temperatura del aire, del nivel del mar y en los constantes deshielos; su causa se debe tanto a procesos internos naturales como a forzamientos externos, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo (IPCC, 2014, p. 129).

Como lo indica el IPCC, (2014) en su quinto informe, el CC es una realidad y uno de los mayores retos ambientales del planeta. La influencia del CC se observa sobre la variabilidad climática local, lo cual ha generado el aumento de los eventos meteorológicos extremos como lluvias fuertes, tormentas, deslizamientos, olas de calor y escorrentías, que ponen de relieve la vulnerabilidad y exposición de las ciudades a la actual variabilidad climática y representan los principales riesgos para los sistemas urbanos.

La VC y el CC han impactado diferentes territorios, lo cual se evidencia con el incremento de la ocurrencia e intensidad de eventos climáticos extremos que se manifiestan con el aumento de inundaciones, sequías, deslizamientos y pérdida de suelos, entre otros. Estos efectos tienen incidencia, principalmente en las ciudades, donde, la creciente concentración de personas, actividades y recursos han aumentado su vulnerabilidad y exposición a los impactos de esta gran variedad de riesgos climáticos (IPCC, 2014).

Teniendo en cuenta los riesgos a los que se enfrentan las ciudades debido a eventos meteorológicos extremos, se plantea la necesidad de que las ciudades se sobrepongan y mejoren la capacidad de respuesta frente a estas alteraciones que desafían su estabilidad, por lo que la resiliencia aparece como un medio para lograrlo (Renschler et al., 2010).

1.2. Resiliencia Urbana

Resiliencia, del latín del verbo *resilio*, *resilire*, que significa “saltar hacia atrás, rebotar”, es la capacidad de “resistir a” o de “resurgir de” un choque (Davoudi et al., 2012; Davoudi, Brooks, & Mehmood, 2013; Klein, Nicholls, & Thomalla, 2003). El concepto fue definido inicialmente por Holling (1973) desde la perspectiva ecológica como la persistencia de los sistemas y de su capacidad para absorber los cambios y alteraciones y seguir manteniendo las mismas relaciones entre las poblaciones o las variables de estado. El concepto se ha utilizado en otros ámbitos, como la antropología (Vayda y McCay, 1975), la economía (Simmie & Martin, 2010), la modelación de los sistemas complejos de los seres humanos en la naturaleza (Constanza et al., 1993; Adger, 2004; Leichenko, 2011; Pelling, 2011); la resiliencia ecológica urbana (Folke, 2006), la gestión de desastres (Alexander, 2013), e inclusive, la seguridad urbana y resiliencia contra el terrorismo posterior al 11 de septiembre (Jabareen, 2013).

En los últimos años se ha comenzado a utilizar el concepto de resiliencia asociado a las ciudades, en este caso se denomina **resiliencia urbana**. En este contexto se entiende como la manera en que las ciudades hacen frente a las tensiones y perturbaciones causadas por factores externos (Walker, Holling, Carpenter, & Kinzig, 2004); asimismo como: "la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones y reorganizarse mientras se somete al cambio para conservar esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentación" (Leichenko, 2011, p. 1). Según Carpenter, et al. (2001), la resiliencia urbana tiene tres propiedades principales: (1) la cantidad de cambio que un sistema puede sufrir manteniendo los mismos controles de estructura y función; (2) la capacidad del sistema de auto-organizarse; y (3) el grado en que el sistema es capaz de aprender y adaptarse.

Recientemente, la RU se ha estudiado desde tres perspectivas: ecológica, ingeniera y evolutiva o socio ecológica (Dhar & Khirfan, 2017), como se muestra en la *Figura 2*. Desde la perspectiva de la ecología, la resiliencia es la capacidad ambiental y ecológica de una estructura para absorber una perturbación temporal y luego reorganizarse para recuperar completamente su estado anterior (Holling, 1973). Este enfoque resalta el potencial de los sistemas de auto-organizarse, aprender y adaptarse, al tiempo que absorben las perturbaciones y experimentan cambios, además de mantener la misma función, estructura e identidad (Walker, Holling, Carpenter, & Kinzig, 2004); refleja un proceso de "rebote adelante" (Davoudi et al., 2012, 2013) (Shaw, 2012) que apunta hacia los cambios.

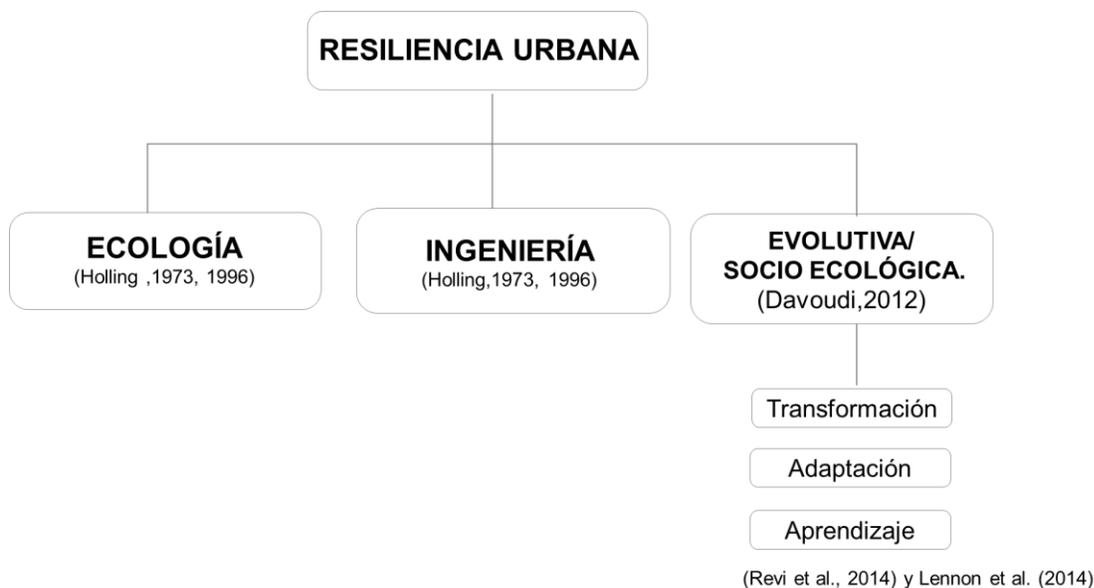


Figura 2: Perspectivas de la Resiliencia Urbana.

La resiliencia, desde la ingeniería, se centra en la resistencia a la perturbación y en la propiedad de un sistema de rebotar de nuevo al estado antes del estrés externo, esta toma un enfoque de “rebote atrás” que hace referencia a la capacidad de un sistema de retornar a un punto de equilibrio o estado inicial (Holling, 1973; Pimm, 1984).

La resiliencia evolutiva o socio ecológica (Davoudi et al., 2012; Gunderson, 2000; Simmie & Martin, 2010; Holling, 2003; Berkes *et al.*, 2003; Folke, 2006; IPCC, 2007; Birkmann, 2011, 2013) desafía las ideas de equilibrio y asume que la naturaleza de un sistema puede cambiar con el tiempo, con o sin perturbación externa. Esta visión parte de la perspectiva evolutiva de Folke (2006) de un sistema socio-ecológico, y en procesos múltiples y siempre cambiantes más que en un solo estado; por lo tanto, lo denominan “*transformar adelante*”. Si bien este enfoque tiene en cuenta lograr el equilibrio, se encamina principalmente en desarrollar la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación de los sistemas cuando se someten a perturbaciones. Bajo esta perspectiva, la resiliencia no se concibe como una vuelta al *status quo*, sino como la capacidad de los sistemas socio-ecológicos para cambiar, adaptarse y transformarse en respuesta a las perturbaciones.

A partir del planteamiento del enfoque socio ecológico, el IPCC, en su quinto informe, acuerda el concepto sobre resiliencia. Por lo tanto, el presente trabajo se basará en esta definición:

“*Resiliencia*: Es la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales para hacer frente a un evento o una tendencia peligrosa, responder o reorganizarse de manera que mantengan su función esencial, identidad y estructura, al mismo tiempo que mantiene la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.” (IPCC, 2014, p.137)

El concepto de resiliencia se ha aplicado a las ciudades en relación con los eventos climáticos extremos ocasionados por la VC y el CC, los cuales son considerados como perturbaciones o choques que afectan las redes urbanas y representan riesgos para los sistemas humanos y naturales (Kim & Lim, 2016; Leichenko, 2011). Las ciudades deben enfrentarse a estos choques externos y desarrollar su capacidad de responder y reorganizarse, preservando su función esencial y manteniendo su capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación, con el fin de reducir los efectos negativos de los fenómenos climáticos (Christiansen, Schaer, Larsen, & Naswa, 2016; Folke, 2006;

Funfgeld, 2013; Gunderson, 2000; Meerow, Newell, & Stults, 2016; Pickett, Cadenasso, & Grove, 2004; Surjan, Sharma, & Shaw, 2008; Wong-Parodi, Fischhoff, & Strauss, 2015).

El concepto de resiliencia urbana ha ganado importancia en los últimos años, debido a la relación que se le ha dado con el desarrollo de ciudades sostenibles (Kim & Lim, 2016). Este proceso implica aprender lecciones de los eventos perturbadores y aplicar enfoques adaptativos y transformadores que conduzcan a la evolución incremental a largo plazo del sistema (Elmqvist, 2014; Matyas y Pelling, 2015; Sharifi y Yamagata, 2016), que contribuyan a la planificación urbana (Cartalis, 2014) y fomenten el desarrollo sostenible de los sistemas urbanos (Kim & Lim, 2016).

- **Relación entre resiliencia urbana y riesgo**

Para comprensión del riesgo y los elementos asociados debido a VC y CC, se relaciona la Figura 3, que representa el marco de análisis de los factores presentes en la generación del riesgo por eventos climáticos. Según lo planteado por el IPCC (2014), los riesgos relacionados con la VC y el CC surgen de la interacción entre las amenazas o peligros relacionadas con el clima y la vulnerabilidad de las sociedades, comunidades o sistemas expuestos.

Las amenazas surgen por la variabilidad natural y el cambio climático antropógeno; la vulnerabilidad y la exposición de las sociedades y los sistemas ecológicos a estas amenazas dependen de las condiciones económicas, sociales, demográficas, culturales, institucionales y de gobernanza. La vulnerabilidad, entonces, se define como la predisposición o propensión de un sistema a ser afectado adversamente por los efectos de la VC y el CC (Füssel, 2007; IPCC, 2014) que generan impactos en la vida, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economía, sociedades, cultura, servicios e infraestructura (IPCC, 2014).

La disminución del riesgo, por ende, el aumento de la resiliencia de las ciudades, se da a través de la reducción de la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales a los posibles impactos adversos de los fenómenos climáticos extremos.

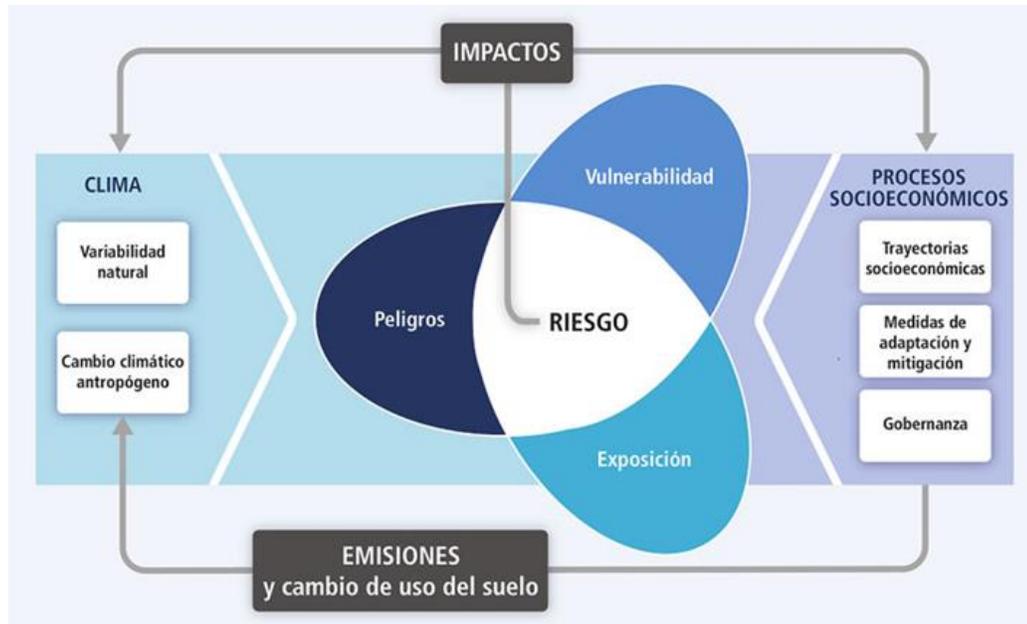


Figura 3: Factores presentes en la generación del riesgo por eventos climáticos.
Fuente: IPCC (2014)

En el marco de análisis de la Figura 3, la resiliencia es entendida como un medio para disminuir la vulnerabilidad de las ciudades a los impactos generados por la VC y el CC. De este modo la resiliencia se encuentra vinculada con la capacidad de adaptación (Funfgeld, 2013; Kim & Lim, 2016; Nelson, Adger, & Brown, 2007; Wong-Parodi et al., 2015), entendiendo esta última como un medio para aumentar la resiliencia y realizar ajustes en función de los impactos del cambio climático (IPCC, 2014).

La capacidad de adaptación de un sistema puede reducir su exposición a la VC y el CC, reduciendo así la vulnerabilidad y mejorando su resiliencia (Adger et al., 2004; Leichenko, 2011); en otras palabras, cuando la capacidad de adaptación es baja, hay mayor vulnerabilidad, por lo tanto habrá riesgo; mientras que si la capacidad de adaptación es alta, habrá resiliencia.

La resiliencia y la vulnerabilidad han sido interpretadas como caras opuestas (Folke et al., 2002; IPCC, 2001; Kasperson & Kasperson, 2001; Gallopin, 2006; Pratt et al., 2004; 2004a; Pelling, 2011; Malone, 2009), esta idea parte de la aceptación de que la vulnerabilidad y la resiliencia son inversamente proporcionales (Figura 4), es decir que cuando un sistema

pierde resiliencia se vuelve más vulnerable, mientras que si aumenta su resiliencia disminuye su vulnerabilidad y a su vez el riesgo.

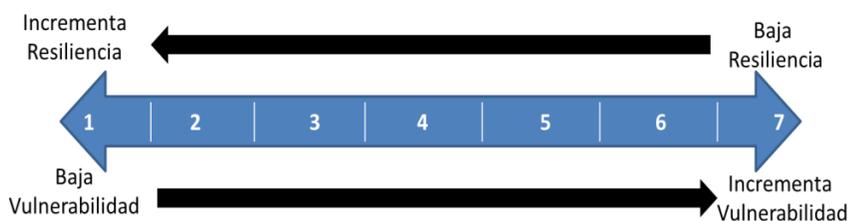


Figura 4. Relación entre vulnerabilidad y resiliencia (adaptado de: Pratt et al., 2004).

Incrementar la resiliencia se ha convertido en un componente importante para la adaptación al clima (Davoudi et al., 2013). Los objetivos cada vez más comunes de las actividades que abordan asuntos climáticos son aumentar la resiliencia, disminuir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad adaptativa. Estos tres conceptos no son intercambiables, pero todos ellos se refieren a factores que permiten a los sistemas anticipar, evitar, planificar, asumir y superar, recuperarse y adaptarse a los impactos relacionados con la variabilidad climática (Jabareen, 2013). Por ello, existe la necesidad de construir nuevas herramientas y planteamientos que den poder a los gobiernos locales y a los ciudadanos, con el fin de incrementar su capacidad para afrontar las situaciones cambiantes que se producen tanto en el entorno físico como en el entorno socioeconómico.

1.3. Antecedentes en la medición de la Resiliencia Urbana.

Teniendo en cuenta la importancia de la RU para analizar, entre otras problemáticas, los fenómenos asociados al CC y la VC, se han desarrollado herramientas de medición y evaluación que capturan la complejidad del concepto de resiliencia urbana y lo hacen más tangible para el público y los responsables de las políticas (Cutter, 2015; Fox-Lent, Bates, & Linkov, 2015, Sharifi, 2016, Sharifi & Yamagata, 2016).

La medición y evaluación de la RU pueden ayudar a las comunidades a identificar sus deficiencias y desarrollar planes de acción para abordarlas; además, al entender cómo se encuentran en términos de resiliencia, pueden proporcionar evidencia necesaria para

tomar decisiones sobre estrategias de intervención (Pringle, 2011; Turner et al., 2014). En este sentido, la medición y la evaluación de la resiliencia mediante el desarrollo de índices compuestos se plantea como una estrategia para la integración de esta en los procesos de gestión de las ciudades.

- **Índices Compuestos**

Un índice compuesto es una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un conjunto de índices o indicadores simples (unidimensional) con base en un modelo conceptual subyacente (Krishnamurthy, Lewis, & Choularton, 2014; Schuschny & Soto, 2009). Se construye como función de dos o más variables o indicadores individuales que se pueden seleccionar, organizar y combinar para producir subíndices que van a representar los principales componentes o dimensiones del sistema. (USAID, 2014; Schuschny & Soto, 2009). Los índices se basan principalmente en datos cuantitativos para generar un valor de índice agregado (Cutter, 2016) que resuma las características de un sistema.

Entre las principales ventajas del uso de los índices compuestos está que integran y resumen diferentes dimensiones de un tema. Por eso, permiten disponer de una “*imagen de contexto*” y son fáciles de interpretar por su capacidad de síntesis al reducir el tamaño de la lista de indicadores a tratar en el análisis (Schuschny & Soto, 2009; Bohórquez, 2013).

La construcción de un índice compuesto requiere de dos condiciones básicas: *i)* la definición clara del atributo que se desea medir y *ii)* la existencia de información confiable para poder realizar la medición. Estas condiciones son indispensables; la satisfacción de la primera condición dará al índice compuesto un sustento conceptual, mientras que la segunda le otorgará validez (Schuschny & Soto, 2009; Bohórquez, 2013).

• Índices Compuestos y Resiliencia Urbana

Para medir la RU se han construido diversos índices compuestos que permiten abordar la naturaleza multivariada y compleja de los sistemas socio ecológicos, abarcando aspectos sociales, económicos, ambientales, físicos e institucionales (Angeon & Bates, 2015; Cumming et al., 2005; Cutter, 2015; D'Lima & Medda, 2015; Engle et al., 2014; Kotzee & Reyers, 2016; R. Shaw, 2015; Tyler et al., 2016; Tyler & Moench, 2012; Xu & Xue, 2017). Estos índices han sido aplicados en diferentes ciudades, observando que en cada caso se han realizado modificaciones que responden a las características propias de cada lugar (Suárez et al., 2016).

No existe un índice general para medir la resiliencia urbana, pues esta depende, en gran medida, de las condiciones asociadas a la vulnerabilidad y al contexto local (Brenkert & Malone, 2005), y la vulnerabilidad se evalúa de acuerdo a la región geográfica, los límites políticos, escenarios climáticos y condiciones socio-económicas de cada lugar (Harley, M., Horrocks, L., Hodgson, N., & Van Minnen, 2008), excepto por rarezas no hay dos comunidades que tengan condiciones idénticas. Siguiendo a Cutter (2015): "No existe una herramienta de talla única para medir la resiliencia debido a la variedad de actores, entornos, propósitos y disciplinas involucradas. El panorama de los indicadores de resiliencia es tan diverso como los sistemas, las comunidades o los desastres que se estudian". (p.3). Por lo tanto, las herramientas para medir la resiliencia urbana se deben desarrollar de manera que permitan singularizar las necesidades específicas de los territorios (Sharifi, 2016). La resiliencia varía de acuerdo a diferentes componentes sociales, ambientales, económicos, físicos e institucionales que caracterizan cada ciudad. Si bien, el proceso metodológico para la construcción del índice compuesto se puede adoptar y aplicar a otros lugares, los índices construidos deben responder a las particularidades de las ciudades en las cuales se aplicará.

Para el proceso de construcción del índice se inicia con un referenciamiento bibliográfico sobre las diferentes aplicaciones, como se muestra en la Tabla 1. En esta se relacionan los índices de resiliencia urbana encontrados en la literatura, a partir de los cuales se plantea el índice de resiliencia urbana - IRU frente a la VC y el CC para a la ciudad de Medellín.

Tabla 1: índices de resiliencia urbana encontrados en la literatura

Año	Estudio	Referencia	Lugar de Aplicación	Contexto	Tipo de riesgo
2008	Climate change Vulnerability and Resilience: Current Status and Trends for Mexico. U.S	Ibarrarán, M.E., E.L. Malone and A.L. Brenkert, 2008	México	Integra indicadores de resiliencia y vulnerabilidad en el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad y Resiliencia (VRIM), que se enfoca en la sensibilidad y la capacidad de adaptación.	Cambio climático
2010	Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions.	Cutter, Burton, & Emrich, 2010	Estados Unidos	Proporciona una metodología y un conjunto de indicadores para medir las características básicas de las comunidades que fomentan la resiliencia frente a los desastres.	Cambio climático
2013	Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam, The Netherlands	Lu & Stead, 2013	Rotterdam, Países Bajos.	Se propuso un marco de evaluación cualitativa para la resiliencia, compuesto de seis atributos, para la planificación y gestión frente al riesgo de inundación.	Inundaciones
2014	DRRC: Baseline Indicators for Monitoring Disaster Resilience in Rural Places	Cutter, et al., 2014	Estados Unidos	Proporciona un conjunto de indicadores de línea de base cuantitativos para medir la resiliencia ante desastres.	Desastres naturales
2015	City Resilience Index	The Rockefeller Foundation & ARUP, 2015	Global	Formula un índice compuesto para medir la resiliencia urbana, compuesto por 4 dimensiones y 52 indicadores.	Cambio climático y riesgo de desastres
2015	The landscape of disaster resilience indicators in the USA	Cutter, 2015	Estados Unidos	Está enfocado en gestión de riesgo de desastres.	Desastres naturales

Año	Estudio	Referencia	Lugar de Aplicación	Contexto	Tipo de riesgo
2015	An integrated framework for urban resilience to climate change – Case study: Sea level rise impacts on the Nile Delta coastal urban areas	Abdrabo & Hassaan, 2015	Egipto - zona costera del Delta del Nilo que alberga 18 centros urbanos ubicados en seis diferentes gobernaciones	El estudio fue realizado en una zona costera, teniendo en cuenta características propias de la zona.	Cambio climático - Incremento del nivel del mar
2016	Indicators of urban climate resilience: A contextual approach	Tyler et al., 2016	Gorakhpur, India Bandar Lampung, Indonesia. Semarang, Indonesia Chiang Rai, Thailand Hat Yai, Thailand Can Tho, Vietnam Da Nang, Vietnam Quy Nhon, Vietnam	Aplicado en ocho ciudades asiáticas para desarrollar indicadores para la planificación y el monitoreo de la resiliencia al clima local.	Cambio climático
2016	Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach	Kotzee & Reyers, 2016	Sudáfrica	El estudio fue realizado para determinar la resiliencia específicamente frente a las inundaciones.	Inundaciones
2016	Towards an Urban Resilience Index: A Case Study in 50 Spanish Cities	Suárez, Gómez-Baggethun, Benayas, & Tilbury, 2016	España	Aplicado a 50 ciudades de España, se ajustaron las variables teniendo en cuenta las características geográficas, escenarios climáticos y condiciones socio-económicas de la población.	Cambio climático

Año	Estudio	Referencia	Lugar de Aplicación	Contexto	Tipo de riesgo
2016	The Australian natural disaster resilience index	Parsons et al., 2016	Australia	Se construye el Índice Australiano de Resiliencia ante Desastres Naturales como una herramienta para evaluar la resistencia de las comunidades a los peligros naturales a gran escala.	Desastres naturales
2016	A Framework for Defining and Measuring Resilience at the Community Scale: The PEOPLES Resilience Framework	Cimellaro, Renschler, Reinhorn, & Arendt, 2016	Estados Unidos	Proporciona la base para el desarrollo de modelos cuantitativos y cualitativos que miden continuamente la funcionalidad y la resiliencia de las comunidades contra eventos extremos o desastres.	Cambio climático y desastres naturales
2017	The FEW-Nexus city index – Measuring urban resilience	Holger Schlör, Sandra Venghaus, 2016	22 ciudades en Europa 7 ciudades en América 18 ciudades en Asia 20 ciudades en África	Se enfoca en la resiliencia frente a la provisión de alimentos, energía y agua (FEW por sus siglas en inglés).	Seguridad alimentaria. Escases del agua.
2017	Alternative Resilience Indices for City Ecosystems Subjected to Natural Hazards	Bozza, Asprone, Parisi, & Manfredi, 2017	Sarno, Italia	Se propone un sistema de indicadores para evaluar la resiliencia de la ciudad frente a escenarios sísmicos y de deslizamientos.	Eventos sísmicos

Tras una revisión de las herramientas expuestas en la Tabla 1, se observa que la medición de la RU ha tenido como objetivo identificar las características físicas, ambientales, económicas, institucionales y sociales de las ciudades que disminuyen su nivel de riesgo. Las herramientas existentes han logrado un éxito considerable en la evaluación de resiliencia, promoviendo la investigación para proporcionar a las comunidades vías de desarrollo más resilientes. Asimismo, se observa que cada índice responde a unas necesidades particulares locales, y no se observa un análisis para la construcción de índices genéricos. Esto nos muestra que la construcción de un índice para el caso de

estudio – Medellín – requiere de un análisis de las condiciones particulares y locales de la ciudad.

Se han usado diferentes metodologías de aproximación, donde la medición de la RU se ha realizado principalmente con índices de resiliencia basados en la agregación ponderada de un conjunto de varios indicadores; de manera que el resultado es un valor único para cada entidad de estudio (Suárez et al., 2016). Estos índices usan el promedio ponderado o la suma (ponderada) de los puntajes obtenidos para todos los criterios en la herramienta de evaluación. Por lo tanto, los índices se basan principalmente en datos cuantitativos para generar un valor de índice agregado (Cutter, 2016).

Estas herramientas han sido aplicadas a casos específicos, con dificultades para su aplicación universal (Suárez et al., 2016); lo anterior, debido a que, como se indicó anteriormente, la resiliencia depende de las características locales asociadas a la vulnerabilidad (Brenkert & Malone, 2005). El uso y aplicación de índices requiere una perspectiva propia para cada territorio, por lo que la medición de la RU se realiza en el contexto de un lugar en particular, singularizando sus necesidades específicas (Asadzadeh et al, 2017; Harley, M., Horrocks, L., Hodgson, N., & Van Minnen, 2008; Sharifi, 2016). Así, teniendo en cuenta que los índices construidos deben responder a las particularidades de las ciudades en las cuales se aplicará, para el cálculo del IRU en la ciudad de Medellín, se tuvo en cuenta el proceso metodológico empleado en los casos de estudio analizados pero no las variables en su totalidad.

Analizando estas herramientas, se identificaron cinco dimensiones comunes, dimensión social, ambiental, económica, física e institucional (Engle et al., 2014; Nguyen, Bonetti, Rogers, & Woodroffe, 2016; Tyler et al., 2016; Xu & Xue, 2017), las cuales fueron consideradas en esta investigación. Asimismo, se usaron como base aquellas herramientas que se enfocaban en el cambio climático como tipo de riesgo frente al que se medía la resiliencia, como guía para la selección de las variables; descartando aquellas que no aplicaban para Medellín, por ejemplo, las relacionadas con zonas costeras, y aquellas que se enfocan en riesgos climáticos que no se dan en la ciudad, como huracanes, tsunamis y riesgo de sequía, ya que Medellín se enfrenta principalmente a riesgos originados por eventos hidrometeorológicos extremos como los movimientos en masa y las avenidas torrenciales. De igual forma, siguiendo a Cutter, et al (2010), se tuvieron en cuenta aquellas variables con disponibilidad de información.

2. Metodología

Para lograr los objetivos propuestos en esta investigación, el IRU se construirá en tres fases como se plantea en la Figura 5. La primera consiste en la construcción del marco conceptual y la pre-identificación de las variables y dimensiones a utilizar en la construcción del índice de resiliencia urbana. En la segunda fase se realiza la recopilación de información para cada variable y construcción del índice. La tercera etapa consiste en la estimación del Índice de resiliencia urbana - IRU para la ciudad de Medellín. En la metodología aplicada se toman tanto aportes de la literatura como aportes propios. A continuación, se presentan en forma detallada cada una de las fases mencionadas.

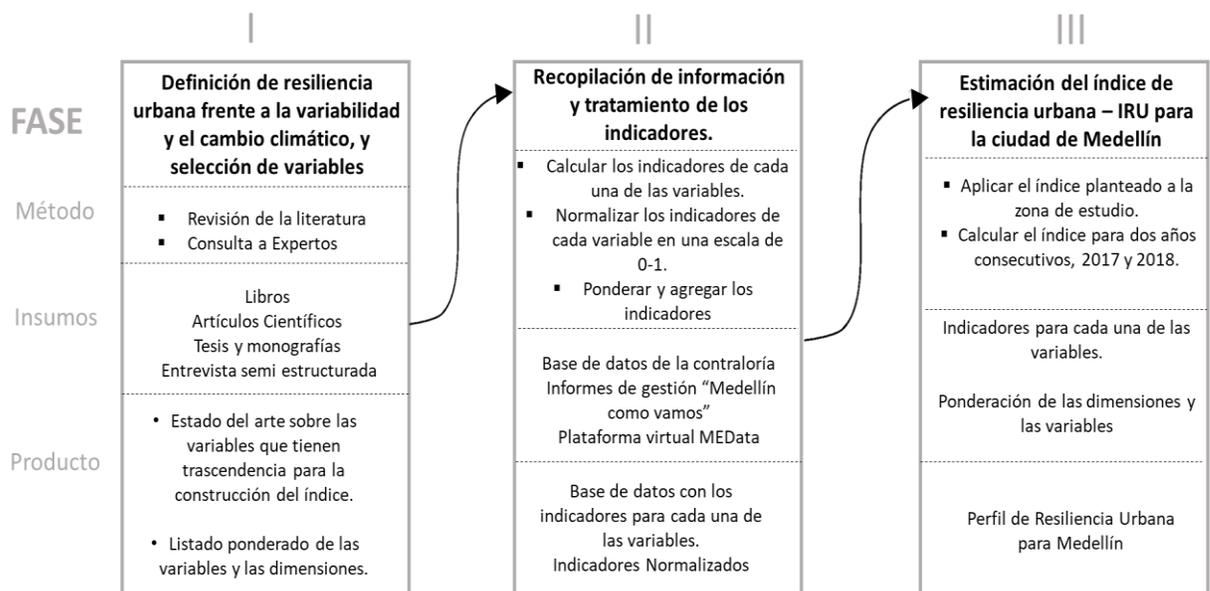


Figura 5: Metodología empleada para la construcción del índice de Resiliencia Urbana (IRU)

2.1 Fase I: Definición de resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático, y selección de variables.

Esta fase consiste en la construcción del marco conceptual y la pre-identificación de las dimensiones y variables a utilizar en la construcción del índice de Resiliencia Urbana – IRU. Consta de dos momentos:

1. Revisión de bibliografía para analizar las dimensiones y las variables pre-identificadas y realizar un filtro de acuerdo al marco conceptual desarrollado.

Para seleccionar las dimensiones y las variables, primero se identificarán los factores clave para la resiliencia urbana. Para ello, se realizará una revisión de: trabajos de referencia sobre resiliencia socio ecológica; literatura sobre resiliencia urbana en contexto de variabilidad y cambio climático; estudios de caso y revisiones de las variables de resiliencia específicas.

La selección de éstas variables se realizará en función de la disponibilidad pública de los datos (Schuschny & Soto, 2009), y teniendo en cuenta los siguientes criterios, sugeridos por la OCDE (2003):

- Pertinencia política y utilidad para los usuarios:
 - *Simple*: debe ser fácil de interpretar.
 - *Pertinente*: debe guardar correspondencia con los objetivos y la naturaleza de la unidad de información y con las condiciones del contexto.
 - *Relevante*: debe servir efectivamente a la unidad de información para la toma de decisiones tanto espacial como temporalmente.
 - *Eficaz*: debe ser exacto al expresar el fenómeno de análisis.
- Medibles:
 - *Sensible*: capaz de reflejar los cambios temporales de la variable.
 - *Disponibilidad de datos*: debe basarse en la disponibilidad de datos públicos en aras de fortalecer la transparencia de los resultados.

- Solidez analítica:
 - *Validez*: deben reflejar y medir los efectos y resultados de la variable de estudio.
 - *Reproducible*: las mediciones que se hagan por diferentes personas deben arrojar los mismos resultados.
2. Posteriormente, con base en las dimensiones y variables pre identificadas a partir de la literatura, se realiza la consulta a expertos, con el fin de determinar la importancia y contribución de cada una de las variables a la medición de resiliencia urbana.

La consulta a expertos es un método que permite validar cuestionarios y ponderaciones con la opinión experta en diversos ámbitos de conocimiento (Blasco et al., 2010). Un experto, es una persona cuya formación y experiencia previa le ha permitido alcanzar un dominio sobre un tema en particular, y está en disposición de exponer sus opiniones sobre dicho tema para que sean utilizadas como juicios decisivos, por lo tanto sus opiniones pueden ser consideradas como criterios certeros por quien se los solicita (García et al., 2013).

La recolección de la información se realiza a través del método de entrevista semiestructurada, que se define como una interacción comunicativa, organizada y desarrollada de forma deliberada entre dos personas que desempeñan unos roles diferenciados de entrevistador y entrevistado, con unos objetivos específicos (Noguera, 1998). Este método, permite alternar preguntas estructuradas, a partir de un instrumento prediseñado, con preguntas espontáneas, con el fin de conocer la apreciación individual de cada uno de los expertos sobre el tema. Esta forma es más completa ya que, mientras la parte estructurada de la encuesta permite comparar entre los diferentes expertos, la parte libre permite profundizar en características específicas. Por ello, permite una mayor libertad y flexibilidad en la obtención de información.

El cuestionario para los expertos se diseña de manera que sea entendible y fácil de diligenciar, además que permita reflejar la opinión de cada entrevistado. Las dimensiones y variables iniciales se recopilan de la literatura y permite que cada experto modifique el listado eliminado o incluyendo nuevas variables de acuerdo a su criterio.

En esta fase se espera obtener un listado ponderado de las variables y las dimensiones que los expertos consideren son relevantes en la determinación de la resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático, y que son la base para la construcción del índice.

2.2 Fase II: Recopilación de información y tratamiento de los indicadores.

Una vez concluida la fase I, a través de la obtención de las variables y dimensiones que compondrán el índice, y el análisis de expertos, se deben realizar los siguientes pasos:

- a) Calcular los indicadores de cada una de las variables: Para el cálculo se emplean las bases de datos de entidades gubernamentales, así como informes de gestión y plataformas virtuales que cuentan con información sobre las variables seleccionadas para el índice.
- b) Normalizar los indicadores de cada variable en una escala de 0-1: Siguiendo la metodología planteada por Abdrabo & Hassaan, (2015) y Schuschny & Soto, (2009) para la construcción de índices compuestos; es necesario normalizar las variables identificadas previamente, las cuales estarán medidas en distintas escalas, con el fin de que puedan ser agregadas de manera comparable.

La normalización de variables se realiza según la metodología de normalización $X_{min}-X_{max}$; esta técnica es una de las más utilizadas en la construcción de índices compuestos sociales y económicos (Morris, 1982; Zárate Martín, 1988; PNUD, 1990-2011; Velázquez y Gómez Lende, 2005; Velázquez, 2008) así como en trabajos de índices de resiliencia urbana (Angeon & Bates, 2015).

Para la normalización de las variables, se calcula lo siguiente:

$$Z_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde;

i Variable a normalizar

Z_i Valor normalizado de la variable (entre 0 y 1)

X_i Valor de la variable

X_{min} Valor Mínimo de la Variable

$X_{máx}$ Valor máximo de la variable

Para las variables en las que un mayor valor significa un desempeño peor, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Z_i = 1 - \frac{x_i - x_{max}}{x_{max} - x_{min}} \quad \text{Ecuación 2}$$

El cálculo utiliza los valores máximos (x_{max}) y mínimos (x_{min}) de los indicadores; como para el caso de estudio solo se cuenta con el valor del indicador para el año de la medición, para la definición de los valores límite, en este caso el valor máximo, se empleará la metodología *goal programming* utilizada en análisis multicriterio, donde los valores meta están dados por objetivos o niveles deseables establecidos por expertos (Díaz y Romero, 2004). Para este caso, se tomarán los valores meta para los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que la ciudad estableció a 2030.

- c) Ponderar y agregar los indicadores: En la consulta a expertos, cada uno de ellos asigna un peso a cada dimensión y a las variables en cada una de ellas. Con estos pesos, y una vez calculados los indicadores de cada variable, se procede a conformar los subíndices que hacen parte del IRU. Finalmente, estos sub índices son ponderados e integrados en el índice de resiliencia urbana – IRU.

2.3 Fase III: Estimación del índice de resiliencia urbana – IRU para la ciudad de Medellín.

Para medir la resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático de la ciudad de Medellín se aplica el índice planteado, este permitirá establecer el perfil de resiliencia de la ciudad.

El índice de resiliencia urbana – IRU será calculado para dos años consecutivos, 2017 y 2018, con el fin de evidenciar su cambio y realizar un análisis sobre las causas de esta variación.

3. Construcción del Índice de Resiliencia Urbana

Con la metodología planteada en el capítulo anterior se procede a la construcción de un índice para medir la resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático, aplicado a la ciudad de Medellín. Se inicia con la descripción de la zona de estudio, seguido del cálculo de los indicadores y su normalización.

3.1 Caracterización de la zona de estudio.

El caso de estudio para la aplicación del IRU es la ciudad de Medellín, esta hace parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA, la cual está conformada por nueve municipios más: Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa.

Medellín es una de las ciudades principales del AMVA y la segunda ciudad más poblada de Colombia. A su vez, según la tercera comunicación nacional de cambio climático (IDEAM, 2017) que plantea riesgos por CC para los municipios de Colombia, Medellín se encuentra clasificada en riesgo "Medio", lo que indica que puede verse fuertemente afectada por los fenómenos asociados a la VC y el CC, como el aumento de la temperatura y el aumento de las precipitaciones. Esta clasificación se refleja en el número de registros asociados a eventos hidrometeorológicos extremos como movimientos en masa y avenidas torrenciales en Colombia, para los cuales la ciudad de Medellín ha registrado un alto número de sucesos (Aristizabal & Gómez, 2007).

Como se mencionó anteriormente, no existe un índice de resiliencia urbana que sea aplicable universalmente, ya que los índices deben responder a las condiciones locales y particulares de cada territorio. Por ello, teniendo en cuenta los riesgos climáticos a los que

se enfrenta la ciudad de Medellín, se eligió ésta como zona de estudio. Adicional a lo anterior, se tuvo en cuenta la disponibilidad de la información, pues como se menciona en la fase I de la metodología planteada para la investigación, la selección de las variables se debe realizar en función de la disponibilidad pública de los datos (Schuschny & Soto, 2009). Para este caso, con base en las variables seleccionadas inicialmente para la conformación del índice de resiliencia urbana, se dispuso de las fuentes de información públicas con que cuenta la ciudad de Medellín para el cálculo de las variables. Se espera que un futuro se cuente con esta información para el AMVA y sea posible el cálculo del IRU para toda la zona. Dado que inicialmente no se tiene toda la información del área metropolitana, es decir, no se cuenta con los datos para todas las variables, en especial las relacionadas con la dimensión física e institucional, el cálculo del IRU no sería consistente.

Se presenta la aplicación del IRU a la ciudad de Medellín como un primer acercamiento del índice y la validación de su utilidad. Sin embargo, para trabajos futuros, se propone la integración del índice para los 10 municipios del AMVA. A continuación se describe la zona de estudio, mencionando los aspectos que permiten comprender sus condiciones climáticas, así como la caracterización y los efectos de la variabilidad y el cambio climático en la región.

3.1.1 Localización

Medellín es la segunda ciudad más importante en Colombia y capital del Departamento de Antioquia. Su temperatura promedio es de 22°C y está ubicada a 1.475 metros sobre el nivel del mar; cuenta con una extensión de 105 kilómetros cuadrados de suelo urbano, 270 de suelo rural y 5,2 de suelo para expansión.

Hace parte de la región metropolitana del Valle de Aburrá que está constituida por otros nueve municipios: Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa. La conformación del Valle de Aburrá es el resultado de la unidad geográfica determinada por la cuenca del río Aburrá (más conocido como río Medellín), principal corriente hídrica que recorre el Valle de sur a norte y está enmarcado por una topografía irregular y pendiente que oscila entre 1300 y 2800 metros sobre el nivel del mar (Figura 6).

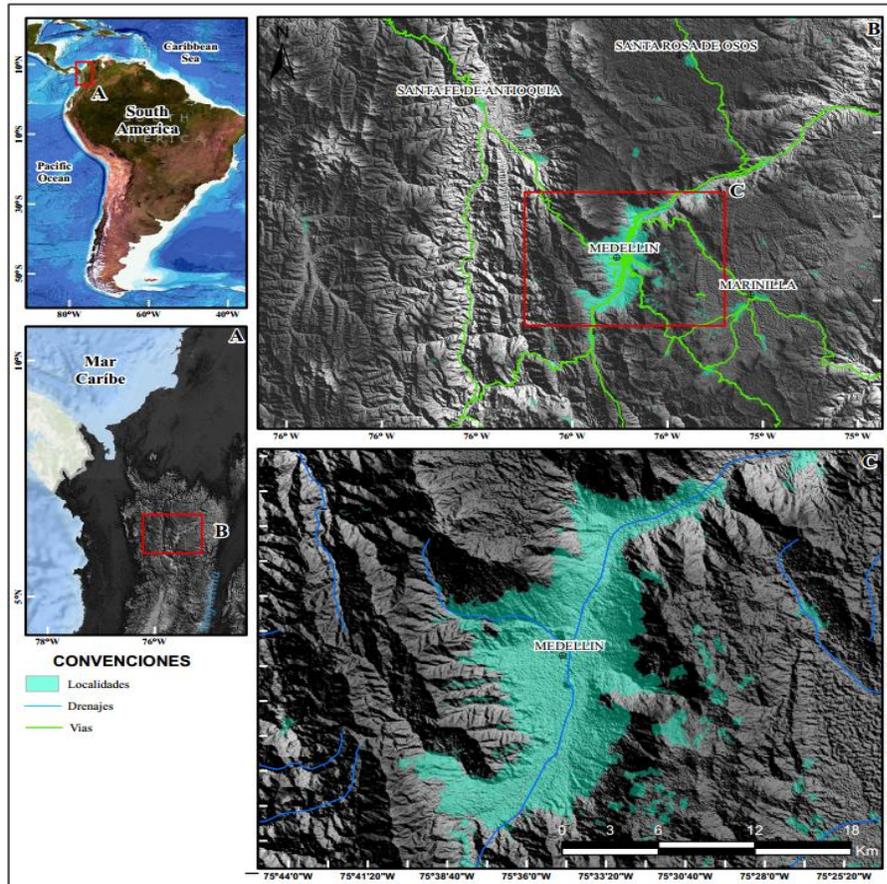


Figura 6: Mapa de la zona de estudio.

Adicionalmente, el Valle de Aburrá corresponde a una subregión de Antioquia que concentra el 59% (3.3 millones de habitantes) de la población departamental en tan solo 1,8% del territorio departamental, de los 10 municipios que lo conforman el 95% de la población es urbana y se localiza en el 26% del territorio. Los municipios más densamente poblados son Medellín (2.2 millones), Bello (372.000) e Itagüí (230.000) (DANE, 2005).

Como se mencionó anteriormente, de los diez municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA, Medellín es el más urbanizado, está dividido en 6 zonas, 16 comunas y 269 barrios (Figura 7). A medida que estos crecen, los núcleos urbanos se confunden, ocasionando con su fusión el fenómeno conocido con el nombre de conurbación (Restrepo, 2007). Actualmente la expansión urbana continúa hacia las laderas del Valle, alcanzando en algunos sectores los filos y las divisorias de aguas.

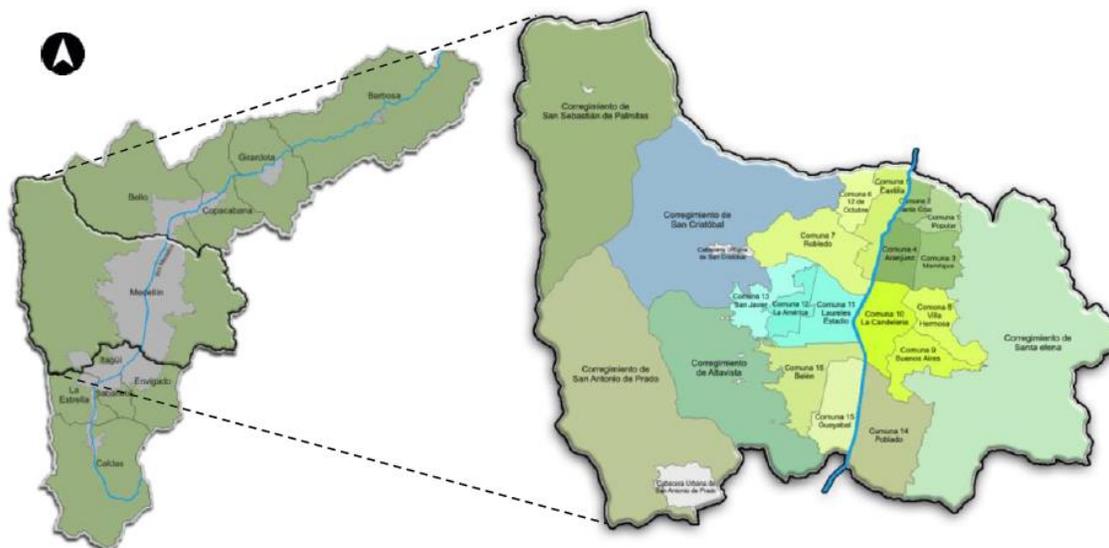


Figura 7: Municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). Comunas y corregimientos de la ciudad de Medellín.

Fuente: Herrera Hurtado, M. A. (2019).

Lo anteriormente descrito presenta al Valle de Aburrá, y para este caso a la ciudad de Medellín, como un escenario altamente vulnerable a sufrir afectaciones por movimientos en masa y avenidas torrenciales, debido a sus condiciones geomorfológicas y a la creciente y acelerada ocupación urbana de terrenos susceptibles (Aristizabal & Yokota, 2008).

3.1.2 Condiciones climáticas: Variabilidad y Cambio Climático en Medellín.

La VC en Colombia está determinada por varios factores como la localización del país en la franja tropical, la cual lo expone, no solo a una mayor cantidad de radiación solar, sino también a la influencia de los Océanos Pacífico y Atlántico que lo rodean y modulan la entrada de humedad a la región. Las condiciones climáticas impuestas por la localización del país se intensifican debido a las condiciones topográficas y geomorfológicas que representan los tres ramales de la Cordillera de los Andes, los cuales inducen la formación de microclimas complejos dominados por la presencia de lluvias orográficas (Zuluaga &

Houze, 2015); a su vez, la cercanía de la selva Amazónica y la cuenca del Orinoco ocasionan dinámicas hidroclimáticas propias (Poveda et al., 2006). Adicional a la variabilidad natural, el país también enfrenta retos asociados al cambio climático de origen antrópico, el cual se refiere a variaciones del estado medio de largo plazo de las características climáticas en un periodo extendido como resultado de la actividad humana. Aunque el país no tiene estaciones, cuenta con zonas climáticas muy diferentes según la temperatura y la humedad relativa, siendo cuatro las más representativas: frío / templado / caliente seca / caliente húmedo., Medellín se encuentra clasificado en la zona climática “templado”.

Medellín se localiza en la latitud $6^{\circ} .2' N$ y longitud $75^{\circ} .3' W.$, debido a su localización tropical, el clima está influenciado por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), el fenómeno ENSO, las ondas tropicales del este, los frentes originados en latitudes medias, las corrientes de chorro, los vientos alisios y centros de alta presión, entre otros (Flórez, Jiménez, & Ochoa, 2016). El paso de la ZCIT en el país genera dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas, siendo los meses de enero-febrero y junio-julio los más secos del año y los picos máximos de lluvia se dan entre los meses de abril-mayo y octubre-noviembre.

El comportamiento de la temperatura en Medellín, a lo largo de un año típico, es tipo bimodal, Figura 8, es decir, que se presentan dos períodos de altas y dos de bajas temperaturas medias; siendo el primero entre enero y marzo, con un máximo en cualquiera de esos dos meses y el segundo, más definido que el anterior, entre julio y septiembre, con máximo generalmente en agosto. De los valores de temperatura registrados se tiene como en 2018 se presentó el primer pico de máxima temperatura media mensual en marzo con $23,3^{\circ}C$ y el segundo en agosto con $23,2^{\circ}C$, estando ambos por encima de los valores máximos de la curva de la normal climática 1981–2010.

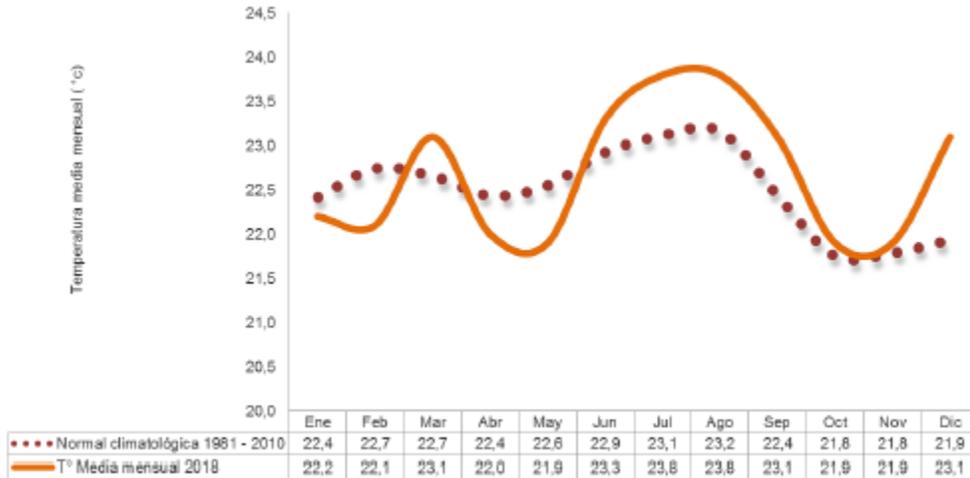


Figura 8: Comportamiento de la temperatura promedio mensual en 2018 frente a la temperatura típica mensual período 1981-2010 (Normal climatológica).
Fuente:(Contraloría General de Medellín, 2019)

En cuanto al comportamiento de las precipitaciones en la ciudad, a lo largo de 2018, los meses con máximas y mínimas precipitaciones mensuales se distribuyeron así: con mínimos en febrero (108,7mm), agosto (77,4mm) y diciembre (13,7mm); y los máximos en mayo (356,9mm) y octubre (282,2mm). Según el comportamiento de la normal climática, serie 1981–2010, un año típico para la ciudad de Medellín, presenta dos períodos con picos máximos en mayo y octubre y con períodos mínimos en enero, julio y diciembre.

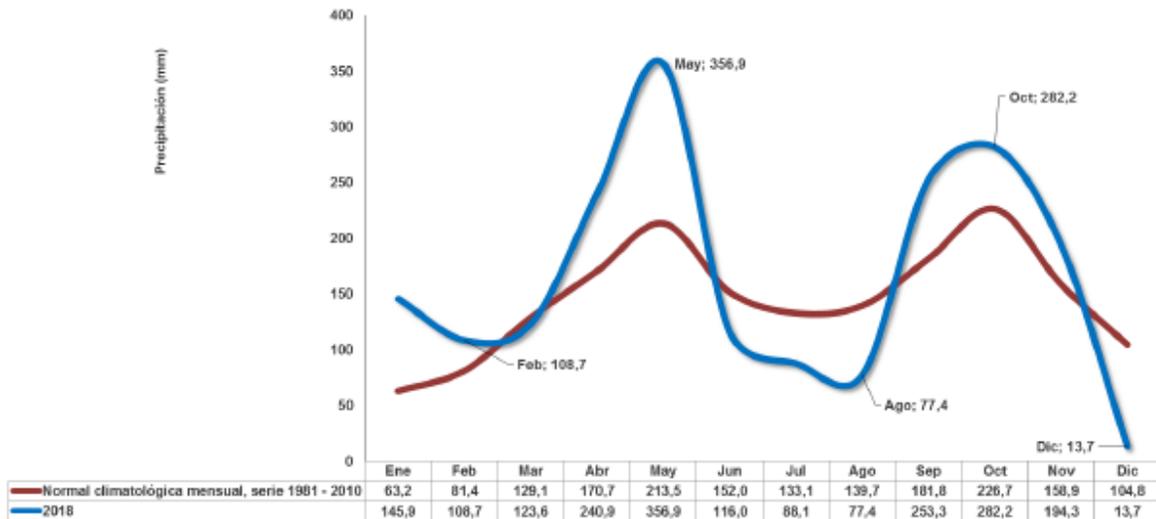


Figura 9: Comportamiento de la precipitación acumulada mensual en 2018, frente a la precipitación típica mensual, período 1981-2010 (Normal climatológica).
Fuente:(Contraloría General de Medellín, 2019)

Las anomalías globales de la temperatura y precipitación tanto a nivel mundial como regional, generadas por el CC, pueden ocasionar que los efectos de la VC tengan un mayor impacto en los territorios (IDEAM, 2015).

La VC se manifiesta en fenómenos naturales como el evento cálido de El Niño y su contraparte fría, La Niña, conocidos conjuntamente como El Niño Oscilación Sur (ENSO) (Puertas, O. & Carvajal, Y., 2008). Este fenómeno afecta de diversas formas la actividad humana, produciendo impactos sociales, económicos y ambientales de grandes proporciones, principalmente en las poblaciones de bajos recursos que las convierten en las más vulnerables (Montealegre & Pabón 2000). Adicional a la variabilidad natural, también se enfrentan retos asociadas al cambio climático de origen antrópico, dicho cambio exacerba las condiciones extremas aumentando aún más la variabilidad hidrometeorológica.

Los estudios de cambio climático en Colombia se desarrollan principalmente con las Comunicaciones Nacionales de Cambio Climático de IDEAM, en las que se estudian las variables de temperatura y precipitación. Al respecto, los nuevos escenarios de cambio climático que presentó el IDEAM en 2017, indican que el país en su conjunto estaría afectado por el CC; sin embargo, el aumento esperado en la temperatura, así como el comportamiento de las precipitaciones no será el mismo para todas las regiones de Colombia (Figura 10). Esto implica que las medidas para hacer frente a posibles fenómenos extremos deben ser diferentes para cada región del territorio nacional.

Estos escenarios sugieren que el comportamiento del clima a futuro será de la siguiente manera: en el país, entre 1971 y 2015, la temperatura media anual ha aumentado en 0.8°C, situando la temperatura media anual en 22.4°C. A 2040 se espera que la temperatura aumente 0.9°C, a 2070 en 1.6°C y a final del siglo, 2.4°C. De esta forma, bajo los escenarios proyectados, Colombia podría presentar una temperatura promedio de 24,8°C para el año 2100 (IDEAM 2015). Respecto a las precipitaciones, entre 2011-2040, se esperaría que disminuyan de 10 a 40% en cerca del 32% del país; entre 2041-2070, de 10 a 40% en cerca del 29,6% del país, y entre 2071-2100, 10 a 40% en cerca del 30% del país. Para Antioquia se estima que para fin de siglo, el departamento en promedio pueda aumentar hasta 2,2°C; y en los siguientes 25 años (2011-2040) podrá aumentar la temperatura en promedio en 0,8°C. En cuanto a las precipitaciones, en Antioquia podrán aumentar en un 9,3% con respecto al valor actual para fin de siglo.

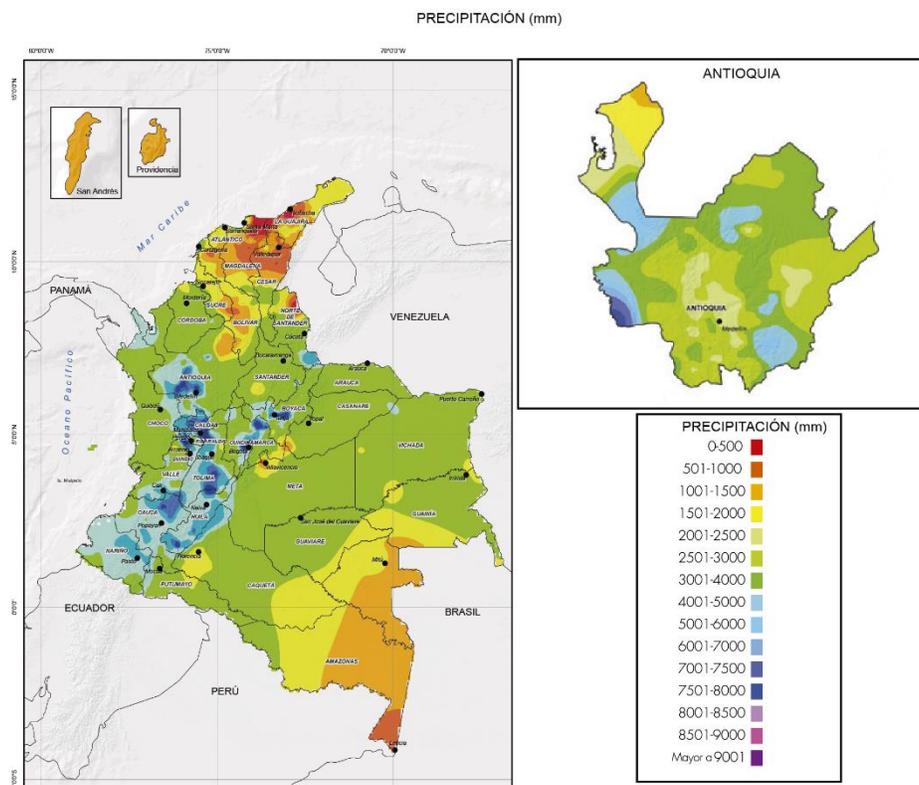
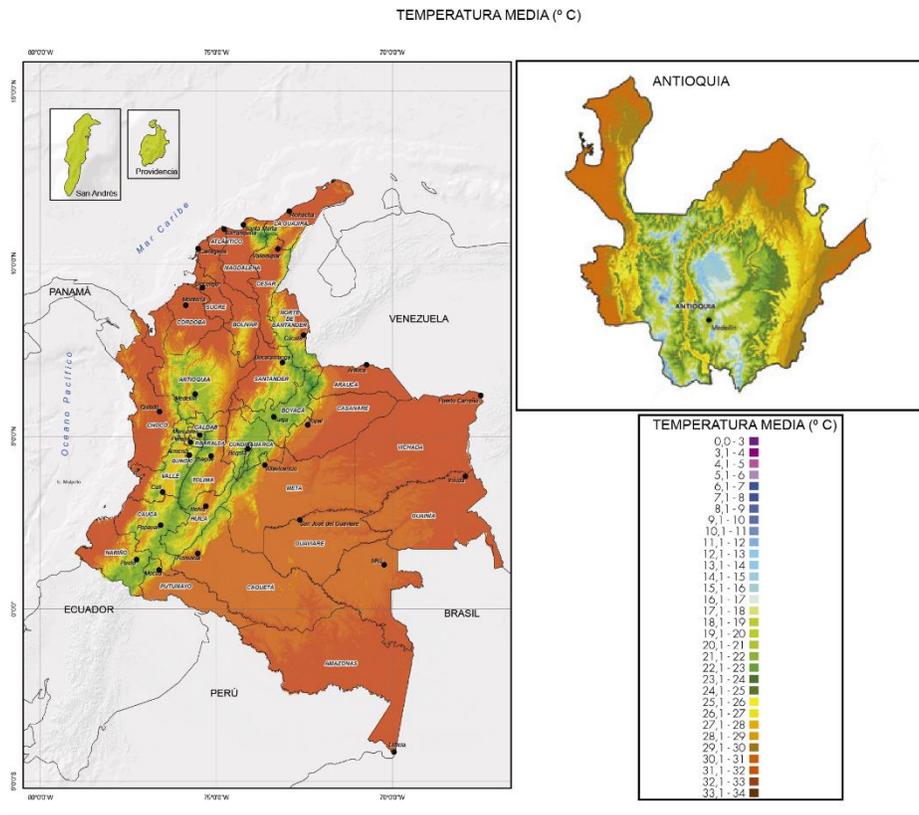


Figura 10: Escenarios de cambio climático para Colombia y Antioquia
 Fuente: (adaptada de IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLERÍA, 2017)

3.1.3 Efectos de la Variabilidad y el Cambio Climático en Medellín

Desde el decenio anterior, el IPCC (2007) ha señalado las evidencias del calentamiento global y del CC que se han venido generando, tanto por procesos naturales como por diversas actividades antrópicas. Estos fenómenos, que han sido muy notorios en el último siglo, afectan considerablemente los ecosistemas y los sistemas humanos de diferentes regiones del planeta (IPCC, 2007). Colombia no ha sido ajena a estos fenómenos y se han observado una serie de impactos sobre los ecosistemas, la biodiversidad y los sectores productivos, que a su vez se ven representados en pérdidas económicas y sociales para el país como consecuencia del cambio climático y los eventos extremos presentados por los fenómenos de La Niña y El Niño.

La tercera comunicación nacional de cambio climático (IDEAM, 2017) plantea que en general, todos los municipios de Colombia presentan algún tipo de riesgo por cambio climático. En lo particular, Medellín se encuentra clasificado con riesgo Medio (Figura 11) lo que indica que puede verse fuertemente afectado por los fenómenos asociados a la VC y el CC, como el aumento de la temperatura y el aumento/disminución de las precipitaciones.

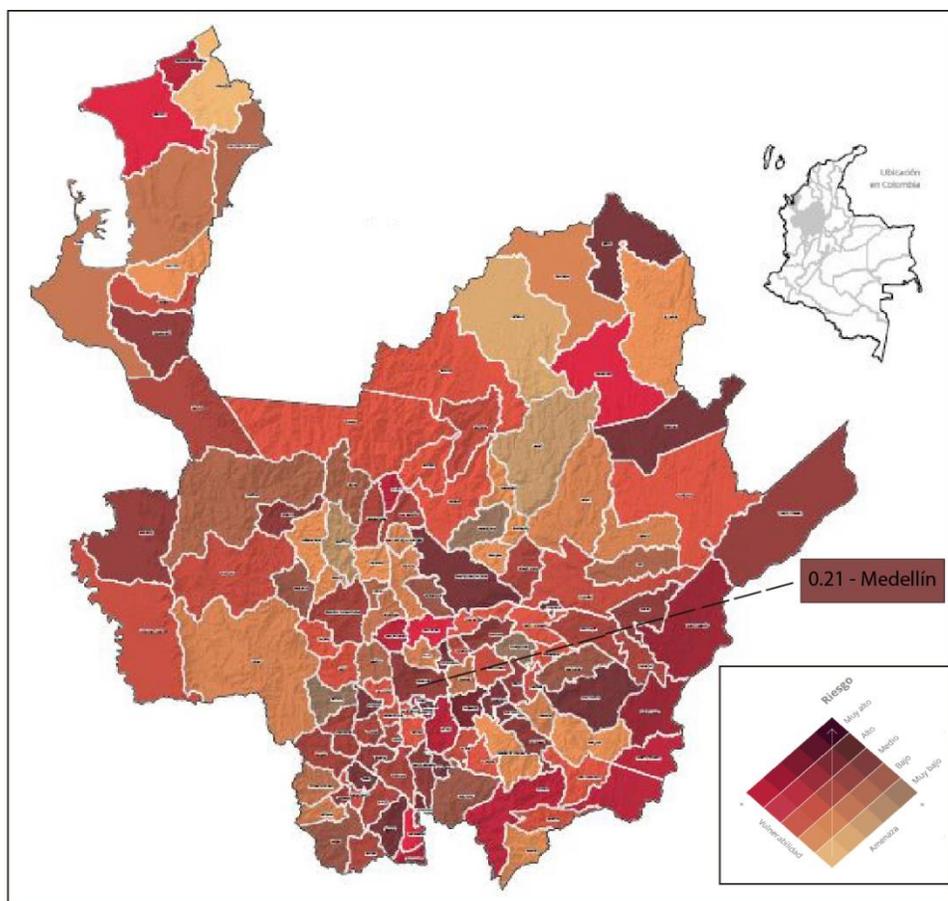


Figura 11: Riesgo por Cambio Climático Antioquia y Medellín
Fuente: (adaptada de IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLERÍA, 2017)

Teniendo en cuenta los escenarios planteados, los efectos de la VC y el CC en Medellín se evidenciarán principalmente en los eventos hidrometeorológicos extremos derivados del fenómeno del Niño y la Niña. Respecto al aumento de la temperatura, con una mayor incidencia de olas de calor e incendios forestales; y en lo referente al incremento de las precipitaciones, podrán aumentar los movimientos en masa y las avenidas torrenciales. Lo anterior con los consecuentes impactos sobre la salud humana, la biodiversidad, la economía y la competitividad regional. (Alcaldía de Medellín, 2014).

Según el SIATA (2014), la ubicación geográfica del Valle de Aburrá en la Cordillera Central incide en la diversidad de las características climáticas del Municipio, y al igual que su posición latitudinal, condiciona el estado atmosférico. En las últimas décadas se han agudizado los períodos lluviosos por la VC, como lo reporta el DAGRD en su base de datos 2004-2015, donde en los años 2008, 2010 y 2011, los movimientos en masa son el fenómeno de mayor recurrencia en la ciudad de Medellín, representando

aproximadamente el 46% de los eventos reportados. Los movimientos en masa son los que reportan mayores porcentajes de pérdidas de vidas, viviendas destruidas y personas evacuadas.

En los últimos 50 años, los municipios que conforman el Valle de Aburrá han experimentado un crecimiento poblacional acelerado, dando como resultado el incremento de asentamientos sobre zonas susceptibles a fenómenos tipo movimientos en masa. Esto, sumado a las condiciones geológicas e hidrometeorológicas que han formado y modelado el Valle, hacen de este territorio un área altamente susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa, y que en muchos casos han generado grandes desastres (Aristizabal & Gómez, 2007). Los más destacados son Media Luna en 1954 con más de 100 muertos, Santo Domingo en 1974 con más de 70 muertos, Villatina en 1987 con más de 500 muertos y La Gabriela en 2010 con 85 muertos. En la Figura 12 se pueden observar las zonas de amenaza por movimientos en masa para la ciudad de Medellín.

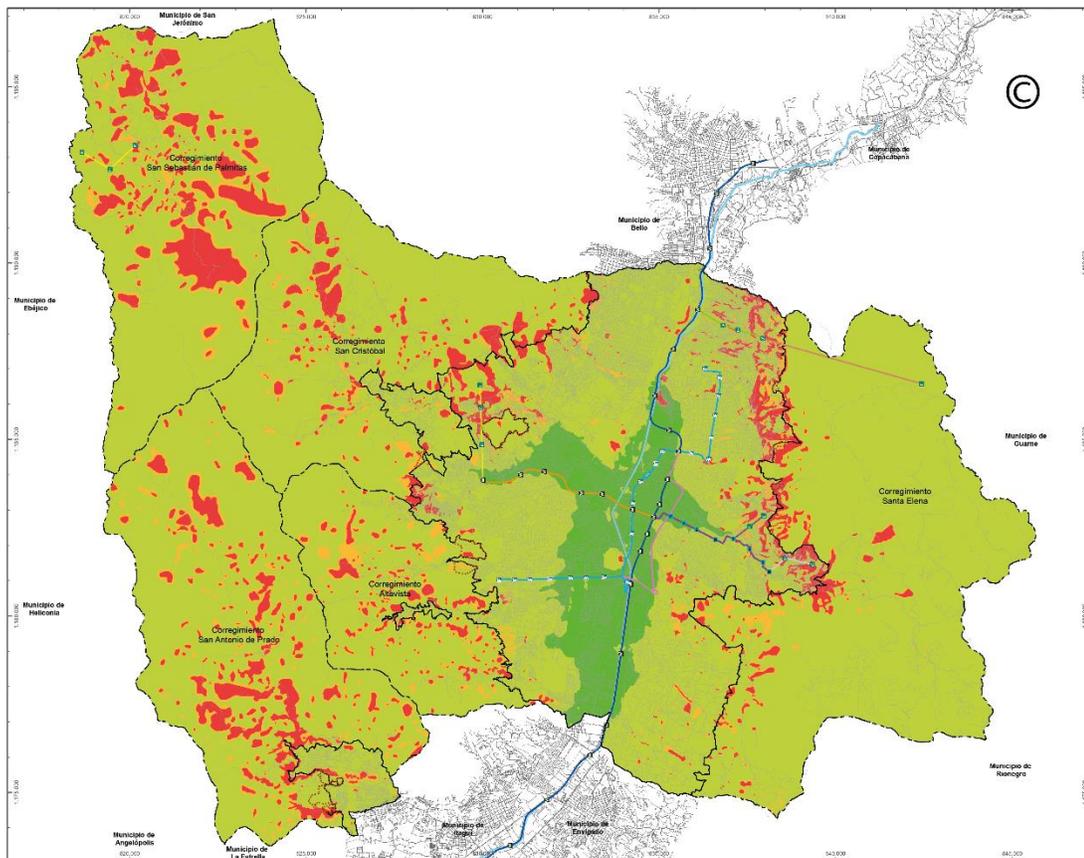


Figura 12. Amenaza por movimiento en masa para la ciudad de Medellín
Fuente: (Adaptada de: Departamento Administrativo de Planeación)

Respecto al riesgo asociado a avenidas torrenciales en la ciudad, este es predominantemente medio, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la amenaza por este tipo de eventos para la ciudad de Medellín. La susceptibilidad a este riesgo se debe igualmente a las condiciones geomorfológicas y de ocupación de la zona, a su vez, las avenidas torrenciales se presentan generalmente como el resultado de un fenómeno en cascada, donde la lluvia juega un papel fundamental. Debido a los cortos tiempos de respuesta y su gran capacidad destructiva, las avenidas torrenciales son una de las amenazas que cobra grandes pérdidas en términos de vidas humanas e infraestructura (Jonkman, S, 2005; Marchi et al., 2010; Doocy et al., 2013).

Se tienen pocos datos sobre estos comportamientos en el pasado. A nivel país, la región más afectada corresponde a la región Andina con el 72% de los registros y el 80% de las víctimas mortales. Tan solo en el departamento de Antioquia se han registrado el 28% de los eventos torrenciales con un saldo de 1.045 víctimas mortales que representan el 32% del total, donde el valle de Aburrá es la región más afectada con 187 eventos torrenciales que representan el 11 % del total de eventos, y 303 muertos que representan el 9% del total de víctimas en Colombia (Guerrero & Aristizábal, 2019), en Medellín se destaca el suceso en la quebrada La Hueso en 1984 (Caballero Acosta, 2011).

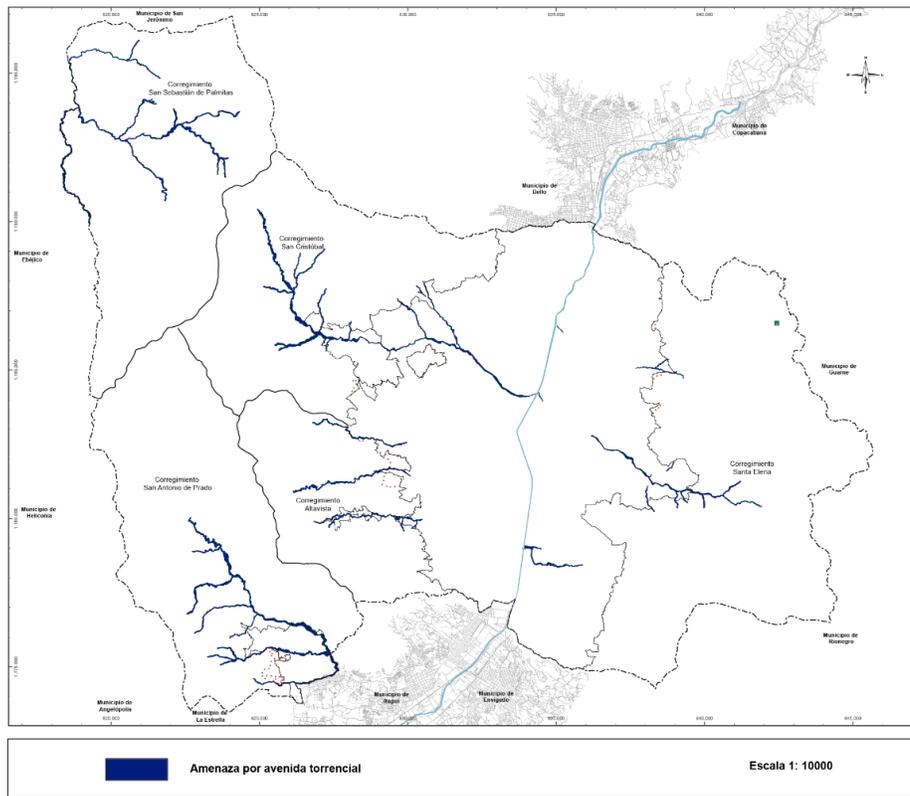


Figura 13. Amenaza por avenidas torrenciales para la ciudad de Medellín. Fuente: (adaptada de www.medellin.gov.co)

Teniendo en cuenta los principales riesgos a los que se enfrenta la ciudad, cobra importancia el índice de resiliencia urbana que se propone, puesto que el resultado del IRU nos indica el nivel de resiliencia con que cuenta Medellín para hacer frente a estos impactos generados por la VC y el CC.

A continuación, se presenta el detalle de las fases para la construcción del IRU. Una vez finalizada la caracterización de la zona de estudio, se sigue la metodología planteada para la construcción del IRU.

3.2 Fase I: Definición de resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático, y selección de variables.

En esta fase se construyó el marco conceptual sobre RU, los resultados están plasmados en el Capítulo 1 de la investigación referente al marco teórico. Asimismo, a partir de la revisión bibliográfica se pre-identificaron las dimensiones y variables para la construcción del IRU, cuyo resultado se presenta a continuación:

3.2.1 Selección y clasificación de variables para un índice de Resiliencia Urbana.

La identificación de las variables es un paso fundamental en la creación de índices compuestos, puesto que las debilidades y fortalezas del índice resultante se basarán en que estas sean relevantes, robustas y representativas de la realidad que se pretende analizar (Cutter et al., 2010). La selección de las variables que componen el índice de resiliencia urbana se realiza a partir de revisión de la literatura, los trabajos analizados para este paso, se resumen en la Tabla 1. A partir de la revisión de literatura sobre índices de resiliencia urbana frente a la variabilidad y el cambio climático, se eligieron 28 variables. Se excluyen algunas que no aplican para Medellín, como las relacionadas con zonas costeras; o aquellas con las que no se contaba con información para su medición; pero sin perder exactitud ni precisión en el análisis de la resiliencia.

Antes de realizar los cálculos de las variables se llevó a cabo un proceso de selección de los indicadores a incluir en la investigación, teniendo en cuenta que fueran datos que se pudieran continuar recogiendo por parte de entidades públicas o privadas, de manera que en años posteriores sea posible realizar los análisis con los mismos indicadores o un número importante de ellos, y poder evaluar la trazabilidad del índice de resiliencia urbana – IRU.

Estas variables se agruparon en cinco categorías o dimensiones: I) Social II) Ambiental III) Económica IV) Física/Infraestructura V) Institucional/ Gobernanza, las cuales fueron abordadas por la mayoría de los estudios analizados (Engle, de Bremond, Malone, & Moss, 2014; Nguyen, Bonetti, Rogers, & Woodroffe, 2016; Tyler et al., 2016; Xu & Xue, 2017), por lo cual fueron adoptadas en esta investigación.

3.2.2 Consulta a expertos

En la literatura sobre índices de resiliencia urbana, la integración de las distintas variables en índices compuestos se realiza mediante la asignación de pesos. Para definir los pesos se realizó una consulta a expertos con el objetivo de seleccionar las dimensiones y las variables a tener en cuenta dentro de cada una en el contexto de variabilidad y cambio climático, y asignar las ponderaciones a cada dimensión y variable seleccionada para luego agregar el índice con la información obtenida. En el Anexo 1 se muestra el formato para la encuesta a expertos, el método aplicado fue la combinación entre encuesta y entrevista semi estructurada. Se diseñó un cuestionario con preguntas fijas con el fin de asignar valores (pesos) a cada dimensión y a cada variable; con la oportunidad de que en el momento de aplicar el cuestionario se pudieran presentar preguntas por parte del entrevistador no estipuladas en el formato, de allí que se definiera como entrevista semiestructurada.

El cuestionario para los expertos se diseñó de manera que fuera entendible y fácil de diligenciar, además que permitiera reflejar el concepto de cada entrevistado. A partir de las dimensiones y variables inicialmente recopiladas, cada experto evaluó el listado eliminando o incluyendo nuevas variables de acuerdo a su criterio. Es aquí donde la tarea del experto se convierte en una labor fundamental para eliminar aspectos irrelevantes,

incorporar los que son imprescindibles y/o modificar aquellos que lo requieran (Robles Garrote & Rojas, 2015).

Para la selección del panel de expertos se identificaron personas cuyo trabajo o línea de investigación se enfocara en temas relacionados con resiliencia urbana y cambio climático. Para este caso, se tuvieron en cuenta los docentes participantes en el proyecto CARE - “*Empowering climate resilience*” el cual se desarrolló entre universidades de Europa y Latino América, con apoyo del programa ERASMUS de la Unión Europea. Asimismo, docentes de la Universidad Nacional de Colombia que han trabajado sobre el tema de CC y/o resiliencia y funcionarios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, entidad que ha realizado estudios relacionados con medidas de adaptación y mitigación a la VC y el CC para la ciudad de Medellín. En el Anexo 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se hace una breve descripción de cada experto.

Finalmente, fue posible realizar la entrevista a 13 expertos, estas fueron sistematizadas y procesadas para su análisis. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la consulta a expertos:

- ***Categorías y variables seleccionadas para el IRU.***

Una vez aplicada la encuesta a los expertos se seleccionan las dimensiones y variables finales que se incluyen para la conformación del IRU. A partir del análisis inicial, se aplica la encuesta una segunda vez con el fin de ajustar los resultados.

La Tabla 2 muestra las dimensiones y variables seleccionadas y el número de expertos que las validan. Dado que todas las dimensiones son aceptadas por los expertos, se procede a trabajar con las cinco seleccionadas. Por su parte, las variables fueron incluidas, de acuerdo al mayor número de expertos que las validaron; algunas de las variables inicialmente planteadas se compactaron por recomendación de los expertos, teniendo en cuenta la correlación existente entre ellas.

Tabla 2: Categorías y variables seleccionadas para el IRU.

Dimensiones propuestas	Número de expertos que seleccionan las dimensiones	Variables	Número de expertos que seleccionan la variable
Dimensión social	13	1. Crecimiento Poblacional	11
		2. Densidad poblacional	10
		3. Educación	13
		4. Acceso a la salud	12
		5. Equidad social	13
		6. Pobreza	12
		7. Servicios públicos	13
Dimensión ambiental	13	8. Calidad del agua	13
		9. Calidad del aire	13
		10. Biodiversidad y servicios ecosistémicos	13
		11. Deforestación	13
		12. Aprovechamiento de residuos sólidos	11
Dimensión económica	13	13. Crecimiento económico	12
		14. Desempleo	13
		15. Ingreso per cápita	12
		16. Diversidad económica	13
		17. Inversión extranjera	12
		18. Inversión en población vulnerable	13
Dimensión física / infraestructura	13	19. Calidad de los edificios	10
		20. Población en zonas de amenaza alta	13
		21. Infraestructura verde	12
		22. Construcciones sostenibles	11
		23. Red vial	12
Dimensión institucional /gobernanza	13	24. Prevención y atención de desastres	13
		25. Cohesión social	12
		26. Empoderamiento de la comunidad	12
		27. Políticas sobre cambio climático	12
		28. Estrategias de sensibilización en variabilidad y cambio climático	12

- **Variables sugeridas por los expertos a partir de la encuesta**

En el cuestionario diseñado, los expertos tenían la opción de sugerir la inclusión de nuevas variables o la supresión de las variables inicialmente planteadas. Para este caso, los expertos realizaron sugerencias de adición de variables, pero no de supresión.

En la Tabla 3, se relacionan las variables sugeridas por algunos expertos, sin embargo, estas no fueron incluidas por las siguientes razones:

Respecto a las variables *índice de desarrollo humano* e *índice de Gini*, ambas se emplean para medir la desigualdad; en esta investigación, se relacionan con el *Índice Multidimensional de Condiciones de Vida -IMCV-*, el cual se encuentra incluido en la dimensión social, por lo que sería redundante incluir las dos variables sugeridas.

La variable *Áreas en peligro de remoción en masa*, en esta investigación, se relaciona con la variable Población en Zonas de *amenaza alta* incluida en la dimensión Física, por lo que no se tiene en cuenta en la dimensión ambiental como lo sugieren 2 de los expertos.

La variable *Disponibilidad de servicios básicos*, sugerida por dos expertos para la dimensión Física, se mide en la dimensión social a través de la variable *Cobertura de los servicios públicos*, por lo que finalmente no se incluye.

Tabla 3: Variables diferentes sugeridas por los expertos a partir de la encuesta.

Dimensión	Variable nueva sugerida por experto	Número de expertos que sugieren la variable
Social	Índice de Desarrollo Humano	1
Ambiental	Áreas en peligro de remoción en masa	2
Económica	Índice de Gini	1
Física	Disponibilidad de servicios básicos	2

Finalmente, partiendo de la información anterior, en la Tabla 4 se listan las cinco dimensiones y las variables seleccionadas para cada de una de estas. Se hace una breve descripción de ellas y la forma de medirlas en esta investigación. La descripción detallada se encuentra en el Anexo 4.

Tabla 4: Definición y forma de medir las variables pre-identificadas

Dimensiones	Variables	Definición de la variable	Medición de la variable
Dimensión Social	Crecimiento Poblacional	Tasa media anual de cambio del tamaño de la población.	Porcentaje (%) de crecimiento de la población.
	Densidad poblacional	Expresa el número total de habitantes de la ciudad en relación con la superficie de la misma.	Hab./km2
	Educación	Medida en términos de nivel de educación (primaria, bachillerato, universidad)	Promedio de años de escolaridad que han alcanzado los habitantes de la ciudad.
	Acceso a la salud	Habitantes de la ciudad que cuentan con acceso a los servicios de salud.	%
	Equidad social	Condiciones socioeconómicas de las ciudades que promueven la igualdad de derechos y oportunidades para sus habitantes.	Índice Multidimensional de Condiciones de Vida - IMCV
	Pobreza	Ausencia de oportunidades o de acceso a unos mínimos de "capacidades" necesarios para el desarrollo de cada persona	Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)
	Servicios públicos	Cobertura de los SSPP. Hogares que cuentan con servicios básicos adecuados	% de la población que cuenta con servicios de energía - de alcantarillado - de acueducto - de recolección residuos sólidos.
Dimensión Ambiental	Calidad del agua	Niveles de contaminación superficial de cuerpos de agua	Índice de Calidad del Agua para Corrientes Superficiales – ICACOSU
	Calidad del aire	Concentraciones de material particulado PM10 y PM2, 5 como contaminante crítico.	Índice de Calidad del Aire (ICA),
	Biodiversidad y servicios eco sistémicos	Áreas protegidas y de interés estratégico con plan de manejo implementado	Número
	Deforestación	Tasa de deforestación.	Escala de 1 a 10 según el índice de competitividad de las ciudades
	Aprovechamiento de residuos sólidos	Porcentaje de residuos sólidos que no se llevan al relleno sanitario, sino que por el contrario, son aprovechados y re-inducidos a la cadena productiva, por medio del reciclaje o la reutilización	%
Dimensión Económica	Crecimiento económico	Se mide a partir del crecimiento del producto interno bruto (PIB), que es el total de bienes y servicios producidos en un país durante un período de tiempo determinado	%
	Desempleo	Nivel de desocupación entre la población económicamente activa	%
	Ingreso per cápita	Determina el ingreso que recibe, en promedio, cada uno de los habitantes de una región	%
	Diversidad económica	Indica las diferentes actividades económicas de las ciudades	Puntaje en una escala entre 0 y 10.

	Inversión extranjera	Saldo de inversión extranjera directa ejecutada en el presupuesto municipal.	%
	Inversión en población vulnerable	Porcentaje del presupuesto de la ciudad destinado a Inversión en Población vulnerable,	%
Dimensión Física /Infraestructura	Calidad de los edificios	Relación entre la superficie de edificaciones que cuentan con licencia de construcción y que incorporan criterios ambientales frente a la superficie total de edificaciones construidas de forma legal	%
	Población en zonas de amenaza alta	Cantidad de población que habita en zonas de amenaza alta. Áreas del territorio que incluyen las áreas de amenaza alta por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, frente a la totalidad de la población en el área urbana	Escala entre 0 y 1
	Construcciones sostenibles	Cantidad de edificaciones certificadas como sostenibles en la ciudad.	%
	Infraestructura verde	Muros y corredores verdes en la ciudad	M ²
	Red vial	Proporción de kilómetros lineales de carretera por kilómetro cuadrado.	km/km ²
		Prevención y atención de desastres	Programas en prevención y atención de desastres de la ciudad - Política pública para la Gestión del Riesgo de Desastres -GRD
Dimensión Institucional / Gobernanza	Cohesión social	Porcentaje de la población que hace parte de una organización o instancia participativa	%
	Empoderamiento de la comunidad	Número de asociaciones de participación ciudadana / Población total municipio.	%
	Políticas sobre cambio climático	Existencia de políticas, planes, programas sobre cambio climático (integrales, adaptación o mitigación)	Escala entre 0 y 1
	Estrategias de sensibilización en variabilidad y cambio climático	Oferta educativa que promueve conocimientos, actitudes y competencias encaminadas a identificar y prevenir problemas ambientales y así contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático	Escala entre 0 y 1

- **Pesos dados por los expertos a las dimensiones y las variables que componen el IRU.**

Una vez obtenidos los pesos finales de cada experto, tanto para las dimensiones como para las variables, se emplearon las ecuaciones 3 y 4 para obtener las ponderaciones finales:

$$W_{dimx} = \sum_{i=1}^n W_{dimxi} \tag{Ecuación 3}$$

Donde;

W_{dimx} es la ponderación de la dimensión x
 W_{dimxi} es el peso de la dimensión x dada por el experto i .

$$W_{Vy} = \sum_{i=1}^n W_{vki}$$

Ecuación 4

Donde;

W_{Vx} es la ponderación de la variable y en la dimensión x

W_{Vyi} es el peso de la variable y dada por el experto i

En la Figura 14 se muestran las ponderaciones de las cinco dimensiones definidas y las ponderaciones de las 28 variables dentro de estas.

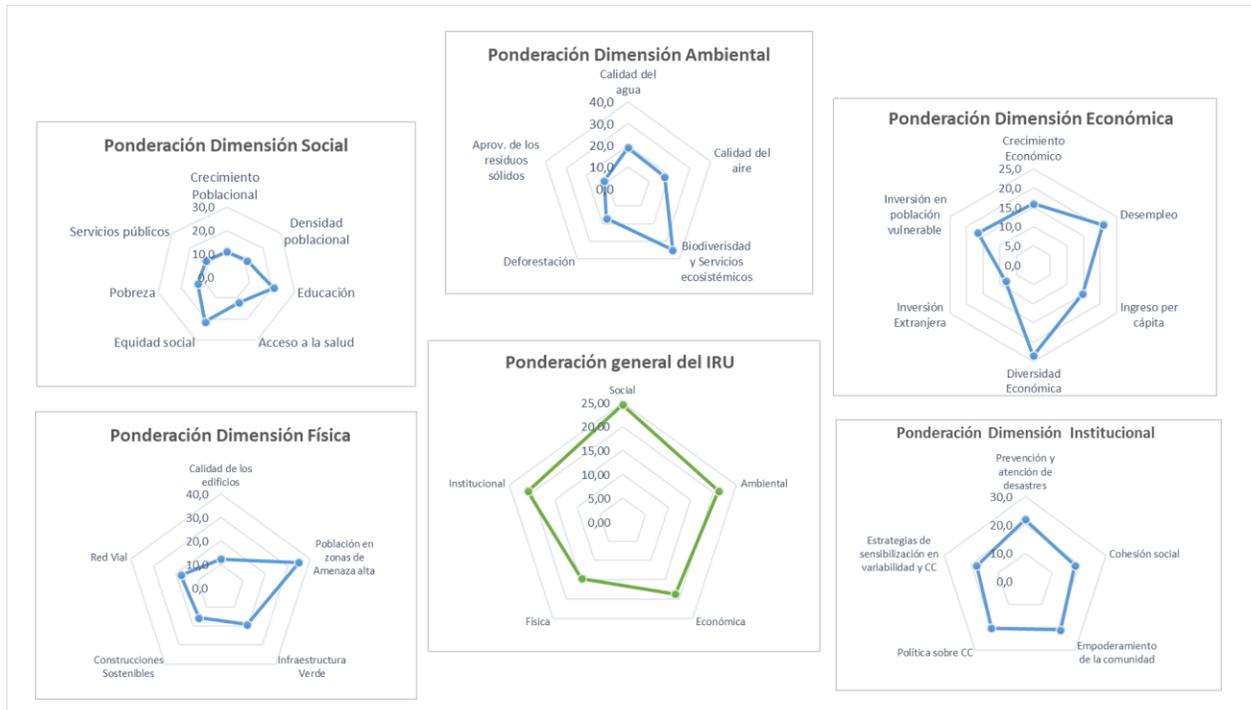


Figura 14: Pesos de las dimensiones y las variables dadas por los expertos

La dimensión con mayor ponderación es la *social* con 25%; dentro de ésta, las variables *educación* y *equidad social* tomaron mayor importancia con un 21,2% cada una. Esta dimensión informa la importancia de los factores sociales que pueden incrementar la vulnerabilidad de las ciudades, disminuyendo su resiliencia.

La segunda dimensión, con el 21,3%, es la *ambiental*. En esta dimensión la variable con mayor peso es la de *biodiversidad y servicios ecosistémicos*, con un 35,4%, lo que evidencia que la presencia y el manejo de los recursos naturales, y la protección de los

ecosistemas es esencial para la absorción de impactos y la recuperación rápida (Burton, 2014; Cutter et al., 2008; Hughes et al., 2013), de allí su importancia en la construcción de resiliencia urbana.

La tercera dimensión en ponderación es la *Institucional/Gobernanza* con un 21% y dentro de esta, las variables con mayor puntaje son *empoderamiento de la comunidad* con 22,1%, *programas de prevención y atención de desastres y políticas sobre CC* con 20,4% cada una, seguidas de *cohesión social* con 18,8% y *estrategias de sensibilización sobre variabilidad y cambio climático* con 18,3 %. Estos resultados reflejan la influencia de los múltiples actores en el mejoramiento de la resiliencia urbana, pues está altamente relacionada con la capacidad de las personas y las instituciones para responder colectivamente ante una perturbación (Gómez-Baggethun, Erik; Reyes-García, Victoria; Olsson, Per; Montes, 2012).

La dimensión *económica* ocupa el cuarto lugar, con un 19%. Dentro de esta, la variable con mayor ponderación es *diversidad económica* con un 24,3%, seguida de *desempleo* con un 21,3% y *crecimiento económico* con un 16%. Esta dimensión ofrece información sobre la capacidad y flexibilidad de los sectores productivos de la economía de las ciudades para sobreponerse a eventos perturbadores.

La última dimensión es la *Física/infraestructura*, con un 14%, y dentro de esta la variable *población en zonas de amenaza alta* representa el 33,8%, lo que demuestra su influencia en el incremento de la vulnerabilidad de las ciudades. Se observa que esta dimensión ha recibido relativamente menos calificación por parte de los expertos, a pesar de su importancia para construir resiliencia.

3.3 Fase II: Recopilación de información y tratamiento de los indicadores

3.3.1 Cálculo de los indicadores para cada una de las variables

Posterior a la consulta a expertos, y una vez definidas las dimensiones y variables a tener en cuenta dentro del IRU, se procedió a recolectar la información de estas variables para la ciudad de Medellín. Cada variable se mide a partir de un indicador, como se presenta

en la Tabla 4, los cuales se obtuvieron a partir de las bases de datos de entidades gubernamentales como la contraloría, así como los informes de gestión “Medellín como vamos”, y la plataforma virtual MEData, que cuenta con los indicadores desarrollados por las diferentes dependencias para la ciudad.

Este proceso de selección de los indicadores está documentado mediante la construcción de una base de datos (Anexo 4), donde se especifica la descripción de las variables, las unidades de medida con que son expresadas y la fuente de la cual se obtuvieron cada uno de los indicadores.

3.3.2 Normalización de las variables

Una vez se obtiene la medida de cada una de las variables que componen el IRU, y como éstas se encuentran expresadas en unidades diferentes, es necesario normalizarlas antes de proceder a agregar las variables en el índice compuesto. Para ello se emplean las ecuaciones 1 y 2. En este paso resultan las variables con medidas comprendidas entre 0 y 1, (Anexo 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

3.3.3 Ponderación y agregación de las variables

Una vez que todas las variables han sido calculadas y normalizadas, se procede a la integración de estas. Primero en los índices para cada dimensión, como se muestra en la Figura 15 y, posteriormente, estos se integran en el Índice de Resiliencia Urbana - IRU.

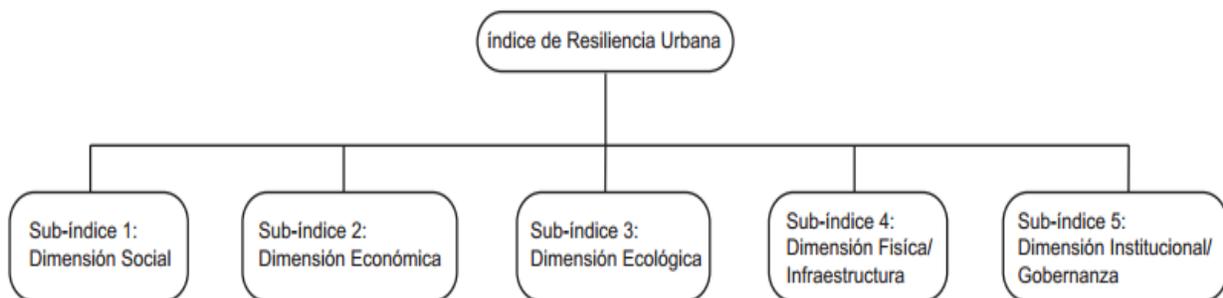


Figura 15: Estructura del índice de Resiliencia Urbana

Para la integración de las variables en cada dimensión, se debe tener en cuenta la relación, positiva o negativa, de cada una de ellas con la resiliencia. Una relación positiva indica que si el valor de la variable aumenta, el valor de la dimensión aumentará, al igual que el IRU; por el contrario, una relación negativa indica que al aumentar el valor de la variable, la dimensión y el IRU disminuirán. Para ello, se analizó la relación de cada una de las variables con la resiliencia, los resultados se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 5: Relación de las variables con el IRU

Dimensiones	VARIABLES	Relación con el IRU
Dimensión Social	Crecimiento Poblacional	-
	Densidad poblacional	-
	Educación	+
	Acceso a la salud	+
	Equidad social	+
	Pobreza	-
	Servicios públicos	+
Dimensión Ambiental	Calidad del agua	+
	Calidad del aire	+
	Biodiversidad y servicios eco sistémicos.	+
	Deforestación	-
	Aprovechamiento de residuos sólidos	+
Dimensión Económica	Crecimiento económico	+
	Desempleo	-
	Ingreso per cápita	+
	Diversidad económica	+
	Inversión extranjera	+
	Inversión en población vulnerable	+
Dimensión Física /Infraestructura	Calidad de los edificios	+
	Población en zonas de amenaza alta	-
	Infraestructura verde	+
	Construcciones sostenibles	+
	Red vial	+
Dimensión Institucional/ Gobernanza	Prevención y atención de desastres	+
	Cohesión social	+

Dimensiones	Variables	Relación con el IRU
	Empoderamiento de la comunidad	+
	Políticas sobre cambio climático	+
	Estrategias de sensibilización en variabilidad y cambio climático	+

Una vez identificada la relación de cada variable con la resiliencia urbana, se plantea la siguiente ecuación para el cálculo de cada uno de los sub índices que componen el IRU:

$$I_{Dim} = \sum_{i=1}^n \pm W_i * V_i$$

Ecuación 5

Donde;

- I_{Dim} Índice de cada dimensión. (Social, Ambiental, Económica, Física, Institucional)
 W_i Es el peso ponderado de los expertos para la variable i
 V_i Es el valor de la variable i
 n Es el número de variables en cada dimensión.

Finalmente, se plantea la estructura general del índice de resiliencia urbana – IRU propuesto:

$$IRU = \sum_{i=1}^{n=5} W_i * Dim_i$$

Ecuación 6

Donde;

- IRU Índice de resiliencia urbana
 W_i Es el peso ponderado de los expertos para la dimensión i
 Dim_i Es el valor de la dimensión i
 n Es el número de dimensiones, cinco en total.

3.4 Fase III: Estimación del índice de resiliencia urbana para la ciudad de Medellín.

Una vez surtidas la fase I y II de la metodología planteada, se procede al cálculo del IRU para la zona de estudio. En el capítulo 4 se presenta la aplicación del índice propuesto en la ciudad de Medellín, este índice permite establecer el perfil de resiliencia de la ciudad.

4. Resultados: Estimación del Índice de Resiliencia Urbana – IRU para Medellín.

En esta sección se presentan la aplicación del IRU para la ciudad, considerando las fases metodológicas planteadas (ver Figura 16). El punto de partida son las bases teóricas de RU en el contexto de variabilidad y cambio climático. A partir de la revisión de literatura existente se plantearon las variables y dimensiones que componen el índice de resiliencia urbana – IRU. Las variables seleccionadas fueron evaluadas en la consulta a expertos, considerada como un método que permite validar información a partir del conocimiento y la experiencia de los entrevistados con el tema de estudio, sus opiniones pueden ser consideradas como criterios certeros (García & Marín, 2013). Como resultado de esta fase se llegó a la versión final de las variables y a la asignación de los pesos correspondientes. Posteriormente se realiza la ponderación de cada subíndice y finalmente se integran para obtener el IRU.



Figura 16: Estructura para la construcción del Índice de Resiliencia Urbana – IRU

4.1 Cálculo del IRU para Medellín

Una vez obtenidos los datos para Medellín, se estima el IRU para el año 2018 con la propuesta presentada en la Ecuación 6 - $IRU = \sum_{i=1}^{n=5} W_i * Dim_i$, obteniendo el siguiente resultado:

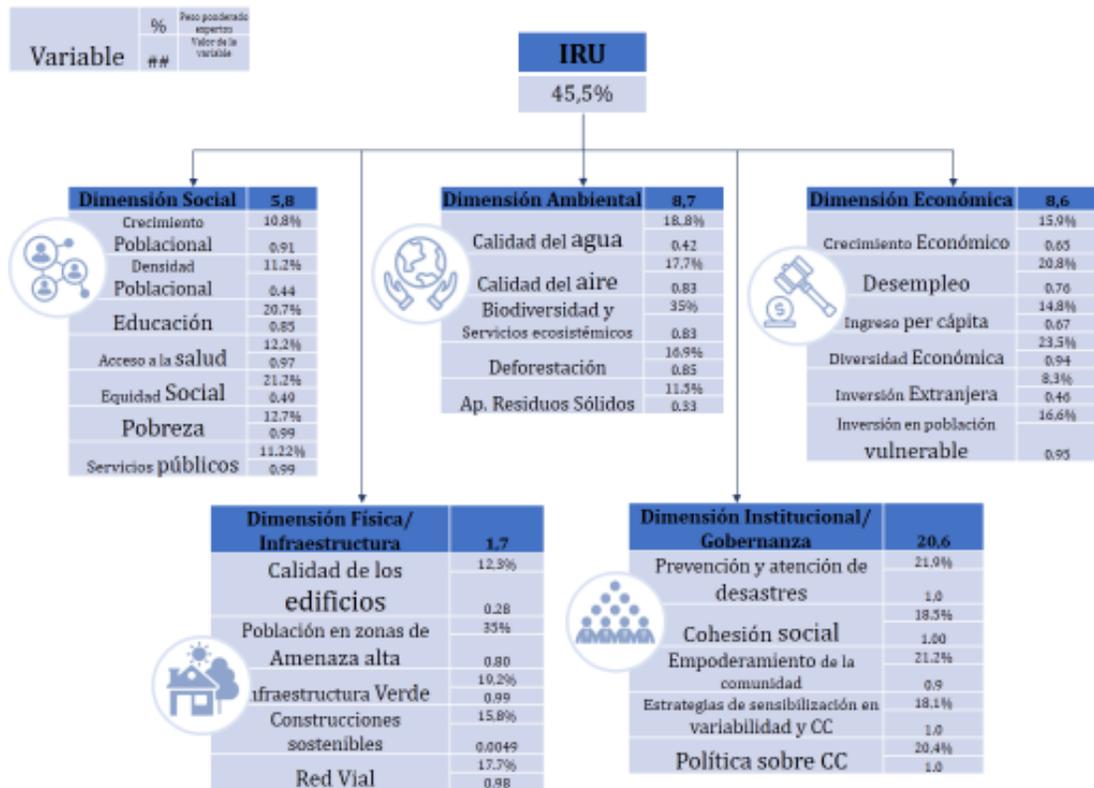


Figura 17: Cálculo del IRU para Medellín

El IRU corresponde a la sumatoria de la ponderación de las 28 variables indicadas, las cuales están agrupadas en cinco grandes dimensiones. Cada una de las variables tiene un valor en una escala entre 0 y 1, por lo tanto, la calificación para la resiliencia urbana estará comprendida en un rango entre 0 y 100 que se interpreta como se ilustra en la Tabla 6.

Para evaluar los parámetros propuestos se plantea una escala interpretativa, como se indica en la Tabla 6, en donde la calificación entre 67 y 100 está asociado con atributos de alta resiliencia, 34 y 66 a mediana resiliencia, y 0 y 33 a baja resiliencia.

Según los niveles de calificación sugeridos, Medellín presenta un nivel de Resiliencia medio (45.5%), lo que indica que la ciudad debe hacer un esfuerzo para aumentar su capacidad de recuperación, aprendizaje y transformación frente a los impactos de la variabilidad y el cambio climático, lo anterior a partir de la implementación de acciones y políticas en aquellas dimensiones en las que presenta mayor debilidad.

Tabla 6: Interpretación del Índice de Resiliencia Urbana -IRU

Calificación IRU	Interpretación Resiliencia	Observaciones
0 - 33	Baja	La ciudad tiene baja capacidad de respuesta frente a los efectos de la VC y el CC. Es necesario desarrollar programas para incrementar la resiliencia.
34 - 66	Media	La ciudad dispone de componentes con capacidad media de respuesta frente a los efectos de la VC y el CC. Su capacidad de soportar, adaptarse y transformarse se debe fomentar o como mínimo mantener.
67 - 100	Alta	La ciudad dispone de componentes con una alta capacidad para responder y adaptarse a los efectos generados por la VC y CC, de tal manera que mantenga su función esencial, identidad y estructura.

En la Figura 18 se representan los resultados del cálculo del Índice de Resiliencia Urbana – IRU para Medellín. Se pueden observar los resultados para el IRU en general y para cada una de las cinco dimensiones, lo que permite reconocer cuáles son las dimensiones que más influyen sobre la resiliencia de la ciudad y facilita la identificación de las variables con menor valoración y sobre las que se debe actuar.

Los valores son mayores para las dimensiones *institucional*, *ambiental* y *económica*, con valores que alcanzan el 20,6, 8,7 y 8,6, que para las dimensiones *física* y *social*, que toman valores de 1,7 y 5,8 respectivamente. Analizando con más detalle estos resultados, podemos observar las variables que influyen con más fuerza dentro de cada una de las dimensiones.

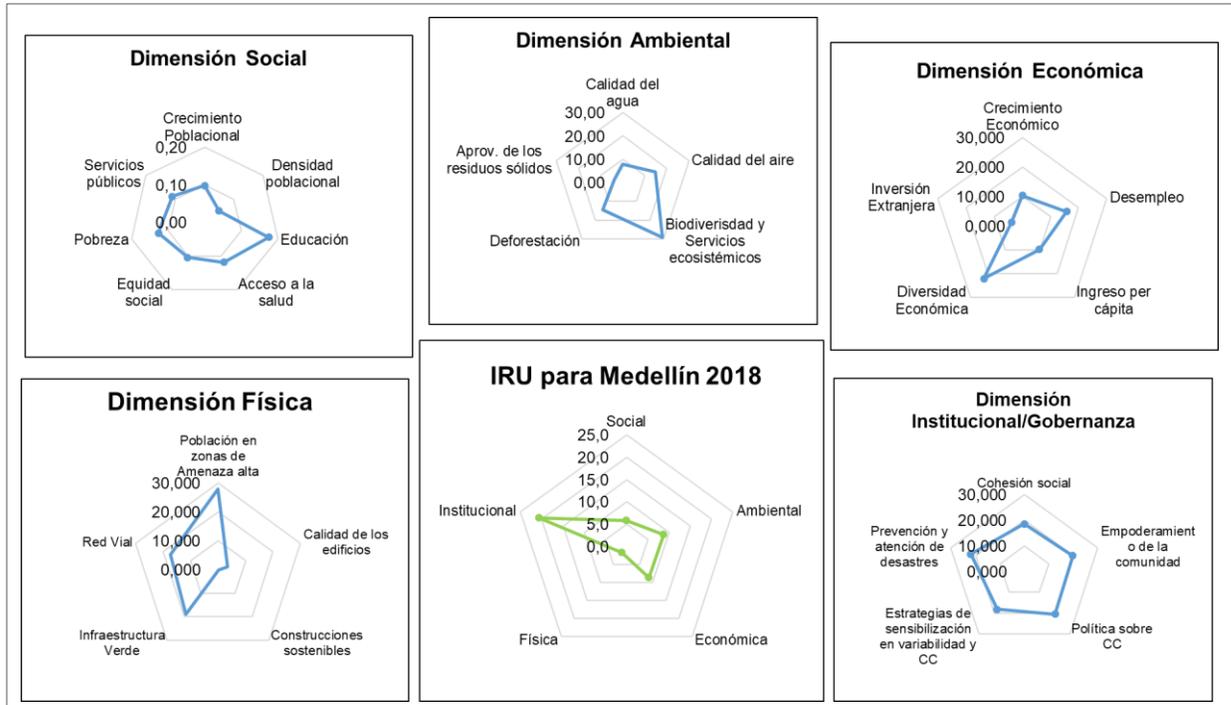


Figura 18: Resultados del IRU para Medellín año 2018

La dimensión **institucional y de gobernanza** obtuvo el mayor puntaje dentro del IRU (Figura 18), lo que indica que este componente es el que presenta las mejores condiciones relacionadas con la resiliencia de la ciudad. Esto muestra que las variables evaluadas dentro de esta dimensión, representan una gran fortaleza para la construcción de resiliencia urbana en Medellín. Esta dimensión se relaciona con las capacidades de los sistemas gubernamentales y la sociedad civil para responder ante un evento; hace referencia a las interacciones entre las instituciones y la población. Las instituciones se refieren a las organizaciones públicas y privadas que actúan en el territorio, y la gobernanza se refiere a las normas y procesos que influyen el comportamiento de los diferentes actores. Esta categoría influye en la mejora de la RU por el respaldo institucional que da lugar a respuestas eficaces y adecuadas (Adger et al., 2004; Ostrom, 2009), asimismo, esta dimensión puede proporcionar una medida de cuánto participan los diversos entes gubernamentales en la planificación para la atención de emergencias (Cimellaro et al., 2016).

La gobernanza es un factor importante que influye sobre la resiliencia, una ciudad más resiliente cuenta con procesos de toma de decisiones inclusivos en el ámbito de la planificación, la rendición de cuentas y la colaboración (Albrechts, 2004; & Satterthwaite,

2009, Healey, 2007, Healey & Upton, 2010; UNISDR, 2010), en estos procesos participan personas y actores locales, incluyendo el sector privado, grupos sociales, comunidades y entidades estatales.

Dentro de esta dimensión, la variable *prevención y atención de desastres*, la cual hace referencia a los programas en prevención y atención de desastres que son necesarios e importantes para las respuestas de emergencia frente a los eventos perturbadores (Xu & Xue, 2017); obtuvo la mejor valoración. Lo anterior debido a que la ciudad cuenta con programas de atención de desastres definidos y actualizados, lo que reduce el riesgo de la población y permite una eficiente reacción y recuperación frente a los eventos calamitosos.

La variable *políticas sobre CC*, también obtuvo una puntuación alta dentro de esta dimensión, resaltando la importancia de incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas que conduzcan a la reducción de los riesgos del CC. En esta variable se tienen en cuenta las políticas que se implementan en la ciudad respecto al cambio climático, como la “Estrategia integral para la gestión del Cambio Climático y la Variabilidad Climática en el Municipio de Medellín” y el “Plan de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático Municipal”. Así como el grado de integración del cambio climático en las políticas, los planes, los programas y los proyectos de desarrollo tanto nacionales como municipales, que representan un enfoque de planificación para reducir la vulnerabilidad.

En cuanto a la variable *empoderamiento de la comunidad*, su valoración refleja la alta influencia de los múltiples actores en el mejoramiento de la resiliencia urbana, pues ésta se relaciona altamente con la capacidad de las personas para responder colectivamente ante una perturbación (Gómez-Baggethun, Erik; Reyes-García, Victoria; Olsson, Per; Montes, 2012). Es un elemento esencial para la resiliencia, cuando ocurre una perturbación en una ciudad, las personas que poseen una combinación de conexiones sociales tienen más probabilidades de sobrevivir a la perturbación y de adaptarse más rápidamente a las nuevas circunstancias (Brooks et al., 2005; Cutter, 2008).

Para incrementar la resiliencia a través de esta dimensión, la ciudad debe fortalecer las *estrategias de educación sobre variabilidad y cambio climático*, con el fin de sensibilizar un mayor número de personas frente a los riesgos generados por estos fenómenos naturales. Fomentar el conocimiento sobre CC en la sociedad, aporta a la resiliencia urbana en

cuanto promueve la capacidad de respuesta de la sociedad. Esta variable fue la que obtuvo la valoración más baja (Figura 18).

La segunda dimensión con mayor puntaje dentro del IRU es la **ambiental** (Figura 18). Las variables evaluadas en este componente señalan la capacidad del sistema ecológico de la ciudad para volver a su condición previa al evento, definida como su funcionalidad básica. Esta dimensión mide la capacidad de un ecosistema para hacer frente a las perturbaciones, pero también la cantidad de perturbaciones que un ecosistema puede absorber sin variar considerablemente sus procesos y estructura. La presencia y el manejo de los recursos naturales es esencial para la absorción de impactos y la recuperación rápida (Burton, 2014; Cutter et al., 2008; Carpenter et al., 2001; Cimellaro et al., 2016; Hughes et al., 2013), de allí su importancia en la construcción de resiliencia urbana.

En esta dimensión la variable que mejor calificación obtuvo fue *biodiversidad y servicios ecosistémicos*; lo que evidencia la capacidad de los ecosistemas que se encuentran en la ciudad. Estos constituyen hábitats naturales cuya riqueza es importante para la conservación de la biodiversidad. Toda actividad humana depende en última instancia del buen funcionamiento de los ecosistemas y de los flujos de servicios que éstos proveen (Heal, 2000; Corvalán et al., 2005).

Asimismo, las zonas boscosas son de gran importancia para combatir los efectos del cambio climático, brindan servicios ambientales que benefician, directa o indirectamente, a todas las comunidades humanas, incluida la protección de cuencas hidrográficas, la regulación climática regional, purificación del aire, almacenamiento de carbono, y recreación (Thompson, I.; Mackey, B.; McNulty, S.; Mosseler, A., 2009). Por lo tanto, más biodiversidad y una mayor cantidad de zonas boscosas tendrán un efecto positivo en la capacidad de resiliencia de las ciudades.

A pesar de que el resultado en esta dimensión en el cálculo del IRU es significativa, se observa que para la ciudad de Medellín, es necesario fortalecer las variables calidad del aire, calidad del agua, deforestación y aprovechamiento de residuos sólidos, con el fin de incrementar la resiliencia de la ciudad, pues no obtuvieron valoraciones representativas.

La dimensión **económica** obtuvo el tercer valor más alto en el cálculo del IRU (Figura 18), esta categoría da cuenta del nivel de desarrollo de la economía de la ciudad, la cual se relaciona positivamente con la fortaleza de la respuesta al riesgo y la resiliencia del sistema

(Xu & Xue, 2017). Esta dimensión hace referencia a la actividad económica de las ciudades, así como a su desarrollo y crecimiento económico. Una ciudad resiliente se caracteriza por su capacidad para reemplazar bienes, servicios y cambiar los patrones de empleo cuando es necesario, en otras palabras, está asociada con el empleo, la variedad en la producción y los servicios. La dimensión económica consta de tres subcategorías relacionadas con: (1) la producción dentro de la industria, (2) la distribución del empleo dentro de la industria, y (3) los servicios financieros. (Cimellaro et al., 2016) y la inversión para el mejoramiento de las condiciones de vida de la sociedad (Adger et al., 2004).

En esta dimensión, la variable *diversidad económica* es la que jalona la resiliencia de la ciudad (Figura 18). Esta variable evidencia las diferentes actividades económicas de la ciudad que le proporcionan crecimiento económico. Una alta diversidad económica se traduce en un mayor crecimiento económico, ya que incrementa la productividad, la innovación y la atracción de capital humano valioso, factores importantes para alcanzar el éxito urbano. El aumento de la diversidad distribuye el riesgo, lo que conduce a una mayor capacidad de recuperación, mientras que la dependencia a un sector económico para la generación de ingresos, crea una forma de vulnerabilidad económica para las ciudades (Cutter, S.; Boruff, B.; Shirley, W., 2003).

Por su parte, las variables *desempleo* e *ingreso per cápita* frenan la resiliencia de la ciudad. El *desempleo* expresa el nivel de desocupación entre la población económicamente activa; una baja tasa de desempleo significa que hay más hogares con ingresos, que luego son invertidos en la economía local, promoviendo el crecimiento económico, a la vez que influye en la reducción de la pobreza y vulnerabilidad de los habitantes de las ciudades, incrementando la resiliencia urbana.

El *ingreso per cápita* es importante para determinar el nivel de vida promedio y tener referencia del bienestar de la población. Las ciudades que muestran mejores valores en este indicador suelen tener condiciones materiales mucho más desarrolladas, condiciones que inevitablemente se proyectan en el bienestar general.

Por lo anterior, con el fin de incrementar la resiliencia urbana, la ciudad deberá implementar acciones que permitan disminuir su índice de desempleo a la vez que mejore el ingreso per cápita. Asimismo, deberá potenciar la inversión en población vulnerable con el fin de

mejorar las condiciones de vida de las personas, lo que también favorece la disminución de la vulnerabilidad.

Finalmente, a pesar de que las dimensiones **física** y **social** son consideradas de gran importancia para fortalecer la resiliencia urbana (Bozza et al., 2017), para la ciudad de Medellín, estas dimensiones obtuvieron los resultados más bajos (Figura 18), por lo tanto, son las que requieren mayor intervención con el fin de aumentar la resiliencia frente a los efectos de la variabilidad y el cambio climático.

La dimensión **social** obtuvo la cuarta valoración en el cálculo del IRU para Medellín. Esta categoría informa sobre la condición de vida de los habitantes en cuanto a nivel social; estas condiciones juegan un papel importante dentro de la resiliencia urbana, puesto que dichos aspectos les permitirán flexibilidad al afrontar algún tipo de amenaza (Yoo et al., 2011). Los parámetros de esta dimensión ayudan a describir la vulnerabilidad social, que se define como la incapacidad de las sociedades para resistir ante la exposición de múltiples eventos indeseables, es un estado preexistente en la sociedad que afecta su capacidad para prepararse y recuperarse de un evento indeseable (Chris S. Renschler, Amy E. Fraizer, Lucy A. Arendt & Andrei M. Reinhorn, 2010; Cimellaro et al., 2016).

Al respecto, se observa que la variable *educación* presenta el mejor resultado dentro de esta dimensión. La educación es una medida de las habilidades que los habitantes de las ciudades tendrían que tener a fin de adaptarse (Moss et al., 2001; Narayanan & Sahu, 2016). En cuanto mayor nivel educativo presente un individuo, mayor es la habilidad de acceder a la información, lo que hace que pueda apropiarse y comprender lo que pasa a su alrededor, permitiendo que pueda implementar estrategias de adaptación ante diferentes fenómenos, como es el caso de los efectos generados por la variabilidad y el cambio climático.

En general para las variables sociales se obtuvieron bajos resultados, lo que explica la baja calificación para el IRU en esta dimensión. Las condiciones sociales de las ciudades deben promover la igualdad de derechos y oportunidades para sus habitantes, pues estas, influyen en la forma en que las personas experimentan el CC y se adaptan a su impacto. Aunque el CC afecta a todos, tiene un mayor impacto en aquellas poblaciones que carecen de acceso y control sobre los recursos, el poder y el conocimiento, lo que a su vez

determina las responsabilidades que se les asignan, las actividades que realizan y las oportunidades de toma de decisiones.

Por otra parte, el *crecimiento poblacional* y la *densidad poblacional*, son dos elementos que influyen negativamente en la resiliencia de las ciudades (Segob, Sedatu, SNPC, 2016), lo cual se ve reflejado en el resultado del IRU para la ciudad de Medellín que cuenta con un alto indicador en estas dos variables.

Un crecimiento poblacional rápido puede restar capacidad a las ciudades para afrontar problemas de importancia social, económica y ambiental. Asimismo, originan el aumento de asentamientos humanos en zonas de laderas inestables y zonas no aptas para ser habitadas (Segob, Sedatu, SNPC, 2016). En estudios similares, las ciudades con mayor densidad de población han resultado ser menos resilientes, pues sus áreas municipales están casi completamente urbanizadas, por lo que, debido a la falta de otros ecosistemas, su capacidad de carga es muy excedida (Suárez et al., 2016).

La dimensión ***Física/Infraestructura*** fue la que obtuvo la calificación más baja en el IRU (Figura 18), lo que indica que la ciudad no es fuerte en estos componentes para afrontar los impactos de la VC y el CC, los resultados de estas variables, reflejan la vulnerabilidad de la ciudad. Esta dimensión ofrece información sobre la calidad y la situación de los sistemas de estructuras necesarios para que la población desarrolle sus actividades en el territorio. Comunidades con la infraestructura necesaria contribuyen en la capacidad de hacer frente a situaciones inesperadas.

La funcionalidad de las infraestructuras físicas tiene un impacto importante en el proceso de restauración después de un desastre; por lo tanto, los servicios gubernamentales organizados deben trabajar activamente para restaurar su funcionalidad, que es esencial para que las comunidades sean resilientes (Chris S. Renschler, Amy E. Fraizer, Lucy A. Arendt & Andrei M. Reinhorn, 2010; Cimellaro et al., 2016).

Dentro de esta dimensión, la variable *población en zonas de amenaza alta* obtuvo el valor más bajo, su relación con la resiliencia es negativa, por lo que se debe trabajar en mejorar este indicador. De igual forma para las variables *calidad de los edificios*, *construcciones sostenibles* y *red vial*, es necesario incrementar su valoración con el fin de fortalecer la resiliencia de la ciudad.

La *red vial* de las ciudades contribuye a la reducción de los riesgos y el fortalecimiento de la capacidad de recuperación económica y física de las personas y los activos de infraestructura. Este indicador, guarda relación con las formas y los niveles de calidad de vida de la población en las regiones, en la medida que la red vial se constituye en un medio económico de comunicación y de circulación de mercancías, personas, servicios e información (Sharifi et al., 2017; Xu & Xue, 2017).

En cuanto a la *calidad de los edificios y construcciones sostenibles*, estas variables representan la calidad deficiente de las edificaciones de la ciudad, lo que aumenta su vulnerabilidad, así como el bajo porcentaje de estructuras sostenibles.

Finalmente, en la Figura 19 se presenta la clasificación de cada una de las variables evaluadas teniendo en cuenta la escala interpretativa propuesta en la Tabla 6, cada variable obtuvo una calificación entre 0 y 1. En concordancia con la Figura 18, se observan mejores calificaciones para las dimensiones institucional y ambiental, en comparación con las categorías social, física y económica.

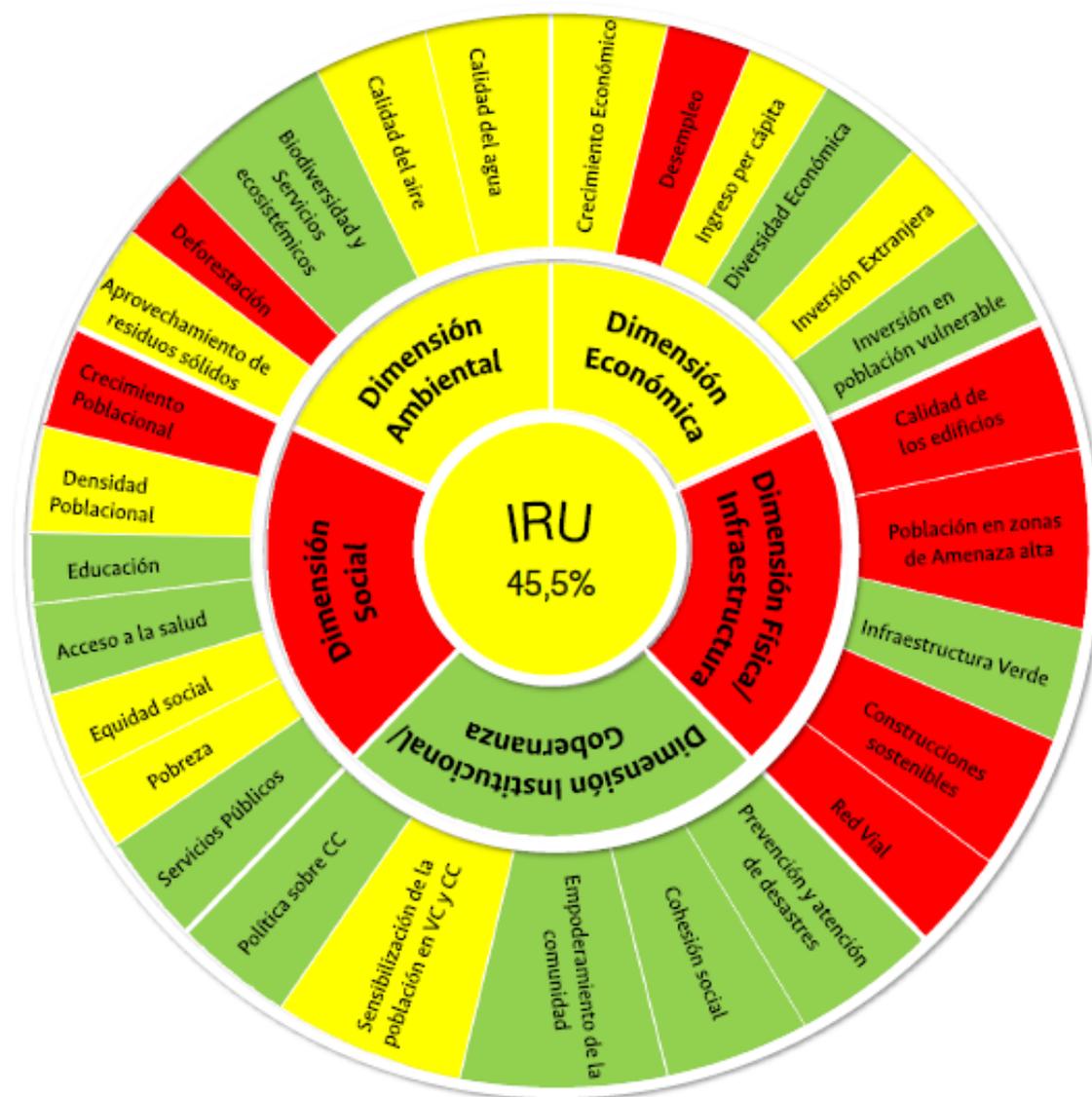


Figura 19: Clasificación variables del IRU

En términos generales, la ciudad de Medellín, tiene una buena calificación para las variables asociadas a la resiliencia, sin embargo, debe fortalecer las variables asociadas a las dimensiones física y social con el fin de aumentar su capacidad de recuperación y adaptación.

4.2 Cálculo del IRU para 2017 y comparación de resultados

Con el fin de analizar el comportamiento del IRU en la ciudad de Medellín se realizó la medición para el año 2017. Para este periodo el resultado fue 44,6%, presentando una variación de 0,8 puntos porcentuales. Según la tabla de clasificación propuesta, este resultado se encuentra en el rango de *resiliencia media*.

A continuación, en la Figura 20 se presentan los resultados del IRU de la ciudad de Medellín para el año 2017:

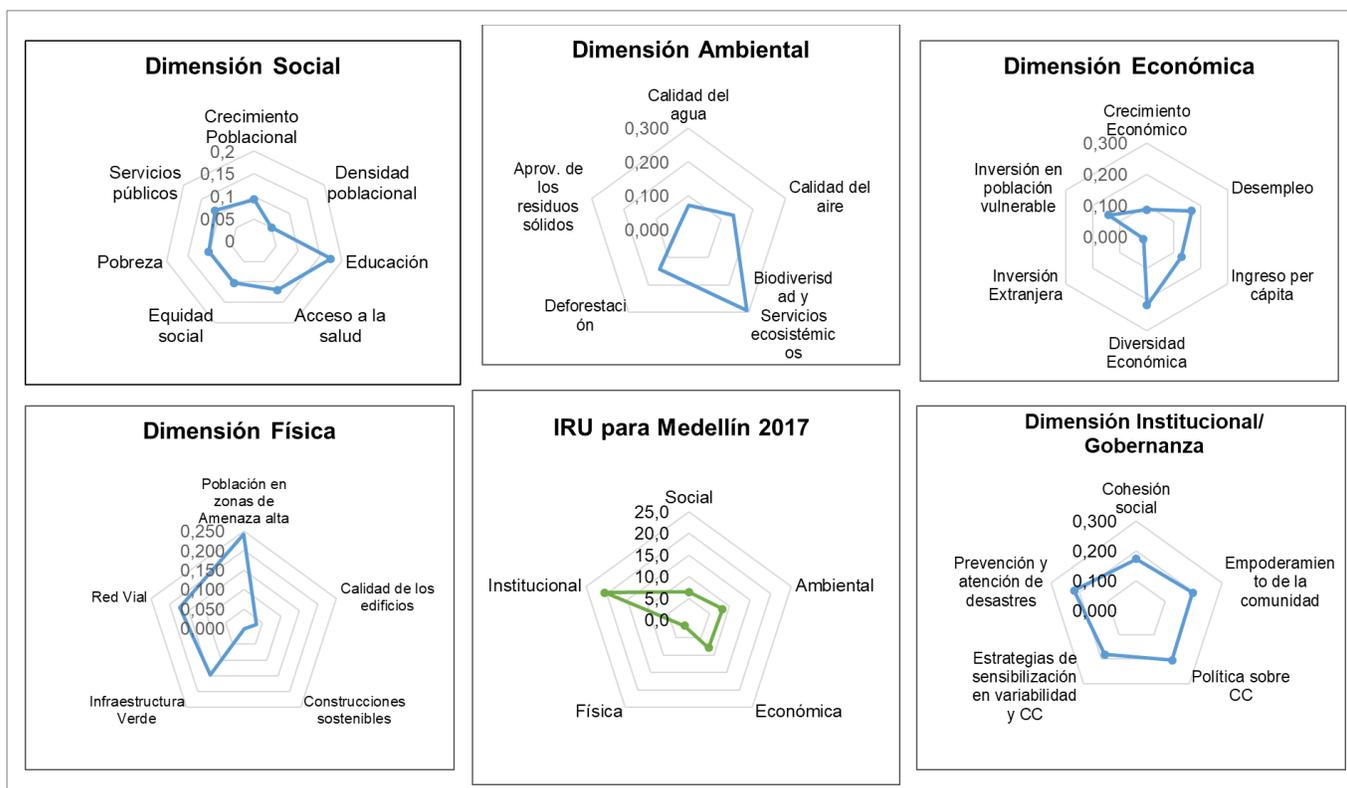


Figura 20: Resultados del IRU para Medellín año 2017

Comparando los datos para los años 2017 y 2018, Figura 21, se pueden observar las variables que mejoraron y permitieron aumentar el índice en 0,8 puntos porcentuales. Así, el aumento del IRU para la ciudad de Medellín responde al aumento en las dimensiones *ambiental*, *física* e *institucional* como resultado de una mejora en las variables que componen estas categorías.

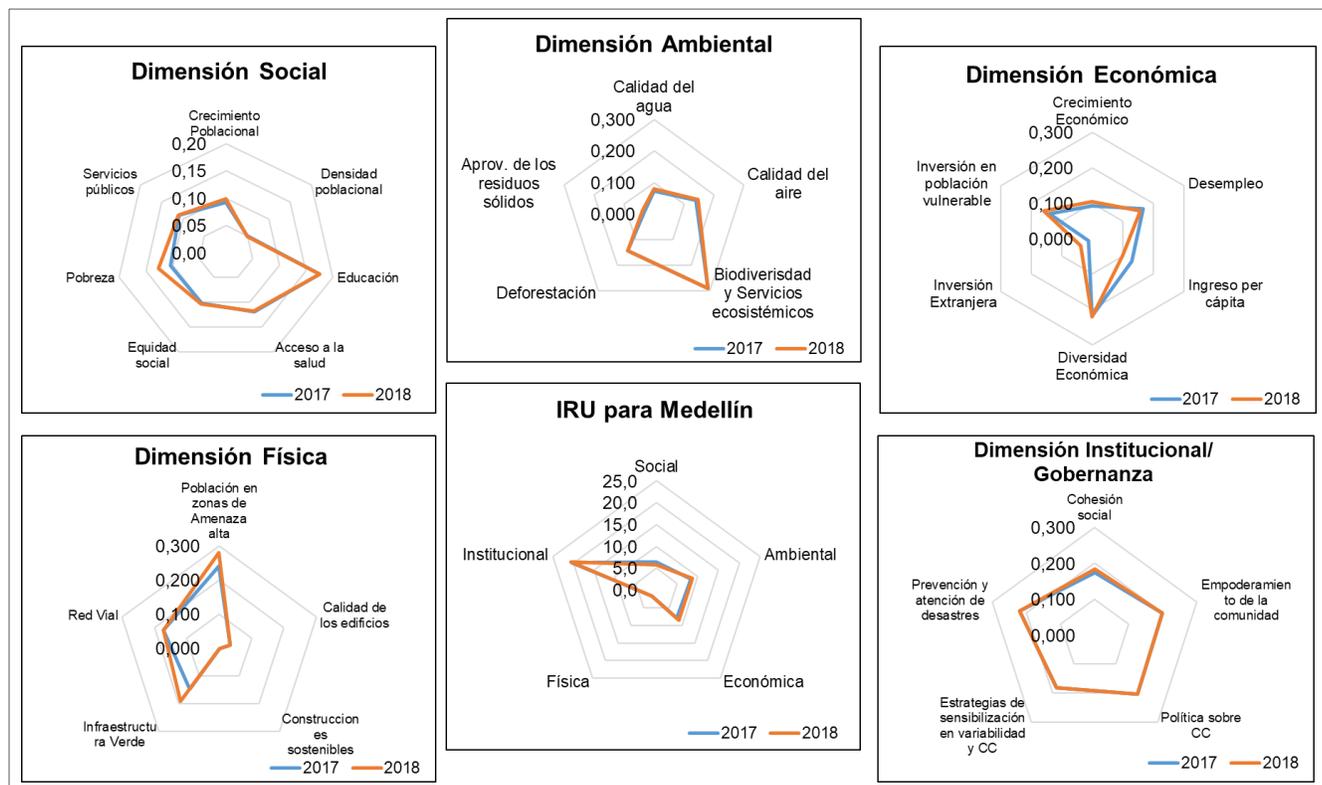


Figura 21: Comparación de resultados IRU 2017 - IRU 2018

El aumento en la *dimensión ambiental* se debe a la mejora en los indicadores calidad del agua, calidad del aire y aprovechamiento de residuos sólidos. En cuanto a la *dimensión física*, esta presenta una disminución en la variable *población en zonas de amenaza alta*, y aumento en las variables de *infraestructura verde* y *calidad de los edificios*; lo que representa un incremento en la resiliencia de la ciudad. Para la *dimensión Institucional*, se mejoró la variable *cohesión social* que, como se ha indicado, influye en la vulnerabilidad de las ciudades.

Por otro lado, se observa que en la *dimensión económica*, la variable *ingreso per cápita* tuvo un valor más bajo que en el año 2017, lo que se manifiesta en los resultados generales de esta categoría. Por su parte, en la *dimensión social*, las variables que influyen en el bajo resultado para 2017 son *crecimiento poblacional* y *pobreza*, las cuales están relacionadas con las condiciones de vida de los individuos en cuanto a nivel social. Como se ha manifestado anteriormente, estas condiciones influyen negativamente en la resiliencia de las ciudades.

Sobre las variables que obtuvieron un bajo resultado, los tomadores de decisiones deben enfocar estrategias para mejorarlas con el fin de aumentar la resiliencia de la ciudad.

Para el caso de la *dimensión social*, las acciones se deben encaminar en las variables *pobreza y equidad social*, las cuales juegan un papel central en la configuración de la resiliencia de las ciudades, considerando que los impactos del CC están distribuidos de manera desigual y socialmente diferenciados, por lo tanto, una ciudad más resiliente es aquella con menos desigualdades sociales y una distribución más justa de los recursos (Kasperson, 2001, Tearfund, 2008).

Respecto a la *dimensión Física /Infraestructura*, se recomienda desarrollar estrategias para disminuir la *población ubicada en zonas de amenaza alta*, así como incentivar las construcciones sostenibles. Lo anterior teniendo en cuenta que las comunidades más vulnerables a los impactos del CC suelen ser aquellas que viven en lugares de alto riesgo y carecen de infraestructura y servicios adecuados (Satterthwaite, 2008), por lo que se debe trabajar alrededor de la ordenación del territorio como componente principal para la transformación de la ciudad en un lugar más resiliente, incorporando el urbanismo ecológico y la cultura del riesgo, al igual que estrategias como la gestión del uso de la tierra, y la construcción de códigos de diseño para regular el desarrollo en las zonas propensas a los peligros

Finalmente, las ciudades deben desarrollar una mayor conciencia de la necesidad de políticas que puedan eventualmente aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad a los impactos esperados del CC, lo que requiere la evaluación de riesgos y peligros ambientales que son difíciles de predecir, pero que deben tenerse en cuenta en la planificación urbana y la gestión de riesgos (Adger et al., 2001; Vellinga et al., 2009).

4.3 Análisis de sensibilidad

Para evaluar la calidad del índice de resiliencia urbana, se realiza un análisis de sensibilidad con respecto a la asignación de los pesos de las dimensiones, esto con el fin de valorar si pequeñas variaciones en los datos contenidos en el índice conducen a grandes variaciones en el valor final del índice compuesto y evidenciar su robustez.

El análisis de sensibilidad permite verificar la estabilidad de los componentes del IRU al modificar la ponderación de las dimensiones. Esto se hace variando la ponderación inicial, asignando valores aleatorios, siguiendo función de distribución uniforme, a los pesos de cada dimensión, obteniendo los resultados presentados en la Figura 22. En promedio, el cambio en el resultado general del IRU varió en 0,82, lo que representa una variación pequeña teniendo en cuenta la desviación estándar. El valor del IRU sigue estando en la calificación de *resiliencia media*.

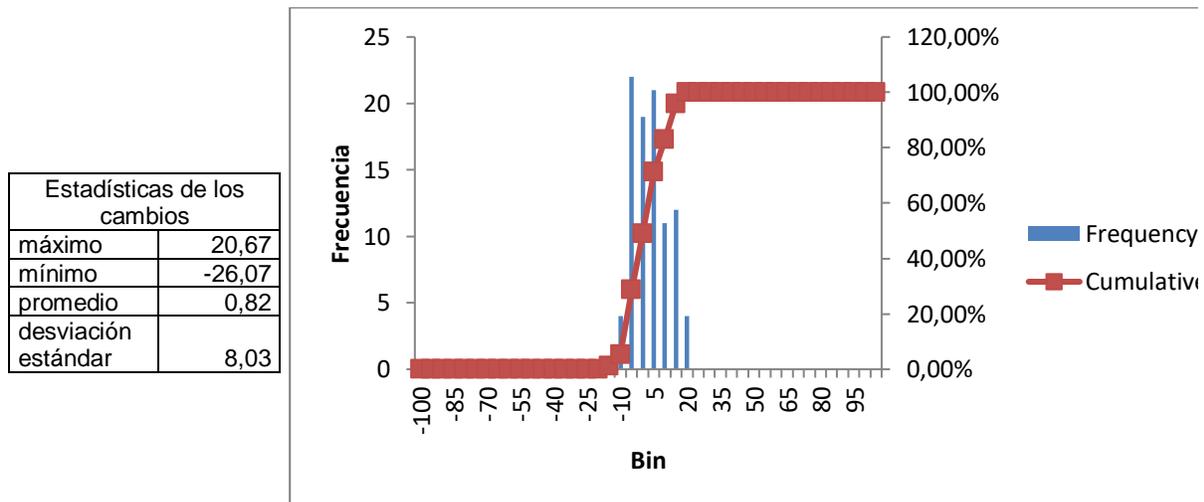


Figura 22: Análisis de sensibilidad con asignación de valores aleatorios a los pesos de las dimensiones.

En un segundo caso, se realizó el análisis de sensibilidad mediante la alteración de todas las variables de manera aleatoria, de a una por vez, con el fin de analizar cuáles son los efectos derivados de tales cambios. Así, se variaron los pesos de las dimensiones aleatoriamente, siguiendo función de distribución uniforme, pero asignando en cada caso un mayor peso a una dimensión diferente, los resultados se pueden observar en la Tabla 7. En la tabla se relacionan los pesos originales del IRU y una columna en la que se indica

la dimensión que tiene el mayor peso, asignado aleatoriamente, así como el resultado del IRU en cada caso y la diferencia respecto al IRU original.

Tabla 7: Análisis de sensibilidad del IRU con mayor peso en una de las dimensiones.

Dimensiones	Pesos originales	Peso > a Dimensión Social		Peso > a Dimensión Ambiental		Peso > a Dimensión Económica		Peso > a Dimensión Física		Peso > a Dimensión Institucional	
Social	0,25	0,42	0,38	0,18	0,02	0,19	0,06	0,08	0,04	0,23	0,27
Ambiental	0,21	0,03	0,07	0,37	0,43	0,08	0,22	0,25	0,10	0,03	0,19
Económica	0,19	0,08	0,17	0,03	0,08	0,33	0,43	0,05	0,10	0,08	0,04
Infraestructura	0,15	0,22	0,19	0,26	0,25	0,19	0,12	0,34	0,40	0,30	0,19
Gobernanza	0,21	0,26	0,19	0,17	0,22	0,21	0,17	0,28	0,35	0,36	0,32
Valor del IRU	45,50	42,58	40,84	40,19	46,88	45,58	48,59	45,92	49,30	49,47	49,29
Variación respecto al original		2,92	4,66	5,31	1,38	0,08	3,10	0,42	3,81	3,97	3,79

Se compararon los valores obtenidos en cada caso con el inicial para conocer cuán sensible es el índice a cambios en su arquitectura, encontrando que los resultados presentan una variación entre 6% y 10% respecto al valor inicial. Con los nuevos valores obtenidos, el IRU para Medellín sigue estando en la clasificación “media” según la escala de valoración propuesta.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

En el presente trabajo se construyó un índice de resiliencia urbana IRU frente a la variabilidad y el cambio climático, adaptado a las características propias de la ciudad de Medellín, Antioquia. Para ello se realizó revisión bibliográfica de casos de estudio alrededor del mundo, los cuales se tomaron como base para la identificación de las dimensiones y variables que componen el IRU.

El índice está compuesto por 28 variables contenidas en cinco dimensiones: social, ambiental, económica, física, institucional. Este fue construido a partir de la taxonomía de índices, revisión de la literatura y de un conjunto de expertos nacionales e internacionales para su aplicación y validación. El resultado del cálculo del IRU de Medellín para el año 2017 fue **44,6%** y para el año 2018 fue **45,5%**, lo que permite clasificar a la ciudad en un nivel *medio* de resiliencia según la escala de valoración propuesta. Esta condición sugiere que si bien la ciudad cuenta con algunas características de la RU, debe plantear estrategias para aumentar su capacidad de recuperación, aprendizaje y transformación frente a los impactos de la variabilidad y el cambio climático.

Como resultado de la validación se observó que las dimensiones Institucional/gobernanza, social y ambiental son consideradas por los expertos como las de mayor importancia para la resiliencia urbana. Respecto a los resultados de la medición de cada una de las dimensiones, las que obtuvieron un puntaje más alto fueron Institucional/gobernanza, ambiental y económica. De esta manera, el IRU construido permite identificar los principales impulsores de la resiliencia urbana, lo que permite reconocer los componentes que conducen a una mejor resiliencia y establecer objetivos para mejorar la resiliencia de las áreas de bajo puntaje. En cuanto a las variables que jalonan la resiliencia para la ciudad de Medellín se

encuentran principalmente las vinculadas a la *dimensión institucional/gobernanza*, en la cual sobresalen las variables *prevención y atención de desastres* y *políticas sobre CC*. Asimismo, las variables *diversidad económica y biodiversidad* y *servicios ecosistémicos*. Respecto a las variables en las que se debe trabajar para mejorar el IRU de la ciudad se encuentran las relacionadas con la dimensión social como *pobreza y equidad social*, la dimensión física como *población en zonas de amenaza alta* y *construcciones sostenibles* y la dimensión económica como *desempleo e inversión en población vulnerable*.

A pesar de que las dimensiones física y social son consideradas de gran importancia para fortalecer la resiliencia urbana (Bozza et al., 2017), para la ciudad de Medellín estas dimensiones obtuvieron los resultados más bajos, por lo tanto, son las que requieren mayor intervención con el fin de aumentar la resiliencia frente a los efectos de la variabilidad y el cambio climático.

El índice propuesto proporciona un primer intento de medir la resiliencia urbana de la ciudad de Medellín, que permita una visión integral del estado de la ciudad. Por un lado, ofrece una línea de base con la cual se puede evaluar la resiliencia de la ciudad en el futuro para detectar aumentos o disminuciones en su capacidad de adaptación, transformación y aprendizaje. Por otro lado, pone sobre la mesa una propuesta metodológica para medir la resiliencia urbana, que puede ser utilizada por analogía en otras áreas, y los usuarios potenciales pueden evaluar las fortalezas y debilidades del índice.

Finalmente, los resultados de esta investigación pueden ser tenidos en cuenta para discusiones de políticas a implementar en la ciudad que permitan la articulación de cada una de las dimensiones en pro de potenciar su resiliencia. Considerando que no es un trabajo terminado, se plantean las recomendaciones a continuación.

5.2 Recomendaciones

El cálculo del IRU es una buena herramienta para conocer el grado de resiliencia de la ciudad, identificar cuáles son los elementos más resilientes y determinar y priorizar las estrategias de incremento de la resiliencia. Se propone partir de las variables incluidas en el índice plantear estrategias que permitan mejorar esta característica.

Se recomienda continuar con la medición de las variables empleadas para el cálculo del IRU, con el fin que se puedan realizar comparaciones de la resiliencia urbana de Medellín en el tiempo. Es posible que con esta herramienta se puedan identificar los cambios en las variables que hayan influido en una menor o mayor resiliencia de Medellín.

Se recomienda tener en cuenta otras variables que pueden ser determinantes e informar sobre la RU y que, en esta investigación, por el alcance de la metodología, no pudieron tenerse en cuenta. En esta medida el indicador de resiliencia propuesto podría refinarse gradualmente, y la clasificación obtenida podría cambiar.

Se señala el interés y la oportunidad de aplicar y validar la metodología propuesta en otros territorios, primeramente, y teniendo en cuenta que Medellín hace parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se recomienda integrar la medición de estas variables a toda la zona con el fin de calcular el IRU de manera global. Asimismo, se considera de interés aplicar el cálculo del IRU a escala micro (comunas y/o barrios) teniendo en cuenta las marcadas diferencias sociales, económicas, etc. existentes en cada sector, que pueden representar distinciones en los resultados para cada una de las zonas.

A. Anexo 1: Encuesta a expertos

Análisis de Expertos sobre el índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático.

La siguiente entrevista se usará como insumo de información para el desarrollo de la Tesis de Maestría: “Construcción de un índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático. Caso de Estudio: Medellín”.

Las ciudades son el principal foco de los impactos generados por las alteraciones del clima que constituyen uno de los principales factores de riesgo para los sistemas urbanos; así, las grandes ciudades son consideradas como centros de riesgos y primeras víctimas de los grandes desastres y al mismo tiempo, como las principales fuentes de soluciones frente a estos riesgos. Pigeon (2007) y Reghezza et al. (2012). Partiendo del reconocimiento de la vulnerabilidad de las ciudades y los retos que plantean los impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre estas, se plantea la necesidad de que las ciudades se sobrepongan frente a las numerosas presiones que desafían su estabilidad, la resiliencia aparece como un medio para lograrlo.

Esta investigación busca construir un índice de Resiliencia Urbana frente a la variabilidad y el cambio climático para la ciudad de Medellín.

El objetivo de esta encuesta, dada su experiencia en Resiliencia Urbana y/o variabilidad y cambio climático, es contar con su valiosa opinión sobre las dimensiones y variables relevantes en este contexto que deben formar parte de dicho índice.

En esta encuesta hay dos grupos de información, uno de ellos se ha denominado Dimensiones, que son las categorías que reúnen las variables que explican la resiliencia urbana; y el otro grupo son las variables o elementos individuales que conforman dichas dimensiones. Para la conformación de los dos grupos de información mencionados, se realizó una revisión bibliográfica que permitió la pre-identificación de las variables empleadas en la evaluación de la Resiliencia Urbana en el contexto de variabilidad y cambio climático.

Por favor leer detenidamente las variables y dimensiones de agrupación de las mismas, y con base en su experiencia y conocimiento diligencie el formato.

Agradecemos de antemano su colaboración y le estaremos informando sobre los resultados de nuestra investigación

En la **tabla 1** se presenta una breve descripción de las dimensiones y se relacionan las variables identificadas para la medición de la Resiliencia Urbana en el contexto de variabilidad y cambio climático. Favor asignar un peso entre **1 y 100** a cada dimensión, donde 100 es la dimensión de mayor relevancia y **0** la de menor relevancia. La suma de las dimensiones debe ser igual a 100. Asimismo, se debe asignar un peso entre **0 y 100** a las variables asociadas a cada una de las dimensiones, donde 100 es la variable de mayor relevancia y 0 la de menor relevancia. La suma de las variables dentro de cada dimensión debe ser igual a 100.

Dimensión	Peso de la Dimensión	Variables Identificadas	Peso de la Variable
Social: Condiciones sociales asociadas a la capacidad de adaptación, se refiere principalmente a las características de las comunidades que influyen en la resiliencia tales como salud, educación y equidad de la población.		Crecimiento Poblacional	
		Densidad poblacional	
		Educación (Nivel de formación académica)	
		Cobertura de los servicios de salud	
		Equidad social	
		Pobreza	
		Cobertura del servicio de servicios públicos	
		SUMATORIA PESOS VARIABLES (DEBE SER IGUAL A 100)	0
Ambiental: Se refiere a la diversidad y el estado natural del medio ambiente. Estos factores (p.ej. biodiversidad, tasa de deforestación) determinan no sólo la habilidad del ecosistema de adaptarse a un clima cambiante, sino también el funcionamiento de ciertos servicios eco sistémicos de los que los seres humanos dependen críticamente (p.ej. aire limpio, agua potable).		Calidad del agua	
		Calidad del aire	
		Biodiversidad y Servicios eco sistémicos	
		Deforestación	
		Cobertura boscosa	
		Aprovechamiento de Residuos sólidos	
		SUMATORIA PESOS VARIABLES (DEBE SER IGUAL A 100)	0

<p>Económica:</p> <p>Comprende las actividades económicas dentro de las ciudades, como la disponibilidad y distribución de activos financieros, la diversidad en la economía, etc.</p>		Crecimiento económico	
		Desempleo	
		Ingreso per cápita	
		Diversidad económica	
		Inversión Extranjera	
		Inversión en población vulnerable	
		SUMATORIA PESOS VARIABLES (DEBE SER IGUAL A 100)	0
<p>Física/ Infraestructura</p> <p>Provisión y calidad de infraestructura y servicios. Se enfoca principalmente en la infraestructura física como vivienda, infraestructura de transporte, redes de comunicación y morfología urbana.</p>		Calidad de los edificios	
		Población en zonas de amenaza alta	
		Áreas de amenaza y riesgo	
		Infraestructura verde	
		Construcciones sostenibles	
		Red Vial	
		SUMATORIA PESOS VARIABLES (DEBE SER IGUAL A 100)	0
<p>Institucional/ Gobernanza:</p> <p>Se refiere a las instituciones y su participación en los diferentes niveles para el proceso de construcción y percepción de la resiliencia urbana.</p>		Programas de prevención y atención de desastres	
		Cohesión social	
		Empoderamiento de la comunidad	
		Políticas sobre cambio climático	
		Estrategias de sensibilización en variabilidad y cambio climático	
		SUMATORIA PESOS VARIABLES (DEBE SER IGUAL A 100)	0
SUMA TOTAL DIMENSIONES (VALOR DEBE SER 100)			0

Información del encuestado. Por favor, marque con una X su respuesta

1. ¿Cuál es su máximo nivel alcanzado de estudio?

Pregrado	
Especialización	
Maestría	
Doctorado	

2. ¿En qué sector se desempeña?

Consultoría	
Académico	
Sector publico	
Sector privado	

3. Área de trabajo (Por favor mencione de manera explicativa el área donde se ha desempeñado los últimos cinco años. De ser necesario por favor explique la labor que desempeña.)

4. ¿Cuánta ha sido su experiencia en investigación, formación y/o trabajo sobre Resiliencia Urbana?

0 a 12 meses	
12 a 24 meses	
24 a 36 meses	
36 a 48 meses	
Mayor a 48 meses	

5. ¿Cuánta ha sido su experiencia en investigación, formación y/o trabajo sobre variabilidad y cambio climático?

0 a 12 meses	
12 a 24 meses	
24 a 36 meses	
36 a 48 meses	
Mayor a 48 meses	

6. Nombre y apellidos: _____

País de Residencia: _____

Institución donde labora: _____

E-mail de contacto: _____

Los datos serán utilizados solo para fines de la investigación.

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN.

B. Anexo 2: Descripción de dimensiones y variables a incluir en el Índice de Resiliencia Urbana – IRU-

1. **Dimensión social:** esta categoría informa sobre la condición de vida de un individuo en cuanto a nivel social. Las condiciones sociales de un individuo juegan un papel importante dentro de la resiliencia urbana, puesto que dichos aspectos le permitirán flexibilidad al afrontar algún tipo de amenaza (Yoo et al., 2011). Los parámetros de esta dimensión ayudan a describir la vulnerabilidad social, que se define como la incapacidad de las sociedades para resistir ante la exposición de múltiples eventos indeseables, es un estado preexistente de la comunidad que afecta la capacidad de la sociedad para prepararse y recuperarse de un evento indeseable (Chris S. Renschler, Amy E. Fraizer, Lucy A. Arendt & Andrei M. Reinhorn, 2010; Cimellaro et al., 2016). Comprende las siguientes variables:

- ***Crecimiento poblacional***

Es una tasa media anual de cambio del tamaño de la población de un lugar durante un periodo determinado. El crecimiento poblacional es uno de los elementos que afecta la resiliencia de las ciudades (Segob, Sedatu, SNPC, 2016), puesto que un crecimiento poblacional rápido puede restar capacidad a las ciudades para afrontar problemas de importancia social, económica y ambiental. Asimismo originan el aumento de asentamientos humanos en zonas de laderas inestables y zonas no aptas para ser habitadas.

La unidad de medida del de crecimiento de la población es en porcentaje (%).

- ***Densidad poblacional***

Expresa el número total de habitantes de la ciudad en relación con la superficie de la misma. Tiene como principal objetivo medir la concentración de la población humana con respecto al espacio. La relación de la densidad de población con la vulnerabilidad es directa, de manera que una mayor densidad de población supone una mayor presión sobre los recursos de cada zona (Brooks et al., 2005; Cutter y Frinch, 2008), además, también implica la necesidad de atender y dar servicio de emergencia a un mayor número de personas por unidad de superficie.

La unidad de medida es Habitantes por kilómetro cuadrado (Hab. /km²).

- ***Educación***

La educación es una medida de las habilidades que los individuos tendrían que tener a fin de adaptarse (Moss et al., 2001; Narayanan & Sahu, 2016). En cuanto mayor nivel educativo presente un individuo, mayor es la habilidad de acceder a la información, lo que hace que pueda apropiarse y comprender lo que pasa a su alrededor, permitiendo que pueda implementar estrategias de adaptación ante diferentes fenómenos, como es el caso de los efectos generados por la variabilidad y el cambio climático.

Esta variable se mide con base en los años promedio de educación para la población adulta- 18 años y más de la ciudad.

- ***Acceso a la salud***

Los indicadores de cobertura de los servicios de salud reflejan la medida en que las personas que lo necesitan reciben intervenciones de salud importantes, disminuyendo su vulnerabilidad (Bruneau et al., 2003).

La cobertura universal en salud busca garantizar el acceso en condiciones de equidad, oportunidad y de calidad a los servicios de salud que requiera según sus necesidades. Sin embargo, el hecho de estar asegurado al Sistema de Salud no garantiza en su totalidad el acceso bajo estas condiciones ideales a los servicios

de salud, pues existen barreras relacionadas con la oferta y la demanda de estos servicios que pueden incidir en la probabilidad de acceder efectivamente a ellos. La unidad de medida es porcentaje (%).

- ***Equidad social***

Se refiere a las condiciones socioeconómicas de las ciudades que promueven la igualdad de derechos y oportunidades para sus habitantes. Estas condiciones socioeconómicas influyen en la forma en que las personas experimentan el cambio climático y se adaptan a su impacto. Pues, aunque el cambio climático afecta a todos, tiene un mayor impacto en aquellas poblaciones que carecen de acceso y control sobre los recursos, el poder y el conocimiento, lo que a su vez determina las responsabilidades que se les asignan, las actividades que realizan y las oportunidades de toma de decisiones. Estos elementos, influyen en las formas en que las comunidades experimentan y responden al cambio climático, lo que puede exacerbar la desigualdad social.

El reconocimiento de que la variable ingreso no debería ser el único indicador para medir desigualdad, tanto porque no es el único resultado que le importa a la gente, han llevado a que diversos organismos internacionales construyan índices que combinan varias dimensiones del bienestar para dar cuenta de las diferencias entre países, regiones y ciudades. Es el caso del Índice Multidimensional de Condiciones de Vida -IMCV-, el cual contempla 40 variables que determinan el índice de desigualdad de las ciudades. Este índice va de cero (0) a cien (100), siendo cero el menor nivel de condiciones de vida y cien el mayor nivel.

La unidad de medida es porcentaje (%).

- ***Pobreza***

Se define la como la ausencia de oportunidades o de acceso a unos mínimos de “capacidades” necesarios para el desarrollo de cada persona.

Se mide a partir del Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) es un índice compuesto de cinco dimensiones de calidad de vida y no incluye ingresos. Su ventaja está en la posibilidad de analizar múltiples dimensiones de la pobreza que pueden ser experimentadas simultáneamente por un hogar. En Colombia, el IPM consta de cinco dimensiones, las cuales se miden a nivel de hogar: i) condiciones educativas, ii) condiciones de la niñez y juventud, iii) salud, iv) trabajo y v) condiciones de la vivienda y servicios públicos domiciliarios. Estas dimensiones se dividen en 15 variables y un hogar con privaciones en al menos 5 variables (que representan el 33% de las privaciones) se considera en condición de pobreza multidimensional (DNP, 2011).

La unidad de medida es porcentaje (%).

- ***Servicios públicos***

Contar con los servicios básicos adecuados es una condición previa para lograr resultados satisfactorios frente a la pobreza, el hambre y la preservación de los recursos naturales. Que las personas tengan acceso a agua de buena calidad por ejemplo, contribuye a incrementar su productividad y mejorar su salud, factores claves en sus actividades diarias (Santosh et al., 2000). Los servicios evaluados en el estudio son: la energía eléctrica, el agua potable, el alcantarillado o tratamiento de agua residual, servicio sanitario y el gas propano como medio para cocinar alimentos.

La unidad de medida es porcentaje (%).

2. **Dimensión Ambiental:** esta categoría mide la capacidad del sistema ecológico para volver a su condición previa al evento definida como su funcionalidad básica. Esta dimensión mide la capacidad de un ecosistema para hacer frente a las perturbaciones, pero también la cantidad de perturbaciones que un ecosistema puede absorber sin variar considerablemente sus procesos y estructuras. Para medir la funcionalidad y la capacidad de recuperación de los ecosistemas, deben integrarse indicadores clave, como la calidad del aire, el agua y el suelo, la biodiversidad y otros recursos naturales (Carpenter, Walker, Anderies, & Abel, 2001; Cimellaro et al., 2016). Comprende las siguientes variables:

- **Calidad del agua**

Evalúa la calidad del agua en la ciudad a partir del índice de calidad del agua para corrientes superficiales – ICACOSU, este indicador da cuenta de los niveles de contaminación superficial de cuerpos de agua. Sus valores oscilan entre 0 (la peor calidad del agua posible) y 1 (la mejor calidad del agua posible) y establece intervalos con criterios cualitativos para dar cuenta de la calidad del agua, así:

Tabla 8: Intervalos para la medición de la calidad del agua
Fuente: IDEAM

<i>Intervalo</i>	<i>Descripción</i>
0 – 0,25	Calidad del agua “muy mala”
0,26 – 0,50	Calidad del agua es “mala”
0,51 – 0,70	Calidad del agua es “regular”
0,71 – 0,90	Calidad es “aceptable”
0,91 – 1	Calidad es “buena”

- **Calidad del aire**

Para esta variable, se tiene en cuenta la medición de material particulado inferior a 2.5 micras de diámetro (PM2.5) que es uno de los contaminantes presentes en mayor medida en ambientes urbanos (OMS, 2006).

Se mide a partir del Índice de Calidad del Aire (ICA), que interpreta los niveles de las concentraciones medidas en µg/m³.

- **Biodiversidad y servicios eco sistémicos**

Hace referencia a aquellos ecosistemas que se encuentran en la ciudad y constituyen hábitats naturales cuya riqueza es importante para la conservación de la biodiversidad. Toda actividad humana depende en última instancia del buen funcionamiento de los ecosistemas y de los flujos de servicios que éstos proveen (Heal, 2000; Corvalán et al., 2005). Por lo tanto, cuanto más biodiversidad, mayor resiliencia, por lo tanto mayor capacidad para enfrentar cambios.

En esta variable se tiene en cuenta la **Cobertura boscosa**, representada por las zonas boscosas las cuales son de gran importancia para combatir los efectos del cambio climático, brindan servicios ambientales que benefician, directa o indirectamente, a todas las comunidades humanas, incluida la protección de cuencas hidrográficas, la regulación climática regional, purificación del aire, almacenamiento de carbono, y recreación. (Thompson, I.; Mackey, B.; McNulty, S.; Mosseler, A. ,2009). Por lo tanto, una mayor cantidad de zonas boscosas tendrá un efecto positivo en la capacidad de resiliencia de las ciudades.

Esta variable se mide con base en el número de Áreas protegidas y de interés estratégico con plan de manejo implementado en la ciudad.

La unidad de medida es número.

- **Deforestación**

La deforestación se entiende como la pérdida de cobertura boscosa, lo que ocasiona pérdida de biodiversidad, alteraciones del clima global ya que se reduce la capacidad de los bosques para absorber el dióxido de carbono (CO₂), e impactos sociales pues, con la disminución de los bosques, las personas pueden beneficiarse menos de los recursos naturales que estos ecosistemas proveen. Por lo tanto, la deforestación reduce la capacidad de resiliencia de los ecosistemas y a su vez de las ciudades.

Se mide de acuerdo a la escala establecida en el índice de competitividad de las ciudades, el cual establece una escala de 0 (mejor) a 10 (peor) para la tasa de deforestación en las ciudades.

- **Aprovechamiento de los residuos sólidos**

Los gases de efecto invernadero provenientes de los desechos son un factor fundamental que contribuye al cambio climático. Por lo tanto garantizar una gestión eficaz y adecuada de los residuos sólidos podría representar una reducción en las emisiones de carbono, lo que es crucial para promover la resiliencia de las ciudades

La mejora de la gestión de los desechos ayudará a las ciudades a ganar resiliencia frente a las condiciones climáticas extremas que producen inundaciones, dañan la infraestructura, desplazan a comunidades y destruyen sus medios de subsistencia.

Esta variable muestra el porcentaje de residuos sólidos que no se llevan al relleno sanitario, sino que por el contrario, son aprovechados y re-inducidos a la cadena productiva, por medio del reciclaje o la reutilización. Su unidad de medida es porcentaje (%).

- 3. Dimensión Económica:** esta categoría hace referencia a la actividad económica de las ciudades así como a su desarrollo y crecimiento económico. Las ciudades resilientes se caracterizan por su capacidad para reemplazar bienes, servicios y cambiar los patrones de empleo cuando es necesario, en otras palabras, están asociados con el empleo, la variedad en la producción y los servicios. La dimensión económica consta de tres subcategorías: (1) la producción dentro de la industria, (2) la distribución del empleo dentro de la industria, y (3) los servicios financieros. (Cimellaro et al., 2016).

Comprende las siguientes variables:

- ***Crecimiento económico***

Se mide a partir del crecimiento del producto interno bruto (PIB), que es el total de bienes y servicios producidos en un país durante un período de tiempo determinado, representa un elemento de referencia para determinar el desempeño económico de un país o un territorio. La unidad de medida es porcentaje (%).

- ***Desempleo***

Expresa el nivel de desocupación entre la población económicamente activa. Una baja tasa de desempleo significa que hay más hogares con ingresos, que luego son invertidos en la economía local, promoviendo el crecimiento económico, a la vez que influye en la reducción de la pobreza y vulnerabilidad de los habitantes de las ciudades. La unidad de medida es porcentaje (%).

- ***Ingreso per cápita***

El ingreso per cápita es uno de los indicadores vinculados a la tasa de crecimiento económico y el nivel de calidad de vida en un País. Es un cálculo que se realiza para determinar el ingreso que recibe, en promedio, cada uno de los habitantes de una región; es decir, en promedio, cuánto es el ingreso que recibe una persona para subsistir. Este cálculo es importante para determinar el nivel de vida promedio y tener referencia del bienestar de la población.

Las regiones que muestran mejores valores en este índice suelen tener condiciones materiales mucho más desarrolladas, condiciones que inevitablemente se proyectan en el bienestar general. Se mide con base en el porcentaje (%) de crecimiento del ingreso per cápita.

- ***Diversidad económica***

Indica las diferentes actividades económicas de las ciudades, que le proporcionan crecimiento económico. Una alta diversidad económica se traduce en un mayor crecimiento económico, ya que incrementa la productividad, la innovación y la atracción de capital humano valioso, factores importantes para alcanzar el éxito urbano. El aumento de la diversidad distribuye el riesgo, lo que conduce a una mayor capacidad de recuperación, mientras que la dependencia a un sector económico para la generación de ingresos crea una forma de vulnerabilidad económica para las ciudades (Cutter, S.; Boruff, B.; Shirley, W., 2003).

Se mide de acuerdo a la escala establecida en el índice de competitividad de las ciudades, el cual establece una escala de 0 (peor) a 10 (mejor) para la diversificación de la de la canasta exportadora.

- ***Inversión Extranjera***

Existe una relación directa entre el crecimiento económico y la inversión extranjera directa, esta es considerada como una fuente positiva de beneficios para las economías receptoras. Estos beneficios se derivan en un mayor crecimiento en las industrias y la posibilidad de que las firmas extranjeras estimulen las innovaciones en las economías receptoras

Se mide como el saldo de inversión extranjera directa (IED) expresado en % en cooperación recibida y cooperación ofertada como proporción del presupuesto municipal anual ejecutado.

- ***Inversión en población vulnerable***

Se mide como la proporción del presupuesto de la ciudad destinado a Inversión en población vulnerable, con el fin de mejorar las condiciones de vida de las personas. Una mayor inversión se puede interpretar como una mejora en las condiciones de vida de los habitantes, lo que disminuye su vulnerabilidad.

La unidad de medida es porcentaje (%).

- 4. Dimensión Física/ Infraestructura:** esta categoría da información de la calidad y la situación de los sistemas de estructuras necesarios para que la población desarrolle sus actividades en el territorio. Comunidades con la infraestructura necesaria para el desarrollo de la población contribuyen en la capacidad de hacer frente a situaciones inesperadas. La funcionalidad de las infraestructuras físicas tiene un impacto importante en el proceso de restauración después de un desastre; por lo tanto, los servicios gubernamentales organizados trabajan activamente para restaurar su funcionalidad. Tales interacciones son esenciales en las comunidades resilientes. (Chris S. Renschler, Amy E. Fraizer, Lucy A. Arendt & Andrei M. Reinhorn, 2010; Cimellaro et al., 2016). Comprende las siguientes variables:

- **Calidad de los edificios**

Relación entre la superficie de edificaciones que cuentan con licencia de construcción y que cuentan con cualificación adecuada para la habitabilidad. La calidad deficiente de las edificaciones de la ciudad aumenta su vulnerabilidad. Esta variable se mide a partir del porcentaje (%) de superficie construida con criterios cualificación adecuada para la habitabilidad.

- **Población en zonas de amenaza alta**

Las Áreas de amenaza y riesgo, se definen como aquellas áreas del territorio que incluyen las áreas de amenaza alta por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales; las áreas de riesgo clasificadas como de alto riesgo no mitigable, así como las áreas con condiciones de riesgo. A mayor áreas de amenaza y riesgo en las ciudades, mayor vulnerabilidad.

Esta variable muestra la relación existente entre la cantidad de población que habita en zonas de amenaza alta, frente a la totalidad de la población en el área urbana, en un período determinado. Sus valores oscilan entre cero (0), considerado el peor valor y uno (1), el mejor valor, y establece intervalos como se muestra en la Tabla 9

Tabla 9: Escalas para medir la población en zonas de amenaza alta
Fuente: Informe de la contraloría: indicadores ambientales

Valor de Referencia (%)	Calificación
Mayor al 7% de población urbana	0
Entre 5,1 y 7 de población urbana	0,3
Entre 3,1 y 5 de población urbana	0,5
Entre 1,1 y 3 de población urbana	0,8
Menor o igual al 1% de población urbana	1

- **Infraestructura verde**

Hace referencia a los corredores verdes y muros verdes construidos en la ciudad, los cuales apuntan al mejoramiento del ambiente y la calidad de vida

de los habitantes. Son considerados componentes de gran relevancia para el “sustento de los procesos ecológicos esenciales del territorio y para la oferta de servicios ecosistémicos” (Departamento Administrativo de Planeación, 2014). Una mayor cantidad de infraestructura verde, representa más corredores ecológicos, fomentando así la conservación de la biodiversidad que incrementa la resiliencia ambiental de las ciudades. Se mide a partir de la cantidad de metros cuadrados (m²) construidos.

- ***Construcciones sostenibles***

Una construcción sostenible es aquella que está en sincronía con el sitio, hace uso de energía, agua y materiales de un modo eficiente y provee confort y salud a sus usuarios. Todo esto es alcanzado gracias a un proceso de diseño consciente del clima y la ecología del entorno donde se construye la edificación.

Incide en la resiliencia de las ciudades en la medida en que este tipo de construcciones contribuyen enormemente en la reducción de emisiones de CO₂, pues se basan en la adopción de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en todo tipo de edificios, que reconoce la construcción de espacios responsables con el medio ambiente, y cuyo diseño permite el uso eficiente de los recursos naturales. Se mide con base en los edificios certificados como sostenibles respecto al total de edificaciones de la ciudad. Su unidad de medida es porcentaje (%).

- ***Red vial***

La red vial de las ciudades contribuye a la reducción de los riesgos y el fortalecimiento de la capacidad de recuperación económica y física de las personas y los activos de infraestructura. Este indicador, guarda relación con las formas y los niveles de calidad de vida de la población en las regiones, en la medida que la red vial se constituye en un medio económico de comunicación y de circulación de mercancías, personas, servicios e información.

Se mide a partir de indicador de densidad vial, que es la proporción de kilómetros lineales de carretera por kilómetro cuadrado. La unidad de medida es kilómetros por kilómetro cuadrado (km/km²).

5. Dimensión Institucional/ Gobernanza: esta categoría hace referencia a las interacciones entre las instituciones y la población. Las instituciones se refieren a las organizaciones públicas y privadas que actúan en el territorio y la gobernanza se refiere a las normas y procesos que influyen el comportamiento de los diferentes actores. Esta categoría influye en la mejora de la RU por el respaldo institucional que darán lugar a respuestas eficaces y adecuadas (Adger et al., 2004; Ostrom, 2009), asimismo, esta dimensión puede proporcionar una medida de cuánto participan los diversos entes gubernamentales en la planificación para la atención de emergencias (Cimellaro et al., 2016).

La gobernanza (es decir, el proceso de toma de decisiones) es un factor importante que afecta la resiliencia. Es probable que los procesos de toma de decisiones que generen resiliencia para los grupos vulnerables sean participativos e inclusivos, permitiendo que las personas y los grupos más afectados por las amenazas climáticas desempeñen un papel activo para determinar la mejor manera de evitarlos (Lebel et al., 2006; Satterthwaite et al. al., 2009). Muchos autores argumentan que la adaptación y la resiliencia requieren que los gobiernos locales rindan cuentas a las poblaciones marginadas, lo cual es diferente de las prácticas actuales que a menudo los discriminan activamente (Moser y Satterthwaite, 2010). Comprende las siguientes variables:

- ***Prevención y atención de desastres***

Comprende los programas en prevención y atención de desastres adoptados en las ciudades con el fin de reducir el riesgo de la población. Reflejan la organización, el desarrollo y la acción institucional para reducir la vulnerabilidad a las pérdidas, la preparación para responder en caso de crisis y la capacidad para recuperarse con eficiencia. Las ciudades resilientes deben contar con una

gestión pública capaz de reducir riesgos y responder de manera efectiva ante la ocurrencia de un desastre natural.

Esta variable se mide a partir de la Política pública para la Gestión del Riesgo de Desastres –GRD, tiene medición 1: “Existen programas de GRD en la ciudad”, y 0: “No existen programas de GRD en la ciudad”.

- ***Cohesión social***

Esta variable es una medida de las redes sociales en las que participa un ciudadano. En estas redes se generan lazos que facilitan la cooperación y el acceso a oportunidades y recursos (Ensor et al., 2015; Mussetta et al., 2016). Un ciudadano aislado que no interactúa con su entorno social pierde la oportunidad de adquirir conocimiento, y aumentar el capital social que puede sostener los medios de vida cuando se producen tensiones (Ifejika Speranza et al., 2014). A mayor número de asociaciones o grupos sociales pertenece una persona, genera mayores redes sociales que le permiten implementar estrategias adaptativas (Narayanan & Sahu, 2016; Below et al., 2012). Esta variable se evalúa a partir del porcentaje (%) de la población que hace parte de una organización o instancia participativa.

- ***Empoderamiento de la comunidad***

Hace referencia a la participación pública, se erige como una herramienta fundamental para afrontar problemas ambientales complejos, como son los riesgos naturales (Brooks et al., 2005; Cutter, 2008).

El empoderamiento de la comunidad es un elemento esencial para la resiliencia. Cuando ocurre una perturbación en una ciudad, las personas que poseen una combinación de conexiones sociales tienen más probabilidades de sobrevivir a la perturbación y de adaptarse más rápidamente a las nuevas circunstancias.

Se mide como el Número de asociaciones de participación ciudadana / Población total municipio. La unidad de medida es porcentaje (%).

- ***Estrategias de sensibilización en variabilidad y cambio climático***

La manera en que una sociedad o individuo percibe e interpreta el riesgo determina la actitud y los mecanismos de respuesta frente a él. Por lo tanto, fomentar el conocimiento sobre cambio climático en la sociedad, aporta a la resiliencia urbana, en cuanto promueve la capacidad de respuesta de la sociedad. Se mide con base en los programas para Sensibilización y educación sobre cambio climático que haya implementado la ciudad.

- ***Políticas sobre cambio climático***

El objetivo de la Política nacional de cambio climático es incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono, que reduzca los riesgos del cambio climático y permita aprovechar las oportunidades que el cambio climático genera.

Para esta variable se tienen en cuenta las políticas que se implementan en la ciudad respecto al cambio climático, como la “Estrategia integral para la gestión del Cambio Climático y la Variabilidad Climática en el Municipio de Medellín” y el “Plan de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático Municipal”. Así como el grado de integración del cambio climático en las políticas, los planes, los programas y los proyectos de desarrollo tanto nacionales como municipales, que representan un enfoque de planificación para reducir la vulnerabilidad. Esta variable tiene medición 1: Existen políticas nacionales y locales sobre CC, y 0: No existen políticas nacionales y locales sobre CC.

C. Anexo 3: Descripción de los expertos encuestados

En la siguiente tabla se relaciona información sobre los expertos que participaron en el análisis y validación del IRU.

. NO.	NIVEL DE ESTUDIO	EXPERTICIA	ÁMBITO DE TRABAJO	UNIVERSIDAD/ INSTITUCIÓN
1	Maestría	Planificación Territorial, evaluación ambiental y resiliencia.	Academia	Politécnico de Milano - Italia
2	Maestría	Planificación Territorial, evaluación ambiental y resiliencia.	Academia	Politécnico de Milano - Italia
3	Doctorado	Urbanismo	Academia	Universidad de Concepción - Chile
4	Especialización	Gestión de proyectos de cambio climático.	Sector Privado	Instituto SARAS - Uruguay
5	Maestría	Modelación de crecimiento urbano. Geografía	Academia	Universidad de Twente - Holanda
6	Maestría	Consultoría en temas ambientales, especialmente en educación ambiental y participación ciudadana. Docente de Geografía, Educación Ambiental, Sustentabilidad y territorio	Academia/ consultoría	Pontificia Universidad Católica de Chile
7	Maestría	Estudios Territoriales, Ambiente y Paisaje.	Academia	Universidad de la República - Uruguay
8	Doctorado	Ciencias ambientales, planificación urbana, adaptación climática, evaluación ambiental y vulnerabilidad ante desastres naturales	Academia	Pontificia Universidad Católica de Chile
9	Doctorado	Educación ambiental Territorio y cultura	Academia	Universidad Nacional de Colombia

. NO.	NIVEL DE ESTUDIO	EXPERTICIA	ÁMBITO DE TRABAJO	UNIVERSIDAD/ INSTITUCIÓN
10	Maestría	Ciencias de la tierra y Medioambientales Ordenamiento Territorial Prevención y atención de desastres Geociencias	Academia	Universidad Nacional de Colombia
11	Doctorado	Ciencias de la tierra y Medioambientales Hidrología	Academia	Universidad Nacional de Colombia
12	Especialización	Geología Medio Ambiente y Geoinformática Gestión del riesgo	Sector Público	Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA
13	Doctorado	Medio Ambiente Geografía Gestión y planificación de recursos hídricos y riesgos naturales Ciencias del cambio climático	Academia	Universidad Pablo de Olavide de Sevilla

D. Anexo 4: Descripción, medición y normalización de las variables

Dimensión	Variable	Indicador	Unidad de Medida	Valores 2017				Valores 2018				Base para valores Máx. Y Mín. (Justificación)	Fuente de Información
				Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización	Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización		
Social	Crecimiento Poblacional	Porcentaje (%) de crecimiento de la población.	%	0,87%	0,00%	0,76%	0,86	0,83%	0,00%	0,76%	0,91	Proyección del crecimiento de la población a 2020	Informe Medellín cómo vamos
	Densidad poblacional	Habitantes por kilómetro cuadrado	Hab./km ²	6.664	0	12.000	0,44	6.720	0	12.000	0,44	Densidad Poblacional óptima http://www.catmed.eu/dic/es/47/densidad-de-poblacion	Informe Medellín cómo vamos
	Educación (Nivel de formación)	Años promedio de educación	Número	10,15	0	12	0,85	10,20	0	12	0,85	Naturales	Informe Medellín cómo vamos

Dimensión	Variable	Indicador	Unidad de Medida	Valores 2017				Valores 2018				Base para valores Máx. Y Mín. (Justificación)	Fuente de Información
				Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización	Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización		
	Acceso a la salud	Afiliados a régimen contributivo + afiliados al régimen subsidiado / población total municipio	%	98,7%	0%	100%	0,99	97,0%	0%	100%	0,97	Naturales	Informe Medellín cómo vamos
	Equidad social	Índice Multidimensional de Condiciones de Vida -IMCV-	%	48,3%	0,0%	100%	0,48	48,8%	0,0%	100%	0,49	Naturales	Informe Medellín cómo vamos
	Pobreza	Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)	%	14,2%	0%	12%	0,82	12,1%	0%	12%	0,99	Por valores Meta (ODS 2020)	Informe Medellín cómo vamos
	Servicios públicos (Cobertura a servicios públicos domiciliarios (energía, acueducto, alcantarillado, aseo)	No. de suscriptores o usuarios de energía - de alcantarillado - de acueducto - de recolección residuos sólidos / No. de domicilios totales en el municipio	%	97,1%	0%	98,1%	0,99	97,5%	0%	98,1%	0,99	Por valores Meta (ODS 2020)	MEData

Dimensión	Variable	Indicador	Unidad de Medida	Valores 2017				Valores 2018				Base para valores Máx. Y Mín. (Justificación)	Fuente de Información
				Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización	Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización		
Ambiental	Calidad del agua	Índice de Calidad del Agua para Corrientes Superficiales – ICACOSU	Número	0,39	0	1	0,39	0,42	0	1	0,42	Según escala de medida establecida	Informe Medellín cómo vamos
	Calidad del aire	Índice de calidad del aire a partir de las concentraciones de material particulado PM2,5 como contaminante crítico.	(µg/m3) microgramos por metro cúbico anual promedio de PM2.5 en el Valle de Aburrá (PIGEC A).	28	0	23	0,78	26,9	0	23	0,83	Por valores Meta	Informe Medellín cómo vamos
	Biodiversidad y Servicios ecosistémicos	Áreas protegidas y de interés estratégico con plan de manejo implementado (Número)	Número	5	0	6	0,83	5	0	6	0,83	Por valores Meta	MEData
	Deforestación	Escala establecida en el ICC	Tasa de deforestación	8,5	10	0	0,85	8,5	10	0	0,85	Escala Establecida por el ICC	Índice de Competitividad de Ciudades

Dimensión	Variable	Indicador	Unidad de Medida	Valores 2017				Valores 2018				Base para valores Máx. Y Mín. (Justificación)	Fuente de Información
				Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización	Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización		
	Aprovechamiento de los residuos sólidos	Porcentaje de residuos sólidos que no se llevan al relleno sanitario, sino que por el contrario, son aprovechados y re-inducidos a la cadena productiva, por medio del reciclaje o la reutilización	%	19%	0%	70%	0,27	23%	0%	70%	0,33	Por valores Meta ODS 2030	Informe Medellín cómo vamos
Económica	Crecimiento económico	Crecimiento del Producto Interno Bruto	%	2,2%	0%	4%	0,55	2,6%	0%	4%	0,65	Por valores Meta	Informe Medellín cómo vamos
	Desempleo	Tasa de desempleo = (Población económicamente activa - Población con empleo) / Población económicamente activa	%	10,8%	0%	9%	0,80	11,2%	0%	9%	0,76	Por valores Meta (ODS 2020)	Informe Medellín cómo vamos

Dimensión	Variable	Indicador	Unidad de Medida	Valores 2017				Valores 2018				Base para valores Máx. Y Mín. (Justificación)	Fuente de Información
				Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización	Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización		
	Ingreso per cápita	Crecimiento del ingreso per cápita	%	2,6%	0%	3%	0,87	2,0%	0%	3%	0,67	Por valores Meta (ODS 2020)	MEData
	Diversidad económica	Diversificación de la canasta exportadora	Escala	9,3	0	10	0,93	9,38	0	10	0,94	Establecidos por el ICC	Índice de Competitividad de Ciudades
	Inversión Extranjera	Porcentaje de inversión extranjera directa ejecutada en el presupuesto municipal	%	19,4%	23,0%		0,16	12,3%	0,0%	23,0%	0,46	Por valores Meta (ODS 2020)	Informe Medellín cómo vamos
	Inversión en población vulnerable	Porcentaje del presupuesto de la ciudad destinado a Inversión de Población vulnerable	%	7,1%	0,0%	8,4%	0,85	8,0%	0,0%	8,4%	0,95		Informe Medellín cómo vamos
Física/ Infraestructura	Calidad de los edificios.	Construcciones con cualificación adecuada para la habitabilidad	%	27,70%	0,00%	100%	0,28	28,45%	0,00%	100%	0,28	Naturales	MEData
	Población en zonas de amenaza alta	Porcentaje de población urbana localizada en zonas de amenaza alta	Escala 0-1	0,69	1	0	0,69	0,80	1	0	0,80	Valores de referencia según el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de	Informe Contraloría General de Medellín

Dimensión	Variable	Indicador	Unidad de Medida	Valores 2017				Valores 2018				Base para valores Máx. Y Mín. (Justificación)	Fuente de Información
				Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización	Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización		
												Desastres (Dagrd)	
	Infraestructura verde	Muros y corredores verdes	m2	10250	0	13314	0,77	13229	0	13314	0,99	Definido por Alcaldía de Medellín	Informe Medellín cómo vamos
	Construcciones sostenibles	Edificaciones que cumplan con una serie de criterios de sostenibilidad	%	0,49%	0	100%	0,005	0,49%	0	100%	0,005		Consejo Colombiano de Construcción Sostenible
	Red Vial	Cantidad de Metros cuadrados de vías (Densidad vial)	%	3,90%	0,00%	4,00%	0,98	3,90%	0,00%	4,00%	0,98	Por valores Meta (ODS 2020)	Informe Medellín cómo vamos
Institucional/ Gobernanza	Prevención y atención de desastres	Política pública para la Gestión del Riesgo de Desastres - GRD	Escala 0-1	1	0	1	1,00	1	0	1	1,00		Área Metropolitana
	Cohesión social	Porcentaje de la población que hace parte de una organización o instancia participativa	%	4,7%	0,0%	5,0%	0,94	5,0%	0,0%	5,0%	1,00	Por valores Meta (ODS 2020)	MEData

Dimensión	Variable	Indicador	Unidad de Medida	Valores 2017				Valores 2018				Base para valores Máx. Y Mín. (Justificación)	Fuente de Información
				Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización	Valor del Indicador	Valor Mínimo	Valor máximo	Normalización		
	Empoderamiento de la comunidad	Participación ciudadana organizada No. de asociaciones de participación ciudadana / Población total municipio	%	4,68%	0,0%	5,0%	0,94	4,68%	0,0%	5,0%	0,94	Por valores Meta (ODS 2020)	MEData
	Políticas sobre cambio climático	Número de planes territoriales de cambio climático (integrales, adaptación o mitigación)	Escala 0-1	1	0	1	1,00	1	0	1	1,00		DNP, MADS.
	Estrategias de sensibilización en variabilidad y cambio climático	Oferta educativa que promueve conocimientos, actitudes y competencias encaminadas a identificar y prevenir problemas ambientales y así contribuir a la mitigación y adaptación al CC.	Escala 0-1	1	0	1	1,00	1	0	1	1,00		DNP, MADS.

Bibliografía

- Abdrabo, M. A., & Hassaan, M. A. (2015). An integrated framework for urban resilience to climate change - Case study: Sea level rise impacts on the Nile Delta coastal urban areas. *Urban Climate*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.005>
- Adger, W. N., Brooks, N., Bentham, G., & Agnew, M. (2004). New indicators of vulnerability and adaptive capacity. *Change*, 5(January), 128. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.2300&rep=rep1&type=pdf>
- Albrechts, L. (2004). Strategic (Spatial) Planning Reexamined. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(5), 743-758. <https://doi.org/10.1068/b3065>
- Ahern, J. (2013). Urban landscape sustainability and resilience: The promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape Ecology*, 28(6). <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9799-z>
- Alexander, D. E. (2013). Resilience and disaster risk reduction: An etymological journey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11). <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2707-2013>
- Angeon, V., & Bates, S. (2015). Reviewing composite vulnerability and resilience indexes: A sustainable approach and application. *World Development*, 72, 140–162. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.02.011>
- Aristizábal, E., Gómez, Julieta. (2007). Inventario de emergencias y desastres en el Valle de Aburrá. Originados por fenómenos naturales y antrópicos en el periodo 1880-2007. *Gestión y Ambiente*, [S.I.], v. 10, n. 2, p. 17-30, mayo 2007. ISSN 2357-5905. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/1409>
- Aristizábal E.; Yokota S. (2008). Evolución geomorfológica del Valle de Aburrá y sus implicaciones en la ocurrencia de movimientos en masa. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 24, pp. 5–18. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/9268/11011>
- Below, T. B., Mutabazi, K. D., Kirschke, D., Franke, C., Sieber, S., Siebert, R., & Tscherning, K. (2012). Can farmers' adaptation to climate change be explained by socio-economic household-level variables? *Global Environmental Change*, 22(1), 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.11.012>
- Blasco, J. E. et al. (2010). Validación mediante el método Delphi de un cuestionario para conocer las experiencias e interés hacia las actividades acuáticas con especial

- atención al windsurf. *Ágora para la educación física y le deporte*, 12 (1), 75-94
- Blake, R., York, N., Curitiba, A. G., Tokyo, T. I., Horton, R., & York, N. (2011). Urban climate: Processes, trends and projections. *First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*, 43–81.
- Bozza, A., Asprone, D., Parisi, F., & Manfredi, G. (2017). Alternative Resilience Indices for City Ecosystems Subjected to Natural Hazards, *0*, 1–19.
<https://doi.org/10.1111/mice.12275>
- Brenkert, A. L., & Malone, E. L. (2005). Modeling vulnerability and resilience to climate change: A case study of India and Indian states. *Climatic Change*, 72(1–2), 57–102.
<https://doi.org/10.1007/s10584-005-5930-3>
- Burton, C. G. (2014). A Validation of Metrics for Community Resilience to Natural Hazards and Disasters Using the Recovery from Hurricane Katrina as a Case Study. *Annals of the Association of American Geographers*, 105(1), 67-86.
<https://doi.org/10.1080/00045608.2014.960039>
- Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), 733-752.
<https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- Caballero Acosta, J. (2011). Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de Aburrá. *Gestión y Ambiente*, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 45-50, sep. 2011. ISSN 2357-5905. Disponible en:
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/29734/39289>
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4(8), 765–781.
<https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- Cartalis, C. (2014). Toward resilient cities - a review of definitions, challenges and prospects. *Advances in Building Energy Research*.
<https://doi.org/10.1080/17512549.2014.890533>
- Chris S. Renschler, Amy E. Fraizer, Lucy A. Arendt, G.-P. C., & Andrei M. Reinhorn, and M. B. (2010). Community Resilience indices are integral of the geospatial - temporal functionality of components, or dimensions, of resilience Population.
- Christiansen, L., Schaer, C., Larsen, C., & Naswa, P. (2016). Monitoring & Evaluation for climate change adaptation: A summary of key challenges and emerging practice. Understanding, discussing and exemplifying the key challenges of M&E for adaptation.
- Cimellaro, G. P., Renschler, C., Reinhorn, A. M., & Arendt, L. (2016). PEOPLES: A Framework for Evaluating Resilience. *Journal of Structural Engineering*, 142(10), 4016063. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001514](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001514)
- Contraloría General de Medellín. (2019). *Estado de los recursos naturales y del ambiente del municipio de medellín 2018 contraloría general de medellín medellín, julio de*

2019.

- Corvalán, C., Hales, S., McMichael, A., Butler, C., McMichael, A., Assessment, M. E., World Health Organization, Sarukhán, J., Millennium Ecosystem Assessment (Program), Millennium Ecosystem Assessment (Program), & World Health Organization. (2005). Ecosystems and Human Well-being. World Health Organization.
- Cumming, G. S., Barnes, G., Perz, S., Schmink, M., Sieving, K. E., Southworth, J., Binford, M., Holt, R. D., Stickler, C., & Van Holt, T. (2005). An Exploratory Framework for the Empirical Measurement of Resilience. *Ecosystems*, 8(8), 975-987. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0129-z>
- Cutter S, Boruff B, Shirley W (2003) Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*. 84. 242-261. 10.1111/1540-6237.8402002
- Cutter, S.L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C.G., Evans, E., Tate, E.C., & Webb, J. (2008). Community and Regional Resilience: Perspectives from Hazards, Disasters, and Emergency Management. CARRI Research Report 1. Disponible en: Community and Regional Resilience Institute, http://www.resilientus.org/library/FINAL_CUTTER_9-25-08_1223482309.pdf
- Cutter, S. L. (2015). The landscape of disaster resilience indicators in the USA. *Natural Hazards*, 80(2). <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1993-2>
- Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2010). Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1). <https://doi.org/10.2202/1547-7355.1732>
- D’Lima, M., & Medda, F. (2015). A new measure of resilience: An application to the London Underground. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.05.017>
- Davoudi, S., Brooks, E., & Mehmood, A. (2013). Evolutionary Resilience and Strategies for Climate Adaptation. *Planning Practice and Research*, 28(3), 307–322. <https://doi.org/10.1080/02697459.2013.787695>
- Davoudi, S., Shaw, K., Haider, L. J., Quinlan, A. E., Peterson, G. D., Wilkinson, C., ... Porter, L. (2012). Resilience: A Bridging Concept or a Dead End? “Reframing” Resilience: Challenges for Planning Theory and Practice Interacting Traps: Resilience Assessment of a Pasture Management System in Northern Afghanistan Urban Resilience: What Does it Mean in Planni. *Planning Theory and Practice*, 13(2), 299–333. <https://doi.org/10.1080/14649357.2012.677124>
- Dhar, T. K., & Khirfan, L. (2017). A multi-scale and multi-dimensional framework for enhancing the resilience of urban form to climate change. *Urban Climate*, 19, 72–91. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.12.004>
- Diaz-Balteiro, L., & Romero, C. (2004). Sustainability of forest management plans: a discrete goal programming approach. *Journal of Environmental Management*, 71(4), 351-359. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.04.001>
- Doocy S., et al (2013) The Human Impact of Floods: A Historical Review of Events 1980-

- 2009 and Systematic Literature Review
doi:10.1371/currents.dis.f4deb457904936b07c09 daa98ee8171a.
- Engle, N. L., de Bremond, A., Malone, E. L., & Moss, R. H. (2014). Towards a resilience indicator framework for making climate-change adaptation decisions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(8), 1295–1312.
<https://doi.org/10.1007/s11027-013-9475-x>
- Ensor, J. E., Park, S. E., Hoddy, E. T., & Ratner, B. D. (2015). A rights-based perspective on adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 31, 38–49.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.12.005>
- Flórez L, Jiménez J, Ochoa A (2016) Simulación de diferentes escenarios de cobertura urbana y vegetal en el balance de energía superficial del Valle de Aburrá. V Congreso de Meteorología Tropical. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19932.18562>
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Fox-Lent, C., Bates, M. E., & Linkov, I. (2015). A matrix approach to community resilience assessment: an illustrative case at Rockaway Peninsula. *Environment Systems and Decisions*, 35(2), 209-218. <https://doi.org/10.1007/s10669-015-9555-4>
- Funfgeld, H. & M. D. (2013). ¿Resilience as a useful concept for climate change adaptation? *Planning Theory & Practice*, 13(2), 324–328.
<https://doi.org/10.1080/14649357.2012.677124>
- Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17(2), 155–167.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002>
- García Valdés, M., & Suárez Marín, M. (2013). El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica Delphi method for the expert consultation in the scientific research. *Revista Cubana de Salud Pública*, 39(392), 253–267.
Retrieved from <http://scielo.sld.cu>
- Gómez-Baggethun, E., Reyes-García, V., Olsson, P., & Montes, C. (2012). Traditional ecological knowledge and community resilience to environmental extremes: A case study in Doñana, SW Spain. *Global Environmental Change*, 22(3), 640-650.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.02.005>
- Guerrero Hoyos, L., & Aristizábal, E. (2019). Estimación y análisis de umbrales críticos de lluvia para la ocurrencia de avenidas torrenciales en el Valle de Aburrá (Antioquia). *Revista EIA*. 16. 97. [10.24050/reia.v16i32.1281](https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1281).
- Gunderson, L. H. (2000). Ecological Resilience—In Theory and Application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1), 425-439.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.425>
- Hardoy, J., Satterthwaite, D. (2009). Urban Development and intensive and extensive risk, background paper for the ISDR global assessment report on disaster risk reduction 2009. London: International Institute for Environment and Development (IIED)

- Harley, M., Horrocks, L., Hodgson, N., & Van Minnen, J. (2008). Climate change vulnerability and adaptation indicators. *European Topic Centre on Air and Climate Change (ETC/ACC) Technical Paper, 9*.
- Hassler, U., & Kohler, N. (2014). Resilience in the built environment. *Building Research & Information, 42*(2), 119-129. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.873593>
- Heal, G. (2000). Valuing Ecosystem Services. *Ecosystems, 3*(1), 24-30. <https://doi.org/10.1007/s100210000006>
- Healey, P. (2007). Urban complexity and spatial strategies: Towards a relational planning for our times. *Urban Complexity and Spatial Strategies: Towards a Relational Planning for Our Times* (pp. 1–328). Routledge Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9780203099414>
- Healey, P., & Upton, R. (2010). Crossing borders: International exchange and planning practices. *Crossing Borders: International Exchange and Planning Practices* (pp. 1–368). Routledge Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9780203857083>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics, 4*(1), 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Hughes K, Fuller R, Bushell H (2013) A Multidimensional Approach to Measuring Resilience. Discussion Paper. <http://oxfamilibrary.openrepository.com/oxfam/handle/10546/302641>
- Ibarrarán, M. E., Malone, E. L., & Brenkert, A. L. (2009). Climate change vulnerability and resilience: current status and trends for Mexico. *Environment, Development and Sustainability, 12*(3), 365-388. <https://doi.org/10.1007/s10668-009-9201-8>.
- IDEAM-UNAL. (2018). *La Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia* (1st ed.). Bogotá D.C.
- IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLERÍA. (2017). *Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC)*. Bogotá D.C. Retrieved from http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023731/TCNCC_COLOMBIA_CMNUCC_2017_2.pdf
- Ifejika Speranza, C., Wiesmann, U., & Rist, S. (2014). An indicator framework for assessing livelihood resilience in the context of social–ecological dynamics. *Global Environmental Change, 28*, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.005>
- IPCC, 2007. Synthesis report: summary for policy-makers [online]. Available from: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spms1.html [Accessed January 2012].
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. *Contribución Del Grupo de Trabajo II Al Quinto Informe de Evaluación Del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático.*, 34.

- Jabareen, Y. (2013). Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. *Cities*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.05.004>
- Jonkman, S. N. (2005). Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods. *Natural Hazards*, 34(2), 151-175. <https://doi.org/10.1007/s11069-004-8891-3>
- Kasperson, R. & Kasperson, J. (2001). Climate Change, Vulnerability and Social Justice.
- Kim, D., & Lim, U. (2016). Urban Resilience in Climate Change Adaptation: A Conceptual Framework. *Sustainability*, 8(4), 405. <https://doi.org/10.3390/su8040405>
- Klein, R. J. T., Nicholls, R. J., & Thomalla, F. (2003). Resilience to natural hazards: How useful is this concept? *Environmental Hazards*, 5(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001>
- Kotzee, I., & Reyers, B. (2016). Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach. *Ecological Indicators*, 60, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.018>
- Krishnamurthy, P. K., Lewis, K., & Choularton, R. J. (2014). A methodological framework for rapidly assessing the impacts of climate risk on national-level food security through a vulnerability index. *Global Environmental Change*, 25, 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.004>
- Leichenko, R. (2011). Climate change and urban resilience. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), 164-168. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.014>
- Lu, P., & Stead, D. (2013). Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam, The Netherlands. *Cities*, 35, 200-212. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.001>
- Marchi L et al (2010) Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management, *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V., 394(1–2), pp. 118–133. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.017
- Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- Montealegre, J. E. (2009). Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. *Nota Técnica IDEAM, METEO/(022–2009)*, 54.
- Montealegre J., & J. Pabon. 2000: La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña–Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*. 2: 7-21. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia
- Morris, C. T. (1982). Morris David Morris," Measuring the Condition of the World's Poor: The Physical Quality of Life Index"(Book Review). *Economic Development and Cultural Change*, 30(4), 887.

- Moss RH, Brenkert AL, Malone EL. Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach. 2001; PNNL-SA-33642, Pacific Northwest National Laboratory, Washington, DC.
- Mussetta, P., Turbay, S., Barrientos, M., & Acevedo, E. (2016). Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia y Argentina, 119–147.
- Narayanan, K., & Sahu, S. K. (2016). Effects of climate change on household economy and adaptive responses among agricultural households in eastern coast of India. *Current Science (00113891)*, 110(7), 1240–1250. <https://doi.org/10.18520/cs/v110/i7/1240-1250>
- Nelson, D. R., Adger, W. N., & Brown, K. (2007). Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework. *Annual Review of Environment and Resources*, 32(1), 395–419. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.051807.090348>
- Nguyen, T. T. X., Bonetti, J., Rogers, K., & Woodroffe, C. D. (2016). Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean and Coastal Management*. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.022>
- Noguera, J. (1998). Técnica de la entrevista. Seminario de desarrollo de habilidades directivas, Barcelona, Departamentos de Dirección de Recursos Humanos, ESADE
- OCDE (Organization for Economic Cooperation and Development) (2003): *OCDE Environmental Indicators: Development, measurement and use Reference Paper*.
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325(5939), 419-422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Parsons, M., Morley, P., Marshall, G., Hastings, P., Glavac, S., Stayner, R., McNeill, J., McGregor, J., Reeve, I. (2016). The Australian Natural Disaster Resilience Index: Conceptual Framework and Indicator Approach.
- Pelling, M. (2011). *Adaptation to Climate Change from resilience to transformation. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.4324/9780203889046>
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., & Grove, J. M. (2004). Resilient cities: Meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. *Landscape and Urban Planning*, 69(4), 369–384. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.035>
- Pimm, S. L. (1984). The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307(5949), 321-326. <https://doi.org/10.1038/307321a0>
- PNUD (1990 a 2011) Informe sobre Desarrollo Humano. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Mundiprensa Libros, Madrid / Fondo de Cultura Económica,

México

- Poveda, G., Waylen, P. R., & Pulwarty, R. S. (2006). Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234(1), 3-27. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.10.031>
- Pratt, C.; Kaly, U.; & Mitchell, J. (2004). The Demonstration Environmental Vulnerability Index (EVI) 2004. In: *SOPAC Technical Report 384*, pp: 323.
- Pratt, C.; Kaly, U.; & Mitchell, J. (2004a). Manual: How to Use the Environmental Vulnerability Index (EVI). SOPAC Technical Report N. 383, 60 pp; 1 appendix, 2 figures. United Nations Environment Programme (UNEP). South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC).
- Pringle, P. (2011). AdaptME toolkit: Adaptation monitoring and evaluation.
- Puertas, O. & Carvajal, Y. (2008). Incidencia de El Niño-Oscilación del Sur en la precipitación y la temperatura del aire en Colombia, utilizando el Climate Explorer. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, (23):104 – 118
- Restrepo, M. del P. (2007). Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín. Recuperado a partir de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Plan+Maestro+de+Espacios+P%C3%BAblicos+Verdes+Urbanos+de+la+Regi%C3%B3n+Metropolitana+del+Valle+de+Aburr%C3%A1>
- Robles, P.; & Rojas, M. D. C. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada*, núm. 18. Recuperado de https://www.nebrija.com/revista-linguistica/files/articulosPDF/articulo_55002aca89c37.pdf
- Saisana, M., & Tarantola, S. (2002). State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development. *Joint Research Centre. Italy: European Commission*, (July), 1–72. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1505.1762>
- Satterthwaite, D. (2008). Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Journal of Environment and Urbanization*, 20, 539 –549
- Schlör, H., Venghaus, S., & Hake, J.-F. (2018b). The FEW-Nexus city index – Measuring urban resilience. *Applied Energy*, 210, 382-392. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.026>
- Schuschny, A., & Soto, H. (2009). Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible Andrés Schuschny. *Cepal*, 109. <https://doi.org/LC/W255>
- Segob, Sedatu, SNPC, O.-H. (2016). Guía de Resiliencia Urbana. *Sedatu*, 1–57. <https://doi.org/Organización de las Naciones Unidas para los asentamientos humanos>

- Sharifi, A. (2016). A critical review of selected tools for assessing community resilience. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.023>
- Sharifi, A., Yamagata, Y., 2016. Principles and criteria for assessing urban energy resilience: a literature review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 60, 1654–1677
- Sharifi, A., Chelleri, L., Fox-Lent, C., Grafakos, S., Pathak, M., Olazabal, M., Yamagata, Y. (2017). Conceptualizing dimensions and characteristics of urban resilience: Insights from a co-design process. *Sustainability (Switzerland)*, 9(6), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su9061032>
- Shaw, K. (2012). Reframing Resilience: Challenges for Planning Theory and Practice. *Plan. Theory Pract*, 13, 308–312.
- Shaw, R. (2015). Climate and Disaster Resilience Index of Asian Cities. Retrieved from <http://www.cger.nies.go.jp/gcp/workshop-on-tools-and-indicators-for-assessing-urban-resilience.html>
- Simmie, J., & Martin, R. (2010). The economic resilience of regions : towards an evolutionary approach, (January), 27–43. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsp029>
- Suárez, M., Gómez-Baggethun, E., Benayas, J., & Tilbury, D. (2016). Towards an Urban Resilience Index: A Case Study in 50 Spanish Cities. *Sustainability*, 8(8), 774. <https://doi.org/10.3390/su8080774>
- Surjan, A., Sharma, A., & Shaw, R. (2008). *CHAPTER 2 UNDERSTANDING URBAN RESILIENCE Community, Environment and Disaster Risk Management* (Vol. 6). Emerald. [https://doi.org/10.1108/S2040-7262\(2011\)0000006008](https://doi.org/10.1108/S2040-7262(2011)0000006008)
- Tearfund (2008). Linking climate change adaptation and disaster risk reduction. Web White Pap. <http://www.tearfund.org/webdocs/Website/Campaigning/CCAandDRRweb.pdf>.
- The Rockefeller Foundation, & ARUP. (2015). City Resilience Index, (December), 16. <https://doi.org/London, United Kingdom>
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., Mosseler, A. (2009). Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change: a synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43. 1-67
- Turner, S., Moloney, S., Fuenfgeld, H., Glover, A., Action, W. A. F. G., & Western Alliance for Greenhouse Action (WAGA). (2014). A Review of the Monitoring and Evaluation Literature for Climate Change Adaptation. Amsterdam University Press.
- Tyler, S., & Moench, M. (2012). A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*, 4(4), 311–326. <https://doi.org/10.1080/17565529.2012.745389>
- Tyler, S., Nugraha, E., Nguyen, H. K., Nguyen, N. V., Sari, A. D., Thinpanga, P., Tran, T. T., & Verma, S. S. (2016). Indicators of urban climate resilience: A contextual approach. *Environmental Science & Policy*, 66, 420-426. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.08.004>
- UNISDR-International Strategy for Disaster Reduction. (2010). Making cities resilient: My

- city is getting ready, 2010–2011. World Disaster Reduction Campaign
- USAID. (2014). Design and Use of Composite Indices in Assessments of Climate Change Vulnerability and Resilience
- Vayda, A.P., Mc Cay, B.J., 1975. New directions in the ecology and ecological anthropology. *Annual Review of Anthropology* 4, 293–306.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2).
<https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>
- Wong-Parodi, G., Fischhoff, B., & Strauss, B. (2015). Resilience vs. Adaptation: Framing and action. *Climate Risk Management*, 10, 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.crm.2015.07.002>
- Xu, H., & Xue, B. (2017). Key indicators for the resilience of complex urban public spaces. *Journal of Building Engineering*, 12(July), 306–313.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.06.018>
- Zuluaga, M. D. and Houze, R. A. (2015). Extreme Convection of the Near- Equatorial Americas, Africa, and Adjoining Oceans as seen by TRMM. *Monthly Weather Review*, 143(1):298–316.