

Planes de acción de adaptación urbana y análisis de vulnerabilidad para Medellín: una propuesta para reducir los efectos del cambio climático desde la planificación territorial

Action plans for urban adaptation and vulnerability analysis for Medellín: A proposal to reduce the effects of climate change from a territorial planning approach

Carolina Pérez-Muñoz¹, Peter Charles Brand², Luis Carlos Agudelo^{1,3}

RESUMEN

El cambio climático es un fenómeno con grandes implicaciones en las ciudades de toda la región y en los procesos de planeación deberían incluirse elementos como la mitigación y la adaptación para minimizar sus efectos. El análisis de vulnerabilidad es una herramienta para aplicar estos elementos de manera acertada; éste evalúa la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de las ciudades y sus resultados permitirían tomar decisiones más acertadas en el ordenamiento territorial y estar preparados para enfrentar el fenómeno. En el caso de Medellín (Colombia), la discusión del cambio climático en la planificación territorial local es muy precaria y este hecho fue corroborado por medio de un análisis de vulnerabilidad, cuyos resultados se ubicaron en una escala media que, de no incluir este factor en los próximos años, pasaría a ser alta. Aunque en la revisión del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) en 2013 se incorpora el fenómeno por primera vez y se destacaron la problemática y los compromisos necesarios en mitigación y adaptación que posibiliten disminuir del grado de exposición y vulnerabilidad ante los eventos climáticos extremos, aún falta compromiso, políticas y programas concretos para hacer esto posible.

ABSTRACT

Climate change is a phenomenon with great implications on the cities throughout the region. Elements such as adaptation and mitigation should be included in territorial planning to minimize its effects. The vulnerability analysis is a tool that allows the correct application of these elements, because it assesses the exposure, sensitivity and adaptive capacity of the cities, and its results would allow for a more accurate decision-making in territorial planning and readiness to face the phenomenon. In the case of Medellín (Colombia) the discussion of the role of climate change in local territorial planning is very precarious and this was corroborated by a vulnerability analysis, whose results revealed a medium vulnerability, with the possibility of becoming a high vulnerability in the coming years if the climate change factor remains excluded from the discussion. The revision of the Territorial Planning Plan (POT, for its initials in Spanish) incorporated this phenomenon for the first time in 2013 and highlighted the problems and the required commitments in mitigation and adaptation, which enable reducing the degree of exposure and vulnerability to extreme climate events; however, there is still a lack of commitment, policies and concrete programs to make this possible.

PALABRAS CLAVE: adaptación; mitigación; vulnerabilidad; ordenamiento territorial; política pública; ciudades.

KEYWORDS: adaptation; mitigation; vulnerability; land-use planning; public policies; cities.

1 Grupo de Investigación Polygesta - Política, Legislación y Gestión Ambiental, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. ORCID Pérez-Muñoz, C.: 0000-0002-9120-9816

2 Escuela de Planeación Urbano-Regional, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

3 Autor de correspondencia. caprezmu@unal.edu.co

Recepción: 6 de septiembre de 2017. Aceptación: 01 de diciembre de 2017

Introducción

El cambio climático es un fenómeno de carácter mundial que afecta a las ciudades y la población alrededor del mundo. Para contrarrestar sus impactos existen dos alternativas: la mitigación, que consiste en reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero o GEI (IPCC, 2007a; Schipper, 2007); y la adaptación que, reconociendo que algunos efectos del cambio climático son inevitables, consiste en generar un desarrollo resiliente y con capacidad de adaptarse al fenómeno, logrando una articulación entre las actividades humanas y el territorio (IPCC, 2007b; Stern, 2007; Garnaut y Rudd, 2008).

En materia de adaptación al cambio climático se destacan los estudios de Butzer (1980), Kelly y Adger (2000), Smit et al. (2000) y Smit y Wandel (2006), en los cuales se asocia la capacidad adaptativa con la vulnerabilidad. La capacidad adaptativa se refiere a la facultad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluyendo la variabilidad del clima y los episodios extremos) para mitigar posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar sus consecuencias (IPCC, 2001; Luers et al., 2003; O'Brien et al., 2004). Esta definición se articula con la de resiliencia, definida por el Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo (2017), como aquella capacidad de un sistema expuesto a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de manera oportuna y eficiente. La vulnerabilidad, por su parte, es definida por el Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) (2001) como el nivel en el que un sistema no puede soportar los efectos del cambio climático y la variabilidad climática y depende de los cambios en la temperatura, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. En consecuencia, para definir estrategias de adaptación, se requiere primero estimar la vulnerabilidad.

En las últimas décadas los impactos del cambio climático en las ciudades se evidencian con mayor magnitud, a saber: aumento de eventos extremos como lluvias fuertes, tormentas, vendavales y deslizamientos, que deterioran las condiciones de habitabilidad y la calidad de vida de las poblaciones. Otros aspectos como el acelerado crecimiento espacial, la sustitución de usos y coberturas de suelos naturales y agrícolas por superficies urbanas, la conformación

de islas de calor, humedad y la contaminación de la atmósfera (Romero et al., 2010) también contribuyen con la aceleración de esos impactos.

Los Planes Acción de Adaptación Urbana (PAAU) son un instrumento de planificación territorial complementaria a escala urbana que tiene en cuenta al cambio climático con el fin de contrarrestar sus efectos y conducir al crecimiento y desarrollo sostenible de las ciudades actuales y futuras (Barton, 2009). Los PAAU proponen analizar la vulnerabilidad de la población y su capacidad de preparación para adaptarse a los posibles impactos de este fenómeno. Integrar esta relación de cambio climático en la planeación urbana contribuiría a disminuir la vulnerabilidad de los territorios, aumentando la capacidad de las comunidades para resistir los eventos extremos y recuperarse. Cualquier evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático requiere un cierto nivel de conocimiento de la magnitud del cambio y de su probable evolución en el tiempo.

En Colombia se ha avanzado en la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático y en la incorporación de mecanismos de adaptación. A nivel nacional se destacan varios estudios del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Primero, se elaboró la segunda comunicación Nacional a la Comisión Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CM-NUCC), en la que se desarrolló una propuesta que le permitiera al país la comparación de la vulnerabilidad en diferentes sectores (IDEAM, 2010). Luego, nace el Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático (INAP) como el primer proyecto de adaptación que se realizó en el país aplicado a los ecosistemas de alta montaña a partir de un análisis de vulnerabilidad (IDEAM, 2011). Finalmente, se realizó el análisis interinstitucional y multisectorial de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para el sector agrícola de la cuenca alta del río Cauca impactando políticas de adaptación; este ejercicio fue una construcción metodológica de análisis de vulnerabilidad en los municipios del área de influencia y los cultivos más susceptibles (Alianza Agricultura, Vulnerabilidad y Adaptación -AVA, 2013).

A nivel departamental se destaca el proyecto denominado "Huila 2050: preparándose para el cambio climático", que incorpora un análisis de

vulnerabilidad para todos los municipios del departamento y de esta forma, priorizar las acciones para cada uno de ellos (Gobernación del Huila, 2014). Y, a escala local, el Plan Regional Integral de Cambio Climático de la Región Capital, Bogotá Cundinamarca (PRICC) incluye un análisis de la vulnerabilidad que tiene en cuenta elementos constitutivos del territorio como las condiciones biofísicas, la biodiversidad, los sectores productivos, las condiciones de vida de la población, entre otros aspectos (IDEAM et al., 2014).

Sin embargo, para el departamento de Antioquia, cuya capital es Medellín, no se encontraron estudios particulares relacionados con el nivel de vulnerabilidad en la región, y las propuestas de planificación enmarcadas en el cambio climático aún son muy débiles. De hecho, según Paniagua y Hernández (2013), la prevención de los efectos asociados al cambio climático y el conocimiento de la vulnerabilidad de los territorios en Antioquia son materias que presentan vacíos y falta de compromiso. En este sentido, las grandes incertidumbres acerca de las posibles pérdidas asociadas a esta problemática permiten justificar una propuesta de intervención temprana en la ciudad de Medellín y una institucionalidad comprometida con la integración del cambio climático en los procesos de planeación y ordenación en los territorios (Paniagua y Hernández, 2013).

El objetivo de este artículo es identificar, por medio de un análisis de vulnerabilidad, la ausencia de la temática del cambio climático en la planificación territorial local en Medellín. El artículo presenta la siguiente estructura: materiales y métodos utilizados para analizar la vulnerabilidad por medio de una evaluación por indicadores; posteriormente se presentan los resultados del análisis que se ubican en una escala media con posibilidades de aumentar dada la ausencia de estrategias de adaptación en Medellín; y por último, una discusión sobre la necesidad de incorporar el cambio climático en la planificación territorial.

Materiales y métodos

El análisis de vulnerabilidad se puede llevar a cabo por medio de tres métodos diferentes. El primero consiste en realizar una evaluación por variables

utilizando la econometría y normalmente se aplica en la estimación de la vulnerabilidad de sistemas agrícolas (Heitzmann et al., 2002). El segundo método fue propuesto por Mansury y Healy (2002) y consiste en analizar las probabilidades de cambio de las variables escogidas; sin embargo, Luers et al. (2003) cuestionan este método por su insuficiencia para abarcar todas las dimensiones que requiere la vulnerabilidad para ser estudiada. El tercer método corresponde a un análisis a partir de indicadores; si bien esta opción permite realizar evaluaciones a diferentes escalas (hogar, barrio, municipio, región o nación) y ponderaciones, los resultados se pueden considerar sesgados debido a su subjetividad. No obstante, su beneficio radica en la posibilidad de evaluar las tendencias de los indicadores escogidos, y además, es un método ampliamente usado (Hebb y Mortsch, 2007; Monterroso, 2012).

Por estas razones, la metodología escogida para la analizar la vulnerabilidad en el caso específico de Medellín es una evaluación a partir del empleo de indicadores que permitieron construir índices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, y calcular los pesos o promedios ponderados (Kaly et al., 1999; Brooks et al., 2005; Eakin y Tapia, 2008). Todos los índices se calculan en dos momentos (base y futuro) con el fin de conocer las implicaciones del cambio climático frente al incremento o modificación de un indicador.

Respecto al índice de exposición, las variables climáticas de base fueron extrapoladas para identificar los cambios en el futuro¹. El índice de exposición base corresponde a la suma de los subíndices escogidos, haciendo énfasis en las variables climáticas de base y omitiendo las variables climáticas futuras. Este índice permite conocer el nivel actual de exposición al cambio climático de la ciudad de Medellín.

1 Para realizar la extrapolación de los datos obtenidos del IDEAM, se eliminaron los valores extraños u *outliers* a través de la desviación típica, donde se espera que el 99,95% (0,9995) de las observaciones se encuentren en el intervalo. Adicionalmente, con base en el criterio de *Chauvenet*, se procedió a suavizar los datos para su extrapolación.

Con los datos suavizados se da paso a su extrapolación. Para la temperatura, los escenarios fueron calculados bajo la ecuación: $SMOOTH = \sqrt{-183.057 + 0,000184212 * AÑO^2}$

Para los datos de precipitación, la ecuación que más se ajustaba (el R^2 más cercano a 1) fue la siguiente:

$Col_3 = \sqrt{-6.31434 \cdot 10^6 + 839519 \cdot \ln(AÑO)}$

Por su parte, el índice de exposición futura incluye las variables climáticas futuras. Los indicadores utilizados para construir el índice fueron: temperatura y precipitación de base (1941-2015) (*VCB*); temperatura y precipitación futura (2016-2040) (*CVF*); frecuencia de eventos extremos (deslizamientos, inundaciones e incendios) (*FEX*); e incidencia en las enfermedades (incidencia del dengue) (*IE*). Los índices de exposición futura se pueden observar en la Tabla 1. Las siguientes expresiones permiten calcular los índices de exposición base y futura.

$$\text{Índice de Exposición}_{\text{Base}} = FEX + CVB + IE \quad (1)$$

$$\text{Índice de Exposición}_{\text{Futura}} = FEX + CVF + IE \quad (2)$$

Los indicadores escogidos para explicar el índice de sensibilidad corresponden a factores urbanos y sociales que pueden verse afectados debido a las modificaciones en el clima y que por ende tienen efectos negativos en las condiciones de vida y de salud de la población urbana. Estos indicadores son: residuos sólidos en toneladas de las unidades residenciales y demás instituciones (*RS*); el recurso hídrico (volumen de aguas residuales y demanda de agua en metros cúbicos) (*RH*); calidad del aire base (presencia del parque automotor en la ciudad a 2014 en número y el nivel de emisiones de CO₂ en la atmósfera en microgramos) (*CAB*); calidad del aire futuro en microgramos (*CAF*); y población en condiciones de pobreza en porcentaje (*PB*). Los índices

de sensibilidad base y futura se calculan entonces a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Índice de Sensibilidad}_{\text{Base}} = RS + CAB + RH + PB \quad (3)$$

$$\text{Índice de Sensibilidad}_{\text{Futura}} = RS + CAF + RH + PB \quad (4)$$

Los indicadores escogidos para calcular los índices de sensibilidad base y futura se presentan en la Tabla 2.

Luers et al. (2003) sugieren que la capacidad adaptativa es la facultad que tiene un sistema de modificar sus circunstancias para moverse a una condición menos vulnerable. Los indicadores escogidos para este estudio se distribuyeron por dimensiones, así: dimensión social (Índice de Calidad de Vida -ICV y coeficiente de Gini) (*DS*); dimensión político-administrativa (porcentaje de ingresos corrientes de libre destinación, el porcentaje de inversión sobre los gastos totales, y sostenibilidad) (*DPA*); dimensión física (clasificación del suelo en hectáreas: rural, urbano, suburbano, protección) (*DF*); dimensión económica de base (*DEB*); Producto Interno Bruto en billones de pesos (*PIB*); y dimensión económica futura (*DEF*). Los indicadores para los índices de capacidad adaptativa base y futura se encuentran en la Tabla 3 y sus expresiones son las siguientes:

$$\text{Índice de Capacidad Adaptativa}_{\text{Base}} = DS + DPA + DEB + DF \quad (5)$$

$$\text{Índice de Capacidad Adaptativa}_{\text{Futura}} = DS + DPA + DEF + DF \quad (6)$$

Tabla 1. Indicadores de los índices de exposición para Medellín (Colombia)

Categoría	Valor observado en 2014-2015 (<i>X</i>)	Promedio (<i>x</i>)	Desviación estándar (<i>DS</i>)	Estandarización (<i>Z</i>)	Fuente de información
1. Frecuencia de eventos extremos					
Número de deslizamientos	2.954	3.079	803	-0,2	Departamento Administrativo de Planeación Municipal-DAPM (2015)
Número de inundación	190	212	59	-0,4	
Número de incendio	48	47	14	0,1	
2. Variables climáticas de base					
Temperatura base 1941-2015 (°C)	25	23,33	0,86	1,9	IDEAM (2016)
Precipitación base 1941-2015	277,10	265,68	60,02	0,2	
3. Variables climáticas futuras					
Temperatura futura 2016-2040 (°C)	24,15	23,97	0,114	1,62	Cálculos del autor
Precipitación futura 2016-2040	285,28	276,40	5,512	0,55	
4. Enfermedades					
Incidencia del dengue 2000-2014	4.412	2.307	3.815,40	0,55179	DAPM (2015)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Indicadores de índice de sensibilidad para la ciudad de Medellín (Colombia)

Categoría	Valor observado en 2014-2015 (X_i)	Promedio (x)	Desviación estándar (DS)	Estandarización (Z)	Fuente de información
1. Residuos sólidos					
Residuos sólidos recolectados 2010-2014 (t)	589.595	543.333,8	30.557,69	1,51	DAPM (2015)
Residuos sólidos generados 2010-2014 (t)	605.887	559.598,4	36.526,16	1,26	
2. Recurso hídrico					
Volumen anual de aguas residuales tratadas (m ³)	42.676.031	42.895.566	1.163.264	-0,18	DAPM (2015)
Demanda de agua en (m ³)	12,4	11,24	0,82	1,41	Martínez et al. (2007)
3. Calidad del aire de base					
Emisión total de CO ₂ anual 2005-2015 (kg)	1.510.387	1.435.001	51.161	1,47	Agudelo (2010)
Número de parque automotor circulante 2010-2014	1.234.946	1.094.307	120.624	1,16	DAPM (2015)
4. Calidad del aire futuro					
Emisión total de CO ₂ anual 2016-2040 (kg)	2.106.228	2.105.450	476,55	1,63	Cálculos del autor
Parque automotor circulante en número 2015-2040	3.224.328	2.273.426	581.840	1,63	
5. Población					
Porcentaje de incidencia de pobreza	16	18	2	-1,01	DAPM (2015)
Tasa de mortalidad por cada mil habitantes	4,9	5,0	0,1	-1	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Indicadores de índice de capacidad adaptativa para Medellín (Colombia)

Categoría	Valor observado en 2014-2015 (X_i)	Promedio (x)	Desviación estándar (DS)	Estandarización (Z)	Fuente de información
1. Dimensión social					
Índice de Calidad de Vida	84,35	83,68	0,39	1,71	DAPM (2015)
Porcentaje de coeficiente de Gini	0,52	0,516	0,01	0,29	
2. Dimensión político-administrativa					
Porcentaje de ingresos corrientes de libre destinación destinados a funcionamiento	35,07	36,542	2,60	-0,56	DAPM (2015)
Porcentaje de inversión sobre los gastos totales	88,68	86,772	1,90	1,00	
Porcentaje de solvencia	4,56	3,016	0,98	1,57	
Porcentaje de sostenibilidad	78,45	52,108	22,25	1,18	
3. Dimensión económica de base					
PIB 2008-2014 a pesos constantes (billones de pesos)	38.090.639	32.918.177	3.736.311	1,38	DAPM (2015)
4. Dimensión económica futura					
PIB 2015-2040 a pesos constantes (billones de pesos)	82.918.643	61.366.718	13.187.242	1,63	DAPM (2015)
5. Dimensión física					
Suelo de expansión (ha)	175,35	387,78	185,78	-1,14	DAPM (2015)
Suelo rural (ha)	26.304,11	26.734,60	377,96	-1,13	
Suelo suburbano (ha)	1.535,97	1.705,29	154,62	-1,09	
Suelo urbano (ha)	11.160,95	10.780,25	341,18	1,11	

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Los resultados obtenidos para los índices fueron ubicados en una escala de 0 a 1, siendo 0 el valor menos expuesto y 1 el valor más expuesto (Tabla 4).

Partiendo de estos resultados, el cálculo del análisis de vulnerabilidad con base en una ponderación igualitaria para las dimensiones externas e internas es:

$$\text{Análisis de Vulnerabilidad}_{Base} = 0,5(IE_{Base}) + 0,25(IS_{Base}) + 0,25(ICA_{Base}) \quad (7)$$

Y para el análisis de vulnerabilidad futura se tiene:

$$\text{Análisis de Vulnerabilidad}_{Futura} = 0,5(IE_{Fut}) + 0,25(IS_{Fut}) + 0,25(ICA_{Fut}) \quad (8)$$

La vulnerabilidad de Medellín en las condiciones actuales fue de 0,47, resultado que se ubica en una escala media. Por otra parte, para 2040 el nivel de vulnerabilidad se calculó en 0,63 (escala alta). En otras palabras, si la ciudad continúa aumentando sus emisiones de GEI, el nivel de exposición y sensibilidad de la ciudad será alto y la capacidad adaptativa con la que cuenta podría no ser suficiente para enfrentar los posibles efectos del cambio climático (Tabla 5).

Es importante anotar que los escenarios escogidos para la temperatura y la precipitación corresponden

a cálculos propios y difieren de los pronosticados por el IDEAM para el mismo periodo. Mientras que los obtenidos por esta investigación dan cuenta de un aumento de 0,45°C para la temperatura y un aumento en la precipitación del 8,32%, los resultados del IDEAM fueron 0,8°C y 4,88%, respectivamente (IDEAM et al., 2015). La razón por la que no se utilizaron los datos del IDEAM es que estas modificaciones en el clima corresponden al departamento de Antioquia y la propuesta de los autores se centra en Medellín, con el fin de evidenciar un escenario crítico específico para la ciudad, pues allí se ubica la mayor parte de la población del departamento y por su importancia en términos económicos y sociales.

Este análisis a través de índices pone en evidencia la necesidad de que Medellín incorpore en el discurso la problemática del cambio climático y se incite a la toma temprana de decisiones en relación a este tema, de tal forma que se fortalezca la capacidad de respuesta. La revisión del POT de Medellín para 2013 comprobó que, si bien este fenómeno interesa al ordenamiento territorial, la ciudad aún no lo ha introducido de forma contundente y esto se refleja en el tratamiento superficial que se dio al tema por parte de los actores participantes en el Concejo Municipal de Medellín (3% en todo el proceso de consulta). Por esta razón, el análisis se enfocó solo en

Tabla 4. Índices de vulnerabilidad base y futura para Medellín (Colombia)

Escala		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
		0-0,20	0,21-0,40	0,41-0,61	0,61-0,80	0,81-1
Índice de exposición base	0,49			X		
Índice de exposición futura	0,67				X	
Índice de sensibilidad base	0,58			X		
Índice de sensibilidad futura	0,66				X	
Índice de capacidad de adaptación base	0,65				X	
Índice de capacidad de adaptación futura	0,72				X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Análisis de vulnerabilidad para Medellín (Colombia)

Índice de vulnerabilidad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	0-0,20	0,21-0,40	0,41-0,61	0,61-0,80	0,81-1
0,502			X		
0,630				X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Principales temas de las discusiones en el Concejo Municipal de Medellín, Colombia

Tema	Participación (Porcentaje)	Tema	Participación (Porcentaje)
Movilidad	19	Cambio climático	3
Estructura ecológica	18	Instrumentos de gestión	2
Espacio público	13	Mercado inmobiliario	1
Usos y actividades económicas	13	Tratamiento e intervenciones	1
Vivienda y hábitat	11	Patrimonio	1
Equipamiento	11	Aprovechamientos y obligaciones	1
Servicios públicos domiciliarios	6	Total	100

Fuente: elaboración propia con base en Alcaldía de Medellín (2014).

dos asuntos: la gestión del riesgo y el abastecimiento de agua (Tabla 6).

La gestión del riesgo en Medellín se lleva a cabo a partir de una estrategia municipal de respuesta a emergencias. Como el cambio climático es un amplificador de las actuales emergencias y es generador de algunas nuevas, la gestión del riesgo en la ciudad se puede analizar por medio de los datos históricos y la frecuencia de eventos extremos. No obstante, el cambio climático va más allá de generar desastres, ya que afecta la salud humana, las condiciones de vida de la población y el modo de habitar las ciudades. Por esta razón, la atención de esta problemática debería incluir componentes estratégicos basados en la adaptación que le permitan a la ciudad estar preparada para los posibles eventos futuros y disminuir su vulnerabilidad actual.

Ahora bien, aunque insuficientes, la ciudad sí planteó recomendaciones dentro del POT (Alcaldía de Medellín, 2014) para enmarcar el cambio climático en el ordenamiento territorial por medio de las siguientes estrategias de adaptación que pueden ser el punto de partida para construir esta herramienta de planificación complementaria:

- § Incorporar proyectos de ciudad como los Lineamientos para el Ordenamiento Territorial para Antioquia (LOTA), la estrategia de protección asociada al Parque Central de Antioquia (PCA), el cinturón metropolitano y Parques del Río; iniciativas potenciales para limitar el crecimiento urbanístico desbordado y fomentar el aumento de la zona verde.
- § Fomentar las ventas de carbono, estrategias de producción limpia y la recolección y tratamiento de residuos sólidos, que contribuirían a controlar

las emisiones, mejorar la calidad del aire y reducir posibles enfermedades en la población.

- § El Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), el Sistema de Información de Alerta Temprana para Antioquia (SIATA), Empresas Públicas de Medellín (EPM), las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), la Secretaría de Medio Ambiente (SMA) y el IDEAM deben trabajar en conjunto con el fin de establecer un proceso sistemático y constante de captura, organización, análisis de la información climática y sus efectos en la ciudad.

Actualmente existe el Plan de Descontaminación del Aire y el Ruido y el Pacto por el Aire y por una Ciudad Sostenible. Estos proyectos podrían garantizar el ordenamiento del territorio en términos de las medidas de mitigación y adaptación que podrían aplicarse, así como la definición de los usos y ocupación del territorio para disminuir la vulnerabilidad al cambio climático, información que también serviría como insumo a las otras estrategias mencionadas anteriormente.

Es necesario aclarar que, más allá de las recomendaciones del POT para incorporar el cambio climático en la planificación territorial, se deben abrir espacios adicionales de tipo educativo, académico y científico para entender el tema, ya que las investigaciones actuales presentan limitaciones en la información existente para la ciudad, disparidad de criterios conceptuales, desactualización de fuentes documentales y/o cartográficas, datos insuficientes, pocas evidencias y bajo conocimiento por parte de los responsables (Alcaldía de Medellín, 2014).

Otros aspectos adicionales que podrían constituirse en elementos para el diseño de lineamientos de ordenamiento territorial en el marco del cambio climático para Medellín son:

- § La construcción de escenarios climáticos locales e información disponible accesible a las comunidades (no solo para las instituciones). La divulgación y el análisis de esta información permitirá una mayor comprensión por parte de todos los actores.
- § Programas educativos desde la escuela y en todos los ámbitos de formación que ayuden a una mejor comprensión de la problemática, sus efectos en la ciudad y cómo poder enfrentarla desde los hogares, a nivel barrial, a escala de ciudad y metropolitana e involucrando a toda la comunidad, la institucionalidad pública y la privada.
- § Se reitera la complementación de los indicadores escogidos en esta propuesta con otros que puedan dar cuenta del nivel de preparación no solo de la sociedad en su ámbito social, cultural y económico, sino también desde la estructura física. Para ello se requiere examinar en detalle los indicadores de capacidad adaptativa escogidos y evaluar la posibilidad de ser analizados a escalas más pequeñas.
- § Desde la estructura física, retomar la Estructura Ecológica Principal (EEP) como la línea base para determinar la construcción de estrategias de protección de los medios de vida y el manejo de los ecosistemas y sus recursos naturales. A ser la EEP el sistema que provee a la ciudad de bienes y servicios ecosistémicos, identificar su estado y generar alternativas para mantenerlos en el tiempo es clave para estar preparados.
- § La articulación institucionalidad-academia debe ser permanente no solo para dar a conocer los avances en materia de climatología, sino también para la generación de estrategias y tecnologías para la adaptación de los servicios y sistemas de vivienda, agua, salud, energía, infraestructura y en general, alternativas que contribuyan a mejorar el nivel de preparación de las ciudades.
- § La priorización de la población más pobre y vulnerable de la ciudad, ya que son el grupo poblacional que puede verse más afectado por este

fenómeno debido a la ubicación de sus viviendas, la precariedad en el acceso a programas de salud y educativos, seguridad alimentaria y la ausencia de ingresos para disponer de servicios que pudiesen mitigar los efectos del cambio climático.

- § El papel de la institucionalidad y la voluntad política para llevar a cabo esta propuesta. Además, la necesidad de enmarcar los programas a nivel regional, nacional e internacional, de manera que se facilite el acceso a recursos para financiar estas políticas y garantizar su continuidad, pues aunque los efectos del cambio climático son inciertos (pueden ocurrir en un largo o en un corto plazo), la población siempre será la mayor afectada.

Todas estas recomendaciones del POT (Alcaldía de Medellín, 2014) y las propuestas de los autores aún requieren de consolidación pues falta la articulación de políticas y acciones por parte de las diferentes instituciones. Aunque posicionar el cambio climático como directriz integral y debidamente coordinada en el ordenamiento territorial es una acción urgente que le permitirá al municipio de Medellín posicionarse frente a las diferentes iniciativas a nivel nacional y regional, no hay suficiente voluntad política para lograr este objetivo.

Discusión

A pesar de las iniciativas existentes en la actualidad, las posibilidades de incluir el cambio climático en el ordenamiento territorial en la ciudad son lejanas debido a varias razones. Por un lado, escasean las investigaciones que combinen el conocimiento científico sobre el cambio climático y sus posibles efectos con la planificación y el diseño de las ciudades. Esto se explica por la ausencia de políticas de investigación y elaboración de mejores sistemas de planificación urbana que den respuesta a los efectos del cambio climático. Inclusive, invertir recursos en políticas de este estilo también conduciría a hacer un cambio radical en la forma como se planifica la ciudad actualmente.

Por otro lado, la articulación entre las necesidades de la ciudad para dar respuesta al cambio climático y las orientaciones de la política pública aún es muy precaria. Aunque los tomadores de decisión

promueven discursos relacionados con el cambio climático, la mayoría de estas políticas no tienen capacidad de ejecución o funcionamiento. Esto se justifica por el hecho de que la climatología presenta muchas debilidades y escalas muy amplias de evaluación, lo que no permite el desarrollo de políticas de adaptación específicas para cada territorio.

Complementario a lo anterior, los gobiernos priorizan las inversiones para solucionar necesidades inmediatas en vez de financiar programas sobre un fenómeno con alta incertidumbre, pues se desconoce en qué momento podrían ocurrir los efectos y aunque se están haciendo esfuerzos por mejorar los modelos, esto requiere de más años de investigación (Mastrandrea et al., 2010). Las ciudades actuales tienen un reto en la planificación territorial y se requiere que los gobiernos locales tomen medidas para proteger los sistemas naturales, el medio ambiente construido y las poblaciones en general. De no ser esto posible, el cambio climático seguirá concibiéndose como un fenómeno que no ocurriría sino en el largo plazo.

El discurso desarticulado que presenta la comunidad científica frente al tema, desligándolo de las elecciones que deben tomarse en materia de política (Tanner y Allouche, 2011, citados por Lampis, 2013) es un error muy común, lo que conlleva a que los tomadores de decisión no encuentren relación entre la academia y la voluntad política. Adicionalmente, para el caso de América Latina no solo se percibe la desarticulación política y académica, sino también una debilidad en la academia en sí, pues se elaboran estudios técnicos muy básicos basados en su mayoría en investigaciones europeas sin enfatizar en las particularidades de cada territorio (Palacio, 2013). De los estudios existentes, Seto y Satterthwaite (2010) argumentan que éstos se han concentrado principalmente en los aspectos naturales, dejando a un lado el hecho de que la producción de GEI proviene mayormente de las actividades humanas, más que de un proceso natural.

Por último, hay otros argumentos relacionados con la opinión pública. Palacio (2013) menciona que un estudio realizado en 2013 en Estados Unidos demostró de qué forma los ciudadanos no creen en la existencia del cambio climático y en la necesidad de prepararse para sus posibles efectos. Aunque, de

acuerdo con el autor, la postura de estos ciudadanos está altamente influenciada con la posición política del Partido Republicano que sostiene una resistencia frente al tema, ya que aceptarlo implicaría un cuestionamiento sobre “el modo de vida americano”.

Respecto a la metodología utilizada, a pesar de las limitaciones encontradas (como las deficiencias en la disponibilidad en la información y las pocas investigaciones relacionadas con el tema en Medellín), se considera que este análisis de vulnerabilidad podría ser un punto de partida para la elaboración de mecanismos de adaptación en la ciudad. Sin embargo, se debe considerar el análisis a diferentes escalas (barrio, comuna, ciudad, metropolitano) para identificar vulnerabilidades más específicas, complementar los análisis con otras metodologías propuestas como el juicio de expertos y análisis por componentes principales, y hacer evaluaciones comparativas con base en los resultados encontrados. En este sentido, aún queda mucho por trabajar en materia del cambio climático y las ciudades, la exploración de sus efectos y la necesidad de incluir a los tomadores de decisión en el conocimiento generado desde la academia.

Por lo tanto, la mejor alternativa para comenzar a implementar la problemática en la ciudad es a partir de programas y políticas públicas. En Ciudad de México, por ejemplo, se creó el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012 (PACCM 2008-2012) como un instrumento de planeación cuyo objetivo es integrar, coordinar e impulsar acciones públicas para disminuir los efectos ambientales y sociales del fenómeno (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal-SEDEMA, 2014). El éxito de este instrumento de planificación radica en la implementación de dos pilares que pueden ser replicados en Medellín: primero, la construcción de una línea base para identificar el estado actual de la ciudad en términos de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa; para ello se requiere del criterio de expertos en la temática que ayuden a poner en consenso los indicadores a evaluar. Segundo, un análisis y diagnóstico del conocimiento de la ciudadanía en torno al fenómeno e incorporación de programas de tipo educativo y académico para que la población se encuentre preparada y tenga conocimiento de los riesgos asociados al cambio climático.

Conclusiones

Dada la importancia del cambio climático y sus efectos, es oportuno que Medellín comience a abordar este fenómeno y sus implicaciones en el entorno urbano. Es por eso por lo que este artículo analiza las decisiones que la ciudad ha tomado en torno a esta problemática con base en los resultados obtenidos del análisis de vulnerabilidad, compuesto por los índices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

En Medellín el fenómeno del cambio climático aún requiere de un mayor abordaje. Por un lado, una mejor comprensión del fenómeno y sus efectos en las ciudades y por el otro, la necesidad de estar preparados en el futuro. Ahora bien, respecto a estos aspectos, si bien una de las dificultades radica en el hecho de que la población aún no comprende la magnitud de la problemática debido a las incertidumbres que genera la climatología sobre cuándo, cómo y dónde podrían ocurrir estos efectos, se insiste nuevamente en el papel que juegan los tomadores de decisión frente a este fenómeno, debilidad encontrada en el caso de Medellín.

Al explorar las estrategias de adaptación desarrolladas en la ciudad estudiada, se pudo observar cómo el POT presentó una iniciativa para abordar el cambio climático, y aunque fue más a manera de discusión, se considera un primer paso para que la ciudad comience a entender la problemática, sus efectos y posibles soluciones. Sin embargo, se requiere de grandes esfuerzos y la articulación de organizaciones para el desarrollo de lineamientos concretos que contribuyan a un instrumento de planificación complementario. El compromiso no solo debe estar reducido a los tomadores de decisión; es necesario un papel más activo por parte de la academia con más investigaciones sobre este fenómeno que puedan brindar herramientas para tomar decisiones más acertadas de planificación en la ciudad.

Agradecimientos. Este trabajo se llevó a cabo gracias al acompañamiento del profesor Peter Charles Brand y el profesor Luis Carlos Agudelo quien contribuyó con su apoyo y dedicación incondicional; lamentamos su pérdida y esperamos que su legado continúe.

Contribuciones de autoría. Pérez-Muñoz, C.: escritura, investigación y cálculo del análisis de vulnerabilidad; Charles-Brand, P.: asesoría en la investigación sobre cambio climático; Agudelo, L.C.: asesoría en la metodología de análisis de vulnerabilidad.

Conflicto de intereses. El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloque en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

Bibliografía

- Agudelo, L., 2010. La ciudad sostenible. Dependencia ecológica y relaciones regionales. Un estudio de caso en el área metropolitana de Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Alcaldía de Medellín, 2014. Determinantes y lineamientos normativos relacionados con la adaptación al cambio climático en el POT. Ordenamiento Territorial: Documento técnico de soporte Tomo 3b, Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín. Disponible en: Alcaldía de Medellín, Medellín, Colombia.
- Alianza AVA -Agricultura, Vulnerabilidad y Adaptación-, 2013. Análisis interinstitucional y multisectorial de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para el sector agrícola de la cuenca alta del río Cauca. Impactando políticas de adaptación. IDEAM, Bogotá.
- Barton, J., 2009. Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Rev. Geogr. Norte Gd.* 43, 5-30. DOI: 10.4067/S0718-34022009000200001
- Brooks, N., Adger, N., Kelly, M., 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environ. Change* 15, 151-163. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006
- Butzer, K., 1980. Adaptation to global environmental change. *Prof. Geogr.* 32, 269-278. DOI: 10.1111/j.0033-0124.1980.00269.x
- Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, 2017. Terminología sobre gestión del riesgo de desastres y fenómenos amenazantes. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Bogotá.
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal-PAPM, 2015. Sistema de indicadores estratégicos de Medellín - SIEM. Disponible en: Alcaldía de Medellín, Medellín, Colombia.
- Eakin, H. y Bojórquez-Tapia, L., 2008. Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environ. Change* 18, 112-127. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2007.09.001

- Garnaut, R., y Rudd, K., 2008. Climate change review: report to the commonwealth, state and territory governments of Australia. Cambridge University Press, Port Melbourne, Australia.
- Gobernación del Huila, 2014. Plan de cambio climático Huila 2050: preparándose para el cambio climático. Neiva, Colombia.
- Hebb, A., y Mortsch, L., 2007. Floods: mapping vulnerability in the upper Thames watershed under changing climate, Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions. Canadian Foundation for Climate and Atmospheric Sciences, Ontario Canadá.
- Heitzmann, K., Canagarajah, R.S. y Siegel, P.B., 2002. Guidelines for assessing the sources of risk and vulnerability. World Bank Social Protection Discussion Paper, Washington.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2010. Segunda comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2011. Resultados, proyecto nacional piloto de adaptación -INAP. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM; PNUD; Alcaldía de Bogotá; Gobernación de Cundinamarca; CAR; Corpoguaivio; Instituto Alexander von Humboldt; Parques Nacionales Naturales de Colombia; MADS; DNP, 2014. Vulnerabilidad de la región capital a los efectos del cambio climático. Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá - Cundinamarca (PRICC), Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLERÍA, 2015. Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2016. Valores totales diarios de precipitación y temperatura 1941-2015. Base de datos enviada por correo electrónico.
- Kaly, U., Brigugilo, L., McLeod, H., Schmsall, S., Pratt, C., Pal, R., 1999. Environmental vulnerability index (EVI) to summarize national environmental vulnerability profiles. SOPAC Technical Report 275. SOPAC, La Jolla, CA.
- Kelly, P., Adger, W., 2000. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Clim. Change* 47, 325-352. DOI: 10.1023/A:1005627828199
- Lampis, A., 2013. La adaptación al cambio climático: el reto de las dobles agendas. En: Postigo, J., (Ed.), Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas. Una vinculación necesaria. CLACSO; ICAL, Chile. pp. 29-50.
- Luers, A., Lobell, D., Sklar, L., Addams, C., Matson, P., 2003. A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, México. *Global Environ. Change* 13, 255-267. DOI: 10.1016/S0959-3780(03)00054-2
- Mansury, G., Healy, A., 2002. Vulnerability prediction in rural Pakistan. IFPRI World Bank Conference on Risk and Vulnerability: Estimation and Policy Implications, Washington, DC.
- Martínez, E., Bedoya, J., Correa, M., Muñoz, A., Paz, J., Morales, O., Romero, A., Marín, A., Montoya, A., 2007. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población Medellín y su área metropolitana. Diagnóstico ambiental. Documento 2. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Mastrandrea, M., Heller, N., Root, T., Schneider, S., 2010. Bridging the gap: linking climate-impacts research with adaptation planning and management. *Clim. Change*, 100, 87-101. DOI: 10.1007/s10584-010-9827-4
- Monterroso, A., 2012. Contribución al estudio de la vulnerabilidad al cambio climático en México. Tesis de doctorado. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L., West, J., 2004. Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Global Environ. Change* 14, 303-313. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2004.01.001
- Palacio, G., 2013. Cambio climático, retórica política y crisis ambiental: una nueva interfase entre ciencias naturales y ciencias sociales. En: Postigo, J. (Ed.), Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas. Una vinculación necesaria. CLACSO; ICAL, Chile. pp. 51-74.
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2001. Anexo B, glosario de términos. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2007a. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2007b. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Paniagua, E., Hernández, D., 2013. La perspectiva del cambio climático en el departamento de Antioquia. *Rev. Trilógia* 9, 115-130.

- Romero, H., Irrázaval, F., Opazo, D., Salgado, M., Smith, S., 2010. Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. *Eure* 36, 35-62. DOI: 10.4067/S0250-71612010000300002
- Schipper, L., 2007. Climate change adaptation and development: exploring the linkages. Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich, UK.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SEDEMA), 2014. Programa de acción climática de la Ciudad de México 2014-2020. México DF.
- Seto, K., Satterthwaite, D., 2010. Interactions between urbanization and global environmental change. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2, 127-128. DOI: 10.1016/j.cosust.2010.07.003
- Smit, B., Burton, I., Klein, R., Wandel, J., 2000. An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Clim. Change* 45, 223-251. DOI: 10.1023/A:1005661622966
- Smit, B., Wandel J., 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environ. Change* 16, 282-292. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008
- Stern, N., 2007. *The economics of climate change: the stern review*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. DOI: 10.1017/CBO9780511817434