

## Contenido

1. Capítulo 1. Marco para la planeación urbana y propuestas de análisis desde los diferentes sectores...	2
1.1. Ecología urbana .....	4
1.2. Manejo integrado del agua.....	7
1.3. El suministro y uso de energía .....	9
1.4. La gestión de los residuos .....	13
1.5. Movilidad sostenible.....	14
1.6. Edificaciones e infraestructura urbana (hacia una ciudad con entornos construidos sostenibles)	17
Referencias.....	20

# **1. Capítulo 1. Marco para la planeación urbana y propuestas de análisis desde los diferentes sectores**

Las ciudades colombianas han contado desde la década de 1950 con planes piloto y planes reguladores urbanísticos y posteriormente con planes de desarrollo y de ordenamiento territorial, desde 1997, que obedecen a enfoques y a criterios técnicos de diferente tipo. Algunos planes se centran casi exclusivamente en la escala municipal mientras que otros integran criterios y análisis regionales. Entre estos últimos, existen algunos casos relevantes como lo son las áreas metropolitanas que se desarrollaron en las décadas de 1960 y 1970. Se destaca el caso del área metropolitana del Valle de Aburrá, AMVA, que integra diferentes municipios incluyendo a la ciudad de Medellín.

En un contexto planeación urbana, se han considerado diversas aproximaciones con respecto a los principios o ejes articuladores que deberían guiar la manera de realizar el desarrollo. Usualmente los desarrollos urbanos se abordaron desde la perspectiva del uso del suelo, las necesidades de transporte y espacio público y el desarrollo de edificaciones y equipamientos e infraestructura urbana. El suministro de agua y su tratamiento, el suministro de energía y su uso y la gestión de los residuos fueron vistos desde la óptica de servicios e infraestructuras asociadas que era necesario gestionar, pero con las cuales se contaba sin mayores análisis sobre formas más eficientes, descentralizadas o limpias para lograr la atención de estos requerimientos de la población y mucho menos desde la óptica de una menor huella de carbono en su desarrollo y operación. Igualmente, la oferta de espacio público y de zonas verdes ha cumplido con unos estándares establecidos por habitante o por área física.

Este trabajo parte de un enfoque sectorial para proponer elementos útiles para la planeación y operación de proyectos urbanísticos y ciudades. El esquema conceptual propuesto para abordar el análisis de un desarrollo urbano se presenta en la Figura 1. Los propósitos superiores u objetivos corresponden a: buen uso del suelo, la maximización de servicios ecosistémicos, una gestión eficiente de recursos y residuos, una oferta de bienes públicos para mejorar el bienestar de la población y considerar la innovación, conectividad y economía.

Con esto en mente, y tomando en consideración la importancia de considerar aspectos ecológicos, económicos, sociales y estéticos dentro de los procesos de planeación urbana se proponen como ejes de soporte los servicios ecosistémicos y el manejo sostenible del agua. A nivel urbano los servicios ecosistémicos dependen de la cantidad y calidad de infraestructura verde (áreas protegidas urbanas, parques, corredores verdes, jardines, bosques, humedales), por lo tanto el desarrollo urbano al modificar dicha infraestructura en composición y forma puede generar impactos en la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos [1]. Desde la planificación urbana y mediante la evaluación de escenarios y modelos, abordando las relaciones entre la naturaleza, los beneficios para la población y calidad de vida, los escenarios y modelos no solo proporcionan herramientas útiles, sino que agregan valor al uso del conocimiento científico y territorial [2]. Los indicadores utilizados tradicionalmente (como por ejemplo m<sup>2</sup> de superficie verde por habitante son importantes para verificar mínimos normativos) resultan insuficientes para valorar atributos de conectividad, ubicación relativa, biodiversidad y por consiguiente, para valorar funcionalidad socio-ecológica, la oferta de servicios ecosistémicos y contribución de los mismos a la solución de problemáticas específicas como la depuración de aire, control micro climático, control de inundaciones, preservación de especies, suelos, recarga de acuíferos, disminución de estrés urbano, salud entre otros.

Muy articulado con estrategias para la sostenibilidad ecológica está la propuesta de manejo del agua en entornos urbanos con aproximaciones que involucran la construcción de infraestructura urbana adaptativa y multifuncional, que refuerza los comportamientos sensibles al agua como respuesta al cambio climático.

De esta manera, una ciudad sensible al agua integra seguridad hídrica, control de inundaciones, salud pública, normativas relacionadas con la recuperación y protección de los cuerpos de agua, amenidad, habitabilidad y sostenibilidad económica. Adicionalmente, la comunidad interactúa activamente con el agua, lo que genera que tengan mayor conciencia sobre el valor de la misma.

A partir de allí y tomando en consideración los avances conceptuales y tecnológicos orientados a la descarbonización de las economías sin afectar el crecimiento y el desarrollo social, se exploran alternativas sostenibles para el suministro de energía con fuentes limpias y locales y el uso eficiente; la gestión eficiente de residuos, su reúso y reciclado durante las etapas de construcción y operación de los proyectos; la movilidad limpia y eficiente en cuanto a modos y tecnologías que reduzcan las externalidades negativas por contaminación, congestión y siniestralidad al tiempo que ofrecen un mejor servicio; y mejores diseños y materiales para la construcción y operación de las edificaciones e infraestructuras asociadas. Estas finalidades se exploran en este trabajo de investigación.

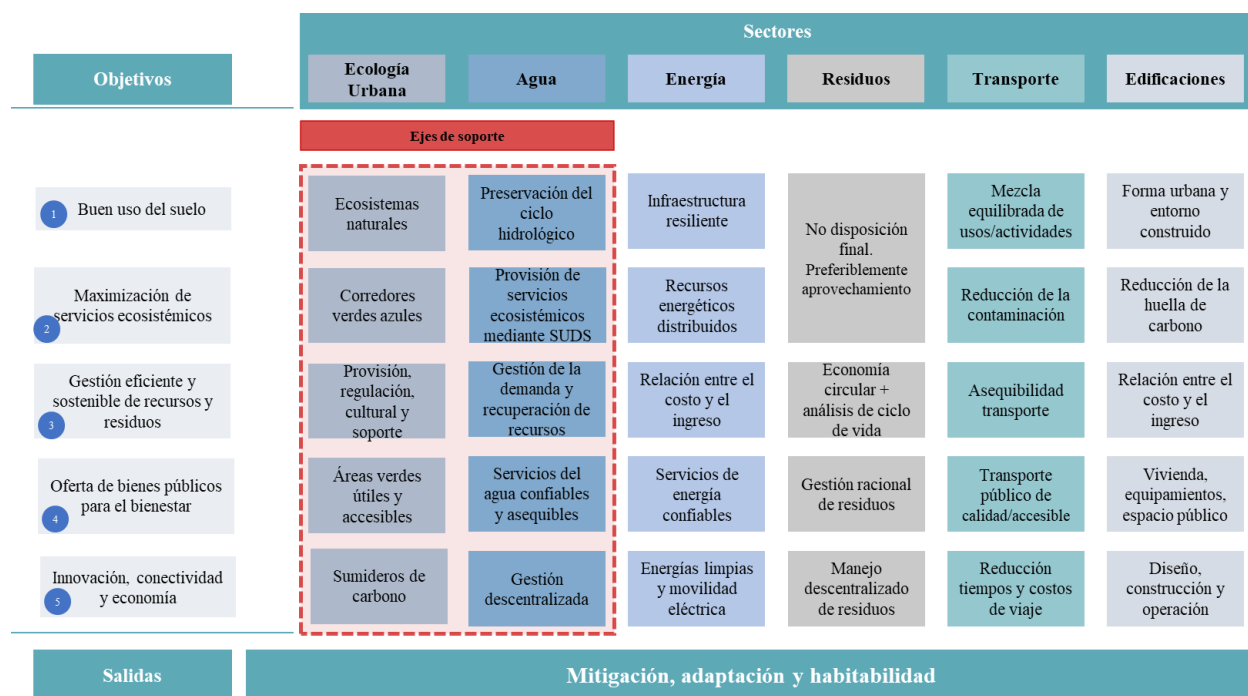


Figura 1. Esquema conceptual propuesto

En este capítulo se presentan en detalle este planteamiento visto desde los sectores que hicieron parte del alcance de este proyecto. Se revisan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a los cuales cada etapa de cada sector estaría contribuyendo. Con este enfoque y el desarrollo de herramientas se abordan los casos de estudios.

Queda la pregunta ¿qué se quiere para Bogotá y su región? Además de adherirse al enfoque planteado y probado en Ciudad Verde y Lagos de Torca, hay necesidad de explorar expresiones de esta voluntad en documentos institucionales y en estudios locales y/o nacionales en los que se plantean elementos de diagnóstico y algunos elementos de experiencias previas y de organización que pueden servir como guía inicial para responder dicha pregunta. El entendimiento de lo que se quiere para Bogotá no se debe limitar al análisis de esta tradición reciente sino también debe estar abierto al desarrollo de propuestas con nuevas iniciativas para la ciudad, con el fin de que esta pueda comenzar a clarificar y a dirigir su propio desarrollo bajo los lineamientos de sostenibilidad urbana.

En general, para las ciudades se encuentra fundamental preguntarse ¿cómo debe ser la ciudad del futuro? y en ese sentido, cuáles son los modelos y tendencias que se están promoviendo y cómo podría tener sentido la aplicación de algunos de estos a nivel local. Es decir, es de suma importancia identificar los elementos significativos del desarrollo urbano sostenible de ciudades. La planeación urbana comienza a incorporar los aspectos ambientales y de calidad de vida como bases para el desarrollo de las ciudades o microciudades [3].

Es necesario reconocer que las ciudades han venido promoviendo acciones para lograr un desarrollo sostenible, con menor huella de carbono y mayor resiliencia y que protege sus recursos naturales y se preocupa por el bienestar de la sociedad. Igualmente, a nivel nacional se cuentan con lineamientos para avanzar en un crecimiento verde y una movilidad sostenible, contar con mejor calidad de aire y mejor transporte público, incorporar energías renovables y reducir las emisiones de carbono, con una iniciativa de biodiversidades y con instrumentos económicos que apoyan un desarrollo urbano sostenible y resiliente y que serán objeto de análisis en el libro blanco propuesto en este proyecto.

### **1.1. Ecología urbana**

Los territorios urbano-rurales son un mosaico de paisajes interrelacionados y complementarios, con diverso grado de transformación. En cada uno de estos, la prevalencia de la función ecológica o social, así como la relación entre ambas, está determinada por su ubicación, dimensión y características, consecuencia del grado de transformación. Es así como el territorio está conformado por paisajes cuya transformación ha sido leve y aún poseen sus condiciones naturales (áreas protegidas) y, por otra parte, paisajes completamente transformados “artificiales” en los cuales lo verde está determinado por el proceso de urbanización.

Se identifican entonces diferentes categorías de áreas verdes que interconectan el suelo urbano con el suelo rural, como se ilustra en la Figura 2, las cuales cumplen diversas funciones sociales y ecológicas. En un extremo se ubican sectores urbanos consolidados en los cuales se cumplen principalmente funciones sociales de la propiedad (vivienda, comercio, producción, circulación, etc.) y en los que las áreas verdes forman parte del espacio privado, en forma de elementos verdes de las edificaciones o de jardines o patios. En el extremo opuesto se encuentran las áreas protegidas de carácter regional o nacional (Parques Naturales Nacionales, Reservas Forestales, etc), en éstos, prevalece la función ecológica del territorio. Estas dos categorías de espacios se articulan e interrelacionan a través de los espacios verdes urbanos, tanto de infraestructura verde (espacios verdes asociados al sistema vial, alamedas, parques urbanos de diversos niveles) así como a través de las áreas urbanas protegidas. Finalmente, los sistemas verdes de las áreas suburbanas y rurales completan el sistema socio-ecológico de áreas verdes urbano-rurales.



Figura 2. Categorías de áreas verdes urbanas en relación con su función social y ecológica. (Elaboración propia JMD)

Con el objetivo de equilibrar las funciones social y ecológica en los desarrollos urbanos, se propone la gestión urbana hacia la “Ciudad sensible a los ecosistemas”. En la Figura 2 se sintetiza la transición entre la ciudad con espacio público hasta la ciudad social y ecológicamente segura y sostenible. En tanto que la primera privilegia la funcionalidad social, la segunda incorpora de manera determinante la funcionalidad ecosistémica como factor de calidad de vida, sostenibilidad ambiental y resiliencia. Para monitorear esta transición, como se verá en el capítulo 4, se proponen indicadores que se relacionan tanto con la cantidad como con la calidad de los diversos tipos de áreas urbanas, en la medida en que una y otra contribuyen a la funcionalidad socio-ecológica.



Figura 3. Ciudad sensible a los ecosistemas.

- **Ciudad con espacio público**

Se refiere a la disponibilidad total de espacios públicos, abiertos y construidos, como vías, infraestructura de energía, agua y transporte, equipamientos sociales, espacios públicos verdes y recreativos. Estos últimos comprenden áreas protegidas, parques urbanos de diversas escalas, plazas y plazoletas. En relación con la planificación del espacio público urbano prevalecen criterios de funcionalidad social, sin desconocer la relación que puede tener la ecología urbana con áreas públicas viales y de infraestructura energética o hídrica. Cabe mencionar que, dadas las anteriores consideraciones, el componente de Ecología Urbana analiza exclusivamente lo relativo a las áreas públicas verdes, en relación con las cuales se proponen las fases, indicadores y opciones de mejora. Este objetivo está relacionado con los ODS 11 (metas 11.7 y 11.a) y 15 (metas 15.1, 15.2, 15.3 y 15.4).

- **Ciudad con espacio público verde**

Se refiere a la disponibilidad específica de área verde pública, como elemento estructural de la ecología urbana y para el desarrollo de actividades recreativas, deportivas, de integración social entre otras, que contribuyen a una mejor calidad de vida y salud de la población. La planificación de una ciudad en esta etapa tiene en cuenta tanto la cantidad total (metros cuadrados) como la disponibilidad por habitante (m<sup>2</sup>/hab) de la totalidad de espacios verdes públicos correspondientes tanto a áreas protegidas urbanas como a infraestructura verde generada en los procesos de desarrollo urbano. Este objetivo está igualmente relacionado con los ODS 11 (metas 11.7 y 11.a) y 15 (metas 15.1, 15.2, 15.3 y 15.4).

- **Ciudad con estructura ecológica principal**

Hace referencia a la existencia de espacio verde público correspondiente a las áreas protegidas urbanas u otros elementos de la estructura ecológica principal. Comprende las áreas que mantienen un alto nivel de naturalidad por su forma, topografía y biodiversidad, o con alto potencial para la restauración ecológica. Estas áreas cumplen una función ecológica vital y única que generalmente trasciende el ámbito municipal; no son reemplazables ni reubicables y su previsión es de carácter obligatorio.

- Humedales y sus áreas de manejo ambiental.
- Elementos del sistema hídrico, sus rondas y áreas de manejo ambiental.
- Áreas de reserva/ protección forestal.
- Corredores ecológicos entre elementos de estructura ecológica, externos al mismo proyecto en el cual se ubican.

Este objetivo está relacionado de la misma manera con los ODS 11 (metas 11.7 y 11.a) y 15 (metas 15.1, 15.2, 15.3 y 15.4).

- **Ciudad con estructura ecológica integral (áreas verdes diferenciadas y complementarias)**

Se refiere al reconocimiento de contar con áreas verdes con diversas características y funcionalidad, las cuales complementan las áreas protegidas y estructuran y garantizan la funcionalidad social y ecológica del sistema de áreas verdes publicas urbanas. Comprende diferenciadamente la disponibilidad de espacios de la infraestructura verde urbana generados en el proceso de desarrollo urbano. Comprende por una parte las áreas verdes publicas generadas como afectaciones y cesiones en el proceso de urbanización, las cuales cumplen principalmente una función social de soporte funcional al desarrollo urbano. En esta categoría se encuentran los parques metropolitanos, parques urbanos zonales y vecinales los cuales tienen en su interior zonas duras, alamedas y zonas verdes asociadas al sistema vehicular. Incluye asimismo las áreas verdes privadas, en particular las que forman parte de desarrollos institucionales y recreativos (centros educativos, clubes campestres, parques cementerios, etc.). Si bien estas áreas, por su carácter privado, no contribuyen a la disponibilidad de espacio verde publico efectivo, pueden generar significativos aportes a la calidad ambiental y paisajística y a la funcionalidad ecológica dados sus bajos índices de ocupación y construcción. De ahí que se ponderen cualitativamente en relación con su función ecológica. Este objetivo está igualmente relacionado con los ODS 11 (metas 11.7 y 11.a) y 15 (metas 15.1, 15.2, 15.3 y 15.4).

- **Ciudad con funcionalidad social y ecológica**

Se refiere no solo la cantidad sino la calidad de los diversos espacios verdes urbanos, calidad relacionada con su accesibilidad social, su conectividad ecológica y su índice de naturalidad. La calidad social se aborda en función de la accesibilidad de las personas a los diversos tipos de áreas, en tanto que la funcionalidad ecológica en función de los niveles de conectividad ecológica determinados por la dimensión y por coberturas vegetales de las áreas verdes. Estas últimas ponderadas de manera específica mediante el “índice

de naturalidad” que relaciona la cantidad de superficie dura y la cobertura forestal de los espacios verdes. Esta etapa se relaciona con ODS 8 (meta 8.9), 11 (meta 11.7 y 11.a), 15 (metas 15.1, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5 y 15.9).

- **Ciudad social y ecológicamente funcional y resiliente**

Se refiere a la capacidad de las diversas categorías de áreas verdes para ofrecer servicios ecosistémicos asociados con la mitigación y adaptación al cambio climático, como lo son la captura de CO<sub>2</sub> y regulación del clima local en la planeación y toma de decisiones. Lo anterior implica que se reconoce y aborda el papel de los diferentes espacios verdes urbanos no sólo en la adaptación al cambio climático en términos por ejemplo de regulación hídrica y prevención de inundaciones, sino también en lo referente a la regulación del clima local (mitigación de islas de calor urbano) que influye además en la demanda de energía y el confort térmico en edificaciones, en mayor medida en climas cálidos. Particularmente, aunque la contribución de la cobertura arbórea de los espacios verdes urbanos a la regulación del clima por medio de la captura de CO<sub>2</sub> no ha sido considerada de manera amplia como relevante, en comparación con otros sectores, su inclusión en la planeación para el desarrollo urbano se soporta también en los beneficios adicionales relativos a las funciones sociales y ecológicas que también pueden ser valoradas en términos biofísicos y económicos. Esta última etapa atiende los ODS 7 (meta 7.3), 8 (meta 8.9), 11 (metas 11.7, 11<sup>a</sup>), 13 (meta 13b), 15 (metas 15.1, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5 y 15.9).

## **1.2. Manejo integrado del agua**

El concepto de ciudad sensible al agua surge como un enfoque de gestión que no solo satisface las necesidades de agua de una ciudad, sino que ofrece diferentes beneficios que mejoran su habitabilidad y resiliencia [4]. En el marco de transición hacia una ciudad sensible al agua, cada etapa comprende un mayor nivel de avance en la gestión del recurso. De esta manera, la sostenibilidad en el manejo del agua aumenta a través de las etapas. La Figura 4 presenta la evolución en el tiempo de la gestión del agua urbana en las ciudades que se propone en este proyecto. Se identifican seis etapas [5].

- **Suministro de agua a la población**

Este enfoque asegura un acceso adecuado y efectivo al servicio de provisión de agua potable. Esta etapa comprende el almacenamiento y la distribución del agua a la población a partir de un sistema centralizado. Para esto se utiliza infraestructura como embalses y tuberías, que permiten captar y transportar el recurso hídrico. Típicamente, la población espera que la disponibilidad del agua sea ilimitada y que su valor sea bajo, finalidad que corresponde con la del ODS 6 (meta 6.1).

- **Cobertura del sistema de alcantarillado sanitario**

Busca garantizar una recolección y disposición adecuada de las aguas residuales fuera de las ciudades con el fin de evitar la proliferación de enfermedades y mejorar la salud pública. Estos objetivos pueden cumplirse a partir de un sistema de drenaje sanitario que tenga capacidad suficiente para recolectar y conducir el agua residual a un cuerpo de agua receptor y corresponde al ODS 6 (meta 6.2). Esta etapa no incluye el planteamiento de un esquema de tratamiento de las aguas residuales antes de su vertimiento a los cuerpos de agua.

- **Ciudad con cobertura del sistema de drenaje pluvial**

Surge en respuesta a las inundaciones causadas por las aguas pluviales. Esta etapa se enfoca en prevenir los problemas generados por los excesos de escorrentía, de manera que los objetivos pueden cumplirse a partir de un sistema con capacidad suficiente para capturar y conducir la escorrentía producto tanto de los eventos

de precipitación frecuentes como extremos. En esta etapa se contempla la canalización de ríos y otros cuerpos de agua para permitir el desarrollo urbano, como se espera en el ODS 11 (meta 11.5). Adicionalmente, no incluye el tratamiento de la escorrentía antes de su vertimiento a los cuerpos de agua.

- **Ciudad con calidad de los cuerpos de agua**

Se centra en la protección de los cuerpos de agua receptores y en el tratamiento de las aguas residuales. Esta etapa surge del reconocimiento de los impactos ambientales generados por la captación del agua y el vertimiento de aguas residuales y pluviales sin tratar. Se espera que en esta etapa la planificación urbana involucre el tratamiento de las aguas residuales en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) y, si es necesario, de la escorrentía en estructuras de filtración. Se empieza a considerar la calidad fisicoquímica y el valor estético de los cuerpos de agua como parte de la planeación urbana, dado el deterioro de las fuentes de agua, cuyo enfoque se centra en la protección de los cuerpos de agua receptores y en el tratamiento de las aguas residuales. Esta finalidad corresponde al ODS 6 (metas 6.3 y 6.9).

- **Ciclo del agua para la conservación del recurso hídrico**

Busca la conservación del recurso hídrico al reconocer la creciente limitación en su disponibilidad. Su enfoque se centra en la gestión de la demanda de agua y la asimilación de la contaminación por parte de los cuerpos de agua receptores. Esta etapa considera el uso de diversas fuentes de agua como las aguas grises y pluviales. La gestión del agua urbana, que en las primeras etapas estaba completamente a cargo de la empresa de servicios públicos de la ciudad, se reemplaza por acuerdos de gestión conjunta entre el gobierno, el sector privado y la comunidad. Estos propósitos se encuentran en los ODS 6 (meta 6.4), 12 (meta 12.2) y 15 (meta 15.1).

- **“Ciudad sensible al agua”**

Involucra la construcción de infraestructura urbana adaptativa y multifuncional, que refuerza los comportamientos sensibles al agua como respuesta al cambio climático. Así pues, una ciudad sensible al agua integra seguridad hídrica, control de inundaciones, salud pública, normativas relacionadas con la recuperación y protección de los cuerpos de agua, amenidad, habitabilidad y sostenibilidad económica, entre otros [4]. La comunidad interactúa activamente con el agua, lo que genera que tengan mayor conciencia sobre el valor de la misma. Los ODS relacionados son el 1 (meta 1.5), 6 (metas 6.5 y 6.b), 11 (meta 11.7) y 13 (meta 13.3).

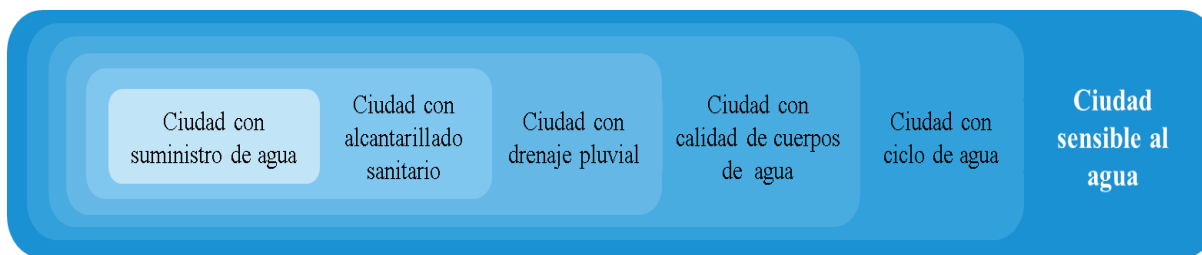


Figura 4. Transición hacia una ciudad sensible al agua. Adaptado de [5]

La transición entre las etapas propuestas se representa como una progresión lineal; aunque, en algunos casos, no es exactamente así pues dependiendo de las circunstancias de la ciudad, las fases se pueden saltar o la gestión del agua puede deteriorarse. Por ejemplo, cuando se drenan aguas pluviales sin una visión integral a nivel de cuenca se afecta el ciclo hidrológico, lo que puede causar un deterioro en los cuerpos de agua y afectar la recarga de acuíferos que, en el largo plazo, puede afectar la seguridad sobre la provisión del agua potable. Así pues, la transición hacia una ciudad sensible al agua propone un desafío para las



ciudades, pues requiere que estas reorienten la infraestructura, las instituciones y las prácticas para la gestión del agua. Particularmente, se requiere infraestructura e instituciones más flexibles e integradas a escalas tanto centralizadas como descentralizadas. Adicionalmente, se hace necesario integrar los planes de manejo de agua con los planes de expansión urbana y se destaca que la cooperación estrecha entre las diferentes entidades gubernamentales, así como la participación de la comunidad, es esencial.

### 1.3. El suministro y uso de energía

La planeación de macroproyectos de vivienda y de ciudades desde el punto de vista energético en Colombia se ha enfocado principalmente en garantizar el acceso a los servicios públicos básicos tales como electricidad y gas natural, y busca que estos servicios cumplan ciertos estándares en la calidad de suministro. Sin embargo, a lo largo del mundo el paradigma de cómo se piensa una ciudad desde el punto de vista de este sector ha cambiado debido a diferentes factores. Dentro de estos factores se encuentra el establecimiento de las energías limpias como una alternativa viable y costo-efectiva de generar energía de manera descentralizada a nivel urbano, las cuales fuera de proveer un cierto nivel de autarquía energética, se pueden ver como medidas de mitigación de emisiones y resiliencia energética. A su vez, la evolución de tecnologías de comunicación está jugando un papel importante en pensar la ciudad de manera más inteligente e interconectada. La visión de planeación urbana sensible a la energía considerando estos factores ha evolucionado, en la cual no solo se busca garantizar el acceso al servicio, sino que busca dar un papel más activo al consumidor, adopta el surgimiento del agente prosumidor, y busca integrar diferentes sistemas de generación a lo largo de la ciudad entre sí, y con otros servicios de la ciudad provistos desde otros sectores.

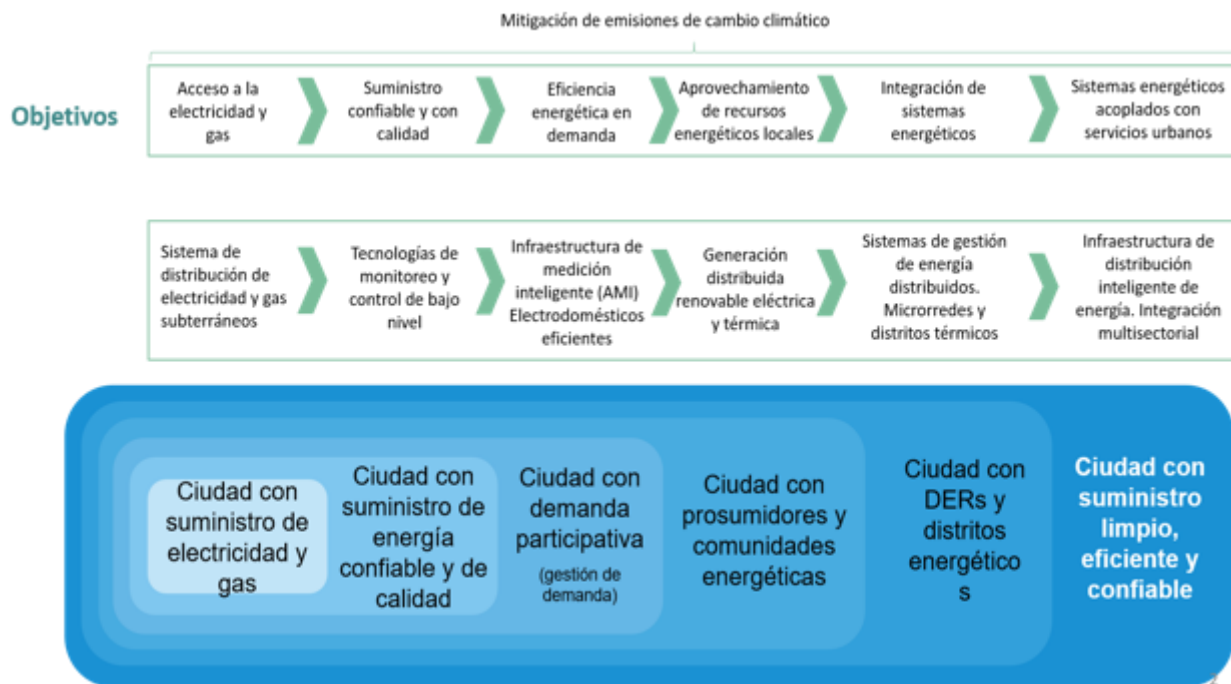


Figura 5. Visión de Ciudad con suministro limpio, eficiente y confiable

La visión de una ciudad con suministro limpio, eficiente y confiable se presenta en la Figura 5, la cual se encuentra principalmente inspirada en la iniciativa de ciudades con distritos de energía (District Energy in Cities Initiative) [6], [7] y los proyectos faro (Lighthouse Projects) [8]–[10] para ciudades y comunidades inteligentes. Las diferentes etapas que se ilustran en este diagrama encapsulan los diferentes objetivos que se proponen lograr a nivel de la planeación urbana y la operación de una ciudad desde el punto de vista

energético y los diferentes conceptos e instrumentos que comprenden estas etapas y que son fundamentales para su implementación y adopción.

- **Ciudad con suministro de electricidad y gas por red**

Esta primera etapa comprende el nivel más fundamental para la planeación de una ciudad desde el punto de vista de energía y corresponde a garantizar el suministro de servicios energéticos para los ciudadanos de la ciudad, comprendidos principalmente por los servicios de electricidad y gas natural. Esta etapa comprende la planeación de las diferentes redes de distribución y gas natural y su interconexión a redes de nivel superior necesarias para poder proveer a la mayoría, idealmente la totalidad, de los ciudadanos de dichos servicios. A partir de estos dos servicios, en principio, el ciudadano podrá suplir la mayoría de sus necesidades energéticas. Esta etapa cabe aclarar que es la prioridad principal en el planeamiento urbano energético de macroproyectos de vivienda en la cual se busca garantizar el acceso a estos dos servicios. A nivel de ciudad, debido a que estas usualmente comprenden una zona rural y urbana, no necesariamente se garantizará una cobertura total, pero si cercana a esto. Este alcance corresponde con los esbozados en el ODS 7 (meta 7.1) y 13.

- **Ciudad con suministro de energía confiable y de calidad**

Garantizar el suministro de servicios energéticos no necesariamente asegura que este servicio sea de calidad. A lo largo de las redes de distribución pueden existir riesgos de contingencias que pueden causar interrupciones en el servicio, los cuales dependiendo de su gravedad implicarán diferentes tiempos de respuesta. El diseño de dichas redes en la etapa anterior debe garantizar que, ante cualquier contingencia, se pueda tener una notificación rápida de dicha interrupción y a su vez tener los instrumentos apropiados para tomar acciones correctivas rápidas y eficientes tal que el efecto de esta sea mínimo. El operador de red, en asociación con los tomadores de decisión, deben garantizar que a lo largo de las redes se pueda tener un nivel de respuesta ante interrupciones apropiado a la luz de estándares por debajo del nivel promedio nacional [11], e idealmente lo más mínimos posibles. Para lograr este objetivo, se pueden adoptar tecnologías de monitoreo y control de bajo nivel para sistemas de distribución que no hayan sido previamente adoptados con el fin de garantizar un suministro confiable y de calidad de los servicios energéticos. Esta etapa corresponde al ODS 7 (metas 7.1 y 7.b) y 13.

- **Ciudad con demanda participativa**

Las etapas descritas anteriormente involucran más que todo al operador de red como el agente encargado de garantizar el suministro de los servicios energéticos bajo cierto nivel de calidad. En estas etapas anteriores, tal y como se ve reflejado hoy en día, el usuario toma un rol pasivo como consumidor de energía. Un usuario consume energía de acuerdo con las necesidades que tenga a lo largo el día sin tener en cuenta conscientemente sus patrones de consumo y como estos se reflejan en el cobro de la energía en el recibo. Lo anterior debido a que no existen insumos a través de los cuales el usuario pueda informarse respecto a su consumo fuera del reporte mensual reflejado en la factura.

En esta etapa se busca habilitar y empoderar al usuario en el ejercicio del consumo de energía; es decir, se busca que el usuario tome un rol más activo entendido como la capacidad de tomar decisiones en cuanto a su consumo a partir de la retroalimentación, idealmente en tiempo real, de información acerca de sus patrones de consumo y el cobro de energía. De esta manera, se logra que los usuarios como un colectivo sean un agente con capacidad de decisión para el mercado eléctrico. El instrumento que permite lograr este objetivo es la infraestructura de medición inteligente en ciudades. Esta finalidad corresponde con la de los ODS 7 (metas 7.1 y 7.b) y 13.

La medición inteligente como instrumento permite cumplir con los objetivos anteriormente descritos al proveer de manera intuitiva al usuario con información respecto a sus patrones de consumo y cómo estos se ven reflejados en el cobro del servicio [12]. En principio, se esperaría que este nuevo nivel de conciencia provista al usuario genere un efecto sobre cómo se consume la energía, reflejándose en eficiencia energética. Por otro lado, la implementación de la infraestructura de medición inteligente resulta en beneficios para los operadores de red; inclusive se argumenta que existen más beneficios para estos que para los mismos usuarios. Dentro de los beneficios que se pueden obtener a través de esta infraestructura, los operadores de red podrán obtener información, en teoría en tiempo real, de los consumos de sus usuarios, permitiendo establecer curvas de carga más precisas y mejorar la toma de decisiones. A su vez esta información puede ser utilizada para el diseño de estrategias de gestión de la demanda desde el operador de red y el mercado eléctrico que permitan promover una operación más eficiente del mercado y que pueden generar un nivel de interacción con el usuario suponiendo que la implementación de este instrumento genere un rol más activo en estos.

Lo anteriormente descrito demuestra lo que se entiende por demanda participativa, en el cual a través de instrumentos tales como la medición inteligente se puedan lograr que los usuarios tomen un papel más activo en cómo se consume la energía y su posible influencia en el mercado eléctrico, y desde el operador de red se pueda mejorar la eficiencia en el suministro y la posibilidad de diseñar e implementar campañas de gestión de demanda. De esta manera, logrando que en la ciudad se tenga un consumo más consciente y eficiente de la energía, resultando en eficiencia energética de la demanda. Es de destacar, que en esta etapa se incluyen diferentes estrategias alternativas para lograr eficiencia energética tales como el reemplazo de electrodomésticos [13].

- **Ciudad con prosumidores y comunidades energéticas**

La generación y almacenamiento descentralizado de energía tanto eléctrica como térmica a nivel urbano, enmarcados en el concepto de recursos de energía distribuidos (DERs por sus siglas en inglés) ha tenido auge y adopción a lo largo de ciudades del mundo debido al creciente costo efectividad de tecnologías alternativas de generación las cuales aprovechan recursos locales energéticos para suplir parcialmente las necesidades energéticas del usuario. Esta etapa abarca la adopción de tecnologías de generación distribuida renovable tanto eléctrica como térmica para aprovechar recursos energéticos locales para suplir parcialmente, e inclusive totalmente, las necesidades energéticas del macroproyecto o ciudad. Los ODS relacionados son el 7 (metas 7.1, 7.2 y 7.b), 11 (meta 11.6) y 13.

Estas tecnologías se pueden manifestar de dos maneras. Una comunidad energética que consiste en un generador independiente ya sea eléctrico o térmico que suple a un número de usuarios en su vecindad y que estén conectados a este, el cual puede ser operado independiente de los usuarios por el operador de red o el gobierno local [6]. Otra es un nuevo agente llamado prosumidor, donde el usuario cumple el rol de consumidor y productor (parcial o total) de energía de manera simultánea [14]. Este tipo de usuarios han surgido en el contexto local más que todo a nivel comercial e industrial; sin embargo, se esperaría con los menores costos de las renovables que haya un despliegue de DERs a nivel residencial.

El autosuministro de energía en ciudades en los diferentes sectores de consumo de energía jugará un papel importante no solo por la independencia parcial de la red de suministro y la contribución a mejorar indicadores de calidad de suministro, sino también porque la integración de prosumidores tendrá el potencial de cambiar la concepción de cómo se gestiona la energía y cómo se operan las redes de suministro locales.

- **Ciudad con DERs y distritos energéticos**

La etapa anterior considera el despliegue de múltiples prosumidores y comunidades energéticas que a través de DERs pueden aprovechar recursos energéticos locales para suplir sus necesidades energéticas, pero no se contempla interacción entre estos agentes, cada uno de estos suplirá sus propias necesidades energéticas, cumpliendo con objetivos individuales de optimización. Esta etapa, la interacción entre agentes requiere el establecimiento de medios físicos y de comunicación para posibilitar la interacción e intercambio de energía. Esta interconexión ciber-física permitirá pensar en la integración de múltiples prosumidores, tanto eléctricos como térmicos, estableciendo los conceptos de microrredes eléctricas urbanas y distritos térmicos. Los ODS relacionados son estos propósitos son igualmente el 7 (metas 7.1, 7.2 y 7.b), 11 (meta 11.6) y 13.

Colombia cuenta con el caso de éxito de distrito térmico llamado La Alpujarra, cuyo objetivo es enfriar y distribuir el agua fría a través de los usuarios conectados a este distrito con el fin de que pueda ser utilizada para los sistemas de aire acondicionado en una zona comercial de la ciudad de Medellín [15].

El instrumento a través del cual se puede considerar las microrredes y distritos térmicos no solamente como la interconexión física, sino también la interacción a nivel de comunicación para una mejor gestión de la energía se ha manifestado en literatura y que ha sido adoptado por casos de estudio a lo largo del mundo son los sistemas de gestión de energía (EMS por sus siglas en inglés). Los sistemas de gestión de energía se encargan de operar el sistema de generación y almacenamiento de manera óptima y eficiente para suplir las necesidades del usuario al que esté asociado. Estos sistemas permitirán establecer un canal de comunicación con el operador de red, así como con el resto de prosumidores. A través de la interacción por medio de este canal, el EMS toma decisiones respecto a cómo se genera y almacena la energía considerando el rol activo de los consumidores y la información de los demás usuarios. De esta manera, se espera que con este nuevo nivel de conciencia para los prosumidores se logre una operación más eficiente de la energía en la ciudad, integrando sistemas de energía tanto eléctricos como térmicos, reduciendo costos de operación y mejorando la calidad del suministro. Alrededor del mundo, se han demostrado casos de éxito en cuanto a la adopción de EMS sobre sistemas de energía como el caso de Antalya [16] y Valencia [17] del proyecto faro MAtchUP.

- **Ciudad con suministro limpio, eficiente y confiable**

Una ciudad se considera que cuenta con suministro limpio, eficiente y confiable al integrar los diferentes elementos descritos en las anteriores etapas tanto al nivel de oferta como de demanda de energía. A nivel tanto físico como de comunicaciones, el sistema de distribución debe adaptarse a los retos que las diferentes etapas planean, de tal manera que se tenga en la ciudad la infraestructura para un sistema de distribución inteligente. Este sistema deberá integrar sistemas de energía de diferente naturaleza con los diferentes actores que lo componen, desde los usuarios consumidores conscientes y los prosumidores, hasta los operadores de las diferentes redes de suministro y el gobierno local de tal manera que la operación y gestión del sistema sea apropiada y con el mínimo de contingencias. Los ODS corresponden al 7 (metas 7.1, 7.2 y 7.b), 11 y 13.

A lo largo de esta visión el enfoque ha sido principalmente alrededor del sector energía; sin embargo, se considera que la interoperabilidad del sector energía con los demás sectores que componen el planeamiento y operación de una ciudad es fundamental para mejorar objetivos tanto individuales de cada sector como objetivos globales que requieren la cooperación y armonización entre diferentes sectores.

## 1.4. La gestión de los residuos

El avance de una ciudad hacia el desarrollo sensible a la gestión integral de residuos, como se muestra en la Figura 6, se ha definido en cinco etapas acumulativas que se fundamentan en la jerarquía de la gestión de residuos sólidos<sup>1</sup> propuesta por Peterson [27] e incorporada en la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos [28].

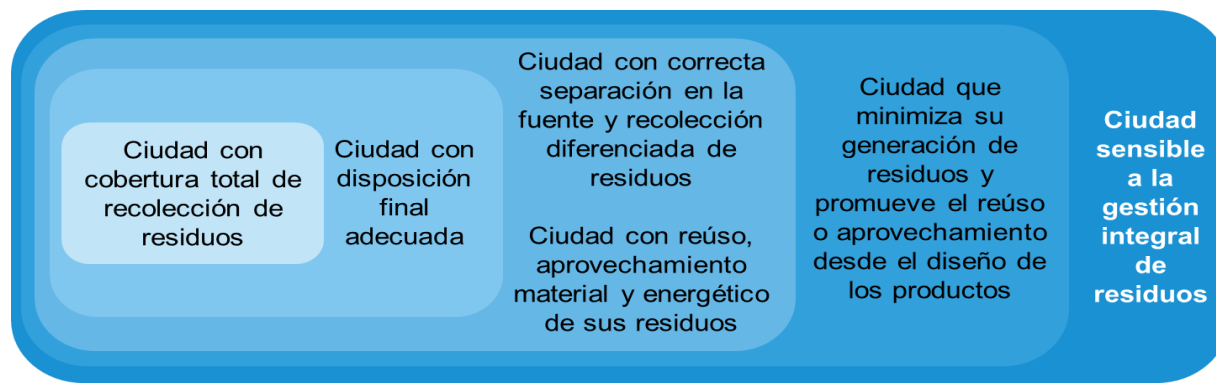


Figura 6. Avance de la ciudad hacia la gestión integral de residuos

- **Ciudad con cobertura total de recolección de residuos**

Como nivel mínimo de la gestión de los residuos en la ciudad se debe garantizar la cobertura total de la recolección idónea de todos los diferentes tipos de residuos generados, evitando la acumulación de residuos que sirven como alimento para roedores y otros vectores de enfermedades [27], reduciendo prácticas como la quema a cielo abierto, el envío a canales de aguas lluvias, y las implicaciones de estas actividades sobre la salud de los habitantes y el ambiente. Los ODS que abordan esta problemática son el 6 (meta 6.2), 8 (meta 8.8) y 11 (metas 11.1 y 11.6).

- **Ciudad con disposición final adecuada**

El segundo nivel de avance de una ciudad hacia una gestión integral de los residuos que genera implica contar con instalaciones de disposición final actual adecuada (actualmente rellenos sanitarios), con sistemas de recolección y tratamiento de lixiviados y quema de gas residual. La disposición final como alternativa para la gestión de residuos se encuentra en la escala más baja de la jerarquía de residuos, siendo la opción que debería escogerse como último recurso. Una ciudad que se encuentre en esta etapa obedece al comportamiento de una economía lineal, en la que los recursos se extraen, se emplea energía y mano de obra para elaborar productos que son consumidos y posteriormente desechados, lo que implica desperdicios de energía residual y de material a lo largo de toda la cadena de producción y el aumento gradual de los precios de materias primas debido a la escasez [29]. Los ODS relacionados son igualmente el 6 (meta 6.2), 8 (meta 8.8) y 11 (metas 11.1 y 11.6).

- **Ciudad con correcta separación en la fuente y recolección diferenciada de residuos - Ciudad con reúso, aprovechamiento material y energético de sus residuos**

<sup>1</sup> La jerarquía de los residuos establece como alternativa de gestión priorizada la **prevención** de la generación de residuos. La alternativa que le sigue en orden de prioridad es la reducción de la generación a través de la **reutilización**, en la que los productos se usan nuevamente sin pasar por nuevos procesos de manufactura. En el nivel jerárquico siguiente se encuentra el **aprovechamiento** material, bioquímico y térmico, dejando como última alternativa en términos de prioridad el **pre-tratamiento** y la **disposición final** de residuos. [28]

El tercer nivel incluye la correcta separación en la fuente y la recolección diferenciada de residuos como factor esencial para el desarrollo de una ciudad con reúso y aprovechamiento material, bioquímico y energético de los residuos generados, disminuyendo los costos y energía necesarios para clasificar los residuos de acuerdo con sus características y potencial de aprovechamiento, en comparación con sistemas de recolección combinada de residuos [30]. Del mismo modo, la inversión requerida para la implementación de esquemas de recolección diferenciada asociada con campañas educativas para la correcta separación en la fuente, contenedores y sistemas de transporte debe corresponderse con los beneficios económicos y ambientales atribuidos al reúso y aprovechamiento de los residuos, razón por la cual se juntan ambos criterios dentro de la misma etapa de desarrollo de la ciudad. El reúso favorece el empleo de los productos sin realizar transformaciones o nuevos procesos de manufactura, evitando el consumo de energía, recursos y mano de obra. Por su parte, el aprovechamiento de tipo material, bioquímico y térmico permite la recuperación de materiales y energía presentes en los residuos mediante procesos adicionales con consumo de energía y otros recursos asociados, pero que ahorran el impacto de la extracción de materias primas vírgenes para nuevos productos. Además de los ODS 6, 8 y 11, con sus metas señaladas en la etapa anterior, se puede agregar el ODS 12 (meta 12.5).

- **Ciudad que minimiza su generación de residuos y promueve el reúso o aprovechamiento desde el diseño de los productos**

La cuarta etapa en el desarrollo de la ciudad involucra la minimización en la generación<sup>2</sup> de residuos y la garantía del reúso y aprovechamiento de los residuos desde el diseño de los productos, con estrategias como extensión de la vida útil, el diseño que facilite su reúso, desensamblaje, reparación o aprovechamiento, que evite la extracción de materias primas vírgenes para la manufactura de los productos, siguiendo los lineamientos de la economía circular [29]. Los ODS relacionados con este propósito son el 6 (meta 6.2), 8 (metas 8.4 y 8.8), 11 (metas 11.1 y 11.6), y 12 (metas 12.3, 12.5 y 12.7).

- **Ciudad sensible a la gestión integral de residuos**

La etapa final, en la que la ciudad se desarrolla completamente con un enfoque de gestión integral de los residuos, privilegia el primer nivel de la jerarquía de los residuos. En este caso, la gestión se enfoca prioritariamente en prevenir la generación de residuos, si no es posible evitarla, reducirla desde la fuente reutilizando los productos generados. Los productos que no puedan reusarse deben aprovecharse material, bioquímica o térmicamente, de modo que se extraiga los recursos y energía residual contenidos en ellos. En el caso de que después de aplicar todas las alternativas anteriores se tenga aún residuos a gestionar, se recurre a la disposición final con tratamiento previo o a la incineración con valorización energética. Además de reducir la cantidad de residuos generados, la prevención como acción prioritaria en la gestión de residuos se enfoca en la disminución de los impactos negativos de los residuos generados sobre la salud humana y el ambiente, y en aminorar el contenido de sustancias nocivas en los materiales y productos, a través de medidas aplicadas antes de que un producto se convierta en residuo [31]. Los ODS relacionados coinciden con los señalados en la etapa anterior.

## **1.5. Movilidad sostenible**

La planificación convencional del transporte ha tendido a favorecer la movilidad sobre la accesibilidad y a los modos privados de transporte sobre alternativas sostenibles. Bajo dicho enfoque la evaluación de los proyectos de transporte ha estado centrada en aspectos como costos de infraestructura, tiempos de viaje,

---

<sup>2</sup> Si bien la minimización de la generación de residuos sólidos aparece como la primera etapa en la jerarquía de gestión, dada las producciones per cápita bajas, en el contexto nacional, que tiene Colombia, se decidió proponer esta estrategia un poco más adelante dentro de la visión de ciudad sensible a la gestión integral de residuos sólidos.

costos de operación de la flota y riesgos de siniestralidad. La omisión de otros factores como equidad, impactos ambientales, salud y calidad de vida en el diseño, evaluación y priorización de soluciones de transporte ha limitado la transición hacia un modelo de planificación integral [23].

Bajo el paradigma de movilidad sostenible se incentiva el diseño de soluciones para reducir las externalidades negativas del transporte, mediante la combinación de múltiples instrumentos y estrategias, entre las que se incluye multimodalidad, instrumentos de mercado, políticas de crecimiento urbano inteligente (*smart cities*) y medidas de gestión de la demanda, entre otros [24]. Esto se soporta en el entendimiento del transporte como parte integral de las ciudades y el reconocimiento de las interacciones entre éste y otros sectores como el ambiental, social y económico. Una visión integral del transporte permite diseñar soluciones que llevan a un mayor bienestar social [25]–[27]. El cambio de paradigma en la planificación del transporte hacia sistemas sostenibles surgió en países desarrollados, principalmente como respuesta a los problemas sociales y ambientales generados [28]. El sector transporte resulta clave para lograr los Objetivos del Desarrollo Sostenible [29] y las metas globales de mitigación de emisiones GEI [30].

Al marco de planificación del transporte tradicional, se han ido integrando aspectos como la cobertura y acceso, calidad de los sistemas de transporte, minimización de impactos ambientales y de efectos negativos en salud e integración de aspectos sociales como equidad y género.

Al marco de planificación del transporte tradicional, se han ido integrando aspectos como la cobertura y acceso, calidad de los sistemas de transporte, minimización de impactos ambientales y de efectos negativos en salud e integración de aspectos sociales como equidad y género. Estos aspectos adicionales se mencionan dentro de los objetivos del transporte sostenible en los documentos de política nacional más recientes [31]–[33]. Sin embargo, no necesariamente se evidencian dentro de los criterios de priorización en procesos de contratación pública o en los sistemas de seguimiento al transporte urbano en ciudades colombianas [34]–[38]. Múltiples ciudades a nivel global se están esforzando por establecer sistemas de movilidad urbana sostenible [39], [40]. Sin embargo, el hecho de tener ciudades consolidadas con sistemas de transporte ya implementados impone grandes retos. Hacer cambios a la infraestructura de transporte o sustituir flotas vehiculares implica altos costos, por esto el transporte se considera un sector de alta inercia [41], [42]. Se ha demostrado en la literatura sobre mitigación de emisiones GEI, que los mayores costos de acción climática están asociados al sector transporte y entre más tarde se implementen las acciones, mayores son los costos que se tienen que asumir [43], [44].

Como parte de este estudio, para cada uno de los componentes (ecología urbana, aguas, residuos, energía, transporte y edificaciones) se está proponiendo un marco de planificación sostenible, que represente como gradualmente se pueden ir incorporando en nuevos objetivos, para pasar desde la visión convencional de planificación urbana hacia una integral o sostenible. En la Figura 7 se presenta una propuesta para el sector transporte. Como se explicó anteriormente, el cambio hacia la planificación sostenible no se trata sólo de adicionar nuevos objetivos sino también de dar mayor relevancia al concepto de acceso.

En cuanto a la gradualidad para ir avanzando hacia una visión más integral de la movilidad, es necesario tener en cuenta que las acciones de corto plazo deben ser compatibles con los objetivos de largo plazo. Esto, como ya se mencionó, debido a los altos costos que implica hacer cambios en los sistemas de transporte para que cumplan objetivos adicionales a los inicialmente planeados (v.g., se requiere cambios drásticos en los sistemas de movilidad actual para que sean compatibles con los escenarios de descarbonización). Es decir, que tener en cuenta todos los objetivos que se presentan en la Figura 7 desde etapas tempranas de diseño e implementación de los proyectos, implica mayores beneficios netos para la sociedad y menores costos a largo plazo.

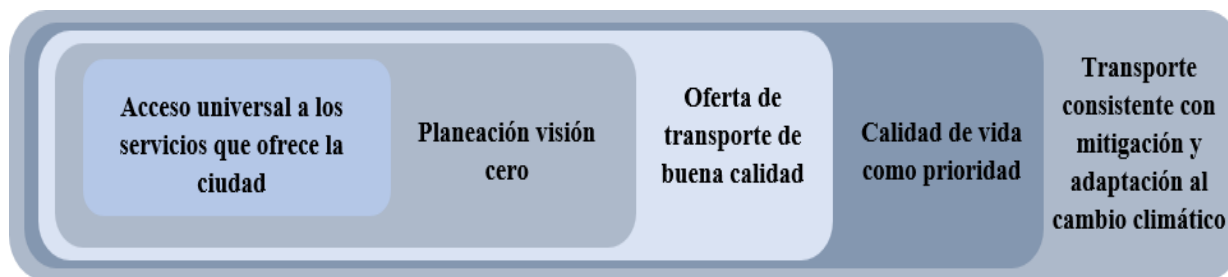


Figura 7. Visión de ciudad con movilidad urbana sostenible

La visión de planificación de movilidad urbana sostenible que se presenta en la Figura 7 se basa en el cambio de paradigma de transporte centrado en vehículos y movilidad, al de sistemas enfocados en la accesibilidad de las personas a los servicios y comodidades que ofrecen las ciudades. Esta visión integra un rango más amplio de posibles soluciones para reducir las externalidades negativas asociadas al transporte urbano y considera las sinergias con otros componentes del desarrollo sostenible. Se vuelven relevantes opciones como mejorar la calidad de los servicios de transporte urbano de pasajeros, inversiones en la calidad del entorno construido, reconociendo su rol en la promoción de la caminata y uso de la bicicleta. Además, la regulación sobre los usos del suelo cobra importancia, y bajo este enfoque, se reconoce que reducir la necesidad de los viajes motorizados es muchas veces la mejor solución para minimizar los impactos negativos del transporte. A continuación, se describen los objetivos de planificación de movilidad urbana sostenible que se presentan en la Figura 7:

- **Proveer acceso universal a los servicios que ofrece la ciudad**

El principal objetivo bajo el enfoque de movilidad urbana sostenible es proveer acceso a los ciudadanos a los servicios que ofrece una ciudad. Esto quiere decir que las metas de la planificación se fijan en términos de acceso, más que en términos de movilidad. El acceso se provee a través de: i) planificación coordinada de los diferentes usos del suelo; ii) oferta de sistemas de transporte con cobertura geográfica y capacidad acordes con las necesidades de la población; y iii) opciones de transporte con costos asequibles para todos los sectores de la población. Este objetivo de planificación está relacionado con los Objetivos del Desarrollo Sostenible 1, 3, 5, 9, 10 y 11.

- **Visión cero**

La siniestralidad vial es tal vez la externalidad negativa del transporte más reconocida. Debido a la magnitud de sus impactos, ésta ha empezado a ser considerada como una prioridad de salud pública [45]. El concepto de visión cero propone a través de diferentes instrumentos evitar todas las muertes y lesiones graves por siniestros de tránsito, ya que considera que todas son prevenibles.

En Colombia el impacto del tránsito en términos de mortalidad es del mismo orden de magnitud del generado por altos niveles de contaminación por material particulado fino en los centros urbanos [46], [47]. Respecto a este último, el transporte también es el principal responsable [48]. Es por esto, que se propone una visión cero que incluya cero muertes por siniestralidad y cero muertes por contaminación del aire asociada al transporte. Los efectos de la siniestralidad vial y de las muertes por contaminación, tienen implicaciones sociales profundas, en salud y en la economía, por lo que su reducción se vuelve fundamental para cumplir con objetivos del desarrollo sostenible. Este objetivo de planeación del transporte está directamente relacionado con los ODS 3 y 11.

- **Oferta de transporte de buena calidad**



Bajo la visión convencional del transporte, los indicadores de seguimiento a este criterio se centran en aspectos operacionales como frecuencia, velocidad y costo. En movilidad sostenible, se adicionan criterios de calidad que incluyen la percepción de los usuarios sobre el confort, nivel de oferta de modos no motorizados y calidad del entorno, reconociéndolos como elementos clave en los sistemas de movilidad urbana. Además, se reconoce que mejorar la calidad de los diferentes sistemas es una manera de atraer nuevos usuarios, de alcanzar objetivos de equidad y de beneficiar a los grupos de población más vulnerables. Este objetivo de planeación está directamente relacionado con los Objetivos del Desarrollo Sostenible 1, 10 y 11.

- **Calidad de vida como prioridad en la planificación del transporte**

Este objetivo se define en términos del impacto directo del transporte en la salud de los usuarios. Por un lado, se consideran los potenciales beneficios asociados al transporte activo (caminata y bicicleta) y por otro, los impactos relacionados con la exposición personal a la contaminación del aire de los usuarios del transporte en los diferentes microambientes relacionados con éste. Este objetivo de planificación está relacionado con los Objetivos del Desarrollo Sostenible 3, 7, 9, 11 y 13.

- **Transporte consistente con mitigación y adaptación al cambio climático.**

Por último, se incluye un objetivo relacionado con los impactos del transporte en mitigación de emisiones GEI y con sus impactos en los ecosistemas urbanos. Dentro del sector energético, el transporte es el subsector que consume más energía en Colombia, y por lo tanto el de mayor generación de emisiones GEI por demanda de energía [49]. Además, para el transporte se proyecta la mayor tasa de crecimiento de las emisiones GEI en las próximas décadas en el país [43]. En escenarios futuros, el incremento en la carbono-intensidad del transporte de pasajeros está muy relacionada con una mayor participación de los modos privados (vehículos livianos y motocicletas), a expensas de una menor participación de sistemas más sostenibles como son el transporte público y los modos no motorizados [44]. Otros aspectos, como la demanda de viajes y la tecnología de la flota, también son relevantes en la reducción de las emisiones GEI del transporte.

En términos de adaptación al cambio climático, cada vez se reconocen más las sinergias entre la infraestructura de transporte y los ecosistemas urbanos; por ejemplo, en gestión de inundaciones en áreas urbanas, en reducción de efecto de isla de calor y en captura de carbono con infraestructura verde. Además de estos beneficios, tener en cuenta los servicios y funciones de los ecosistemas permitiría diseños de infraestructura de transporte con mayores beneficios netos para la sociedad [50]. Este objetivo de planificación está relacionado con los Objetivos del Desarrollo Sostenible 7, 9, 11, 12 y 17.

## **1.6. Edificaciones e infraestructura urbana (hacia una ciudad con entornos construidos sostenibles)**

La evaluación del proceso de planeación de ciudades desde el sector de Edificaciones e Infraestructura Urbana establece un proceso evolutivo que parte de buscar ciudades con vivienda segura, evaluando las garantías de integralidad de las construcciones. Desde esta base se presenta un proceso escalonado que plantea la meta de llegar a ciudades con entornos construidos sostenibles. La visión de este sector se estableció de tal manera que pueda ser escalada tanto para una ciudad, como para un proceso de desarrollo urbano similar al realizado con los macroyectos de vivienda evaluados en este estudio.

Con las aproximaciones realizadas en la investigación se evidenció una serie de necesidades que surgen en el proceso de desarrollo de ciudades en las escalas mencionadas. El punto de partida del proceso ilustrado en la Figura 8 es una problemática asociada principalmente al sector edificador como actor aislado; sin

embargo, a medida que se avanza en el proceso de planificación, la visión de ciudad comienza a emplear o considerar criterios de otros sectores (energía, transporte, residuos) y de manera directa o indirecta se crean traslajos entre estos. De esta forma, la visión de ciudad con entornos construidos sostenibles, desde la óptica de este sector, requiere de la intervención y el esfuerzo de diferentes actores de manera simultánea. La visión de ciudad presentada contempla seis etapas para el proceso de planeación hacia una ciudad con entornos construidos sostenibles.

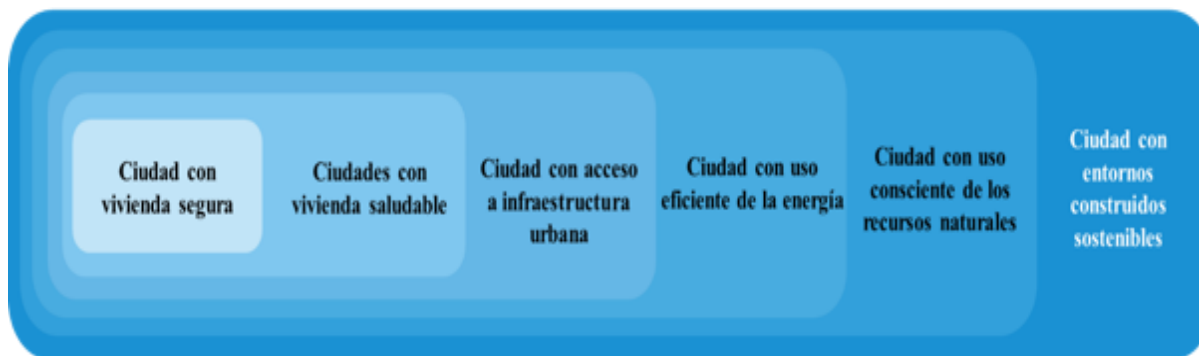


Figura 8. Proceso de planeación

- **Ciudad con vivienda segura**

Desde su inicio, el modelo de ciudad planteado exige requisitos de legalidad conforme a la normativa urbana establecida y de seguridad en cuanto a las especificaciones asociadas con el diseño y la construcción sismorresistente. La importancia de realizar los trámites de licencias urbanísticas y de construcción, según sea el caso, radica en el visto bueno por parte de las autoridades competentes para la ejecución de las obras, como se contempla en el ODS 11. Estos requisitos no solamente son de obligatorio cumplimiento sino también ofrecen ventajas en cuanto a valorización y diseño de las viviendas. Dichos instrumentos benefician al mismo tiempo a la ciudad, ya que estas licencias sirven como herramientas en la planeación organizada del espacio urbano. Una vez cumplido el requisito inicial de legalidad y seguridad de las viviendas, el desarrollo residencial debe enfocarse en incorporar aspectos relacionados con la salubridad y confort para sus ocupantes.

- **Ciudad con vivienda saludable**

Esta perspectiva busca que las personas encuentren en sus viviendas un entorno confortable en el que sus espacios garanticen buenas condiciones de habitabilidad. El concepto de vivienda saludable parte de la necesidad de que la vivienda no genere afectaciones al bienestar de sus habitantes. Esta perspectiva incorpora factores relacionados con la temperatura, ventilación, humedad, e iluminación de las viviendas con diferentes afectaciones a la salud física y mental de los residentes [51]–[53]. Por tal motivo, es necesario que la vivienda garantice condiciones aptas de confort habitacional. Los factores mencionados pueden ser controlados desde las etapas de diseño y construcción de las viviendas o mediante intervenciones para reacondicionar viviendas existentes [54]–[56]. Esto se materializa con la modificación de factores determinantes como los materiales utilizados en la construcción, la arquitectura, la forma urbana y las condiciones del entorno construido [57], [58]. Además del ODS 11, estos propósitos se señalan en el ODS 3.

- **Ciudad con acceso a infraestructura urbana**

En el proceso de desarrollo urbano, una vez se garantiza el cumplimiento adecuado de condiciones internas de las viviendas, se considera determinante la apta disposición de infraestructura para el cubrimiento de las

necesidades básicas de los habitantes [59]–[61]. Este criterio corresponde a la evaluación de la posibilidad de acceder a servicios básicos en el entorno en el cual se encuentra construida la unidad residencial y permite adicionar los propósitos del ODS 4.

En este sentido, la evaluación de la oferta de servicios en el contexto de un desarrollo urbano se puede enmarcar desde diferentes perspectivas. Por esta razón, en la escala de análisis del presente estudio se consideran unidades de área urbana que comprenden desde una manzana hasta una ciudad. Adicionalmente, según el análisis también contempla que de acuerdo con el tipo de servicio evaluado se puede definir la proximidad a la que se debería encontrar de las viviendas objeto de estudio. La oferta también puede ser evaluada desde la disponibilidad espacial del servicio (proximidad) y la capacidad de este para suplir la demanda existente, ya que, en algunos casos, la oferta es insuficiente en relación con la demanda generada por el proyecto urbano en evaluación.

Lo anterior indica que para este nivel se hace evidente la necesidad de realizar evaluaciones multisectoriales como parte del proceso de planeación urbana. Esto debido a que la serie de necesidades de la población de un proyecto de vivienda requiere de la interacción de diferentes sistemas de infraestructura. En consecuencia, desde este sector se evalúa la accesibilidad a múltiples servicios urbanos desde la escala de un macroproyecto de vivienda. Sin embargo, esta visión es escalable para cualquier unidad de área urbana.

- **Ciudad con uso eficiente de la energía**

Este componente corresponde al desarrollo de criterios ambientales asociados con el uso racional de la energía eléctrica, la utilización de fuentes alternativas, y el manejo del impacto ambiental. Lo anterior implica la disminución de su consumo, el cual puede verse fácilmente incrementado por actividades de climatización forzada y defectos de iluminación natural en proyectos de vivienda mal planeados [62]. Un proyecto sostenible, por tanto, buscará el aprovechamiento de fuentes alternativas como la eólica y solar, la iluminación natural y la inclusión de conceptos de arquitectura bioclimática en los diseños de vivienda. Los ODS relacionados son, además del 11, 3 y 4, el 7.

- **Ciudad con uso consciente de los recursos naturales**

Una ciudad que hace uso consciente de los recursos naturales es una ciudad que registra la utilización de materiales de construcción, promueve su uso eficiente, reduce la generación de desechos y cuantifica el carbono incorporado en las edificaciones y la infraestructura urbana. Esta definición de ciudad incluye etapas del ciclo de vida de los proyectos constructivos tales como la etapa de producto y la etapa de construcción [63], [64]. Debido a avances que han permitido la reducción del carbono emitido en la fase operativa de las edificaciones, la literatura disponible evidencia que recientemente se ha generado un mayor interés respecto a controlar y disminuir las emisiones desde las etapas tempranas del ciclo de vida constructivo [65]. Por otra parte, con respecto al aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD), a nivel nacional se encuentra normativa centrada tanto en cuantificar como en reducir los RCD generados [66], [67]. Asimismo, entes gubernamentales han explorado (y en algunos casos reglamentado) el uso de tecnologías mundialmente reconocidas y aprobadas que permiten la reutilización de residuos durante la construcción de pavimentos [68], [69]. A los ODS mencionados en la etapa anterior se pueden considerar los propósitos señalados en los ODS 8, 9 y 12.

- **Ciudad con entornos construidos sostenibles**

Una ciudad con entornos construidos sostenibles es una ciudad que recoge el cumplimiento de cada una de las categorías anteriormente presentadas y además debe ser armónica con los otros sectores. Con respecto al cumplimiento de cada una de las categorías previamente presentadas, esta visión comprende dos escalas

de análisis: edificaciones e infraestructura urbana. A nivel edificación se debe apuntar al ideal de edificaciones de consumo casi nulo – nZEB - que involucra tanto la energía utilizada durante la operación como las nuevas aproximaciones que incluyen la energía asociada a los materiales y a la construcción [70]. Adicionalmente, esta edificación, además de reducir sus impactos ambientales cumple con altos estándares de confort y disminuye considerablemente el riesgo al que se está expuesto. A escala urbana, una ciudad con entornos construidos sostenibles es un sistema que, con respecto a la infraestructura urbana, cuantifica y mitiga los impactos ambientales y asegura una excelente accesibilidad por parte de los individuos respecto a un portafolio de servicios. Con los propósitos adicionales en esta etapa se cubren además el ODS 15.

## Referencias

- [1] The Urbes Project, «Valuing ecosystem services in urban areas», pp. 1-4, 2013.
- [2] IPBES, *Summary for policymakers of the methodological assessment of scenarios and models of biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany. 32 pages. Bonn, Germany, 2016.
- [3] T. Panagopoulos, J. A. González Duque, y M. Bostenaru Dan, «Urban planning with respect to environmental quality and human well-being», *Environ. Pollut.*, vol. 208, pp. 137-144, 2016.
- [4] R. R. Brown, N. Keath, y T. H. F. Wong, «Urban water management in cities: historical, current and future regimes», *Water Sci. Technol.*, vol. 59, n.º 5, pp. 847-855, 2009.
- [5] A. Y. Hoekstra, J. Buurman, y K. C. H. Van Ginkel, «Urban water security: A review», *Environ. Res. Lett.*, vol. 13, p. 53002, 2018.
- [6] Distric Energy in Cities Initiative, «Progress Report 2019», 2019.
- [7] United Nations Environment Programme, «DISTRICT ENERGY -Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy», 2014.
- [8] A. Quijano *et al.*, «KPIs definition for pre-intervention data collection», 2020.
- [9] Integrated and Replicable Solutions for Co-creation in Sustainable Cities, «Deliverable 1.1 Report on the list of selected KPIs for each Transition Track», 2018.
- [10] L. Mabe *et al.*, «Indicators tools and methods for advanced city modelling and diagnosis», 2018.
- [11] Superintendencia Delegada Para Energía Y Gas, «Diagnóstico De La Calidad Del Servicio De Energía Eléctrica En Colombia 2018 Dirección Técnica De Gestión De Energía», 2019.
- [12] Colombia Inteligente, «Lineamientos estratégicos virtualización de la información acciones para la masificación de la medida en AMI», 2018.
- [13] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Ministerio de Minas y Energía, «PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017 - 2022», 2017.
- [14] E. Espe, V. Potdar, y E. Chang, «Prosumer communities and relationships in smart grids: A literature review, evolution and future directions», *Energies*, vol. 11, n.º 10, 2018.
- [15] EPM, «Distrito Térmico La Alpujarra», 2016.
- [16] MatchUP, «Antalya Lighthouse Interventions Design», 2018.
- [17] MatchUP, «Valencia Lighthouse Interventions Design», 2020.

- [18] C. Peterson, «Cities and Solid Waste», en *Field Reference Guide Eco2 Cities: Ecological Cities as Economic Cities*, Washington, DC: The World Bank, 2010.
- [19] Departamento Nacional de Planeación, «CONPES 3874 POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS», Bogotá D.C., 2016.
- [20] Ellen MacArthur Foundation, «TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY», 2013.
- [21] N. Seyring, M. Dollhofer, J. Weißenbacher, M. Herczeg, y M. David, «Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU», *BiPRO/CRI*, n.º November, pp. 1-161, 2015.
- [22] I. Bakas, M. Herczeg, B. Kjær, L. Milios, N. Tojo, y D. Watson, «Proposals for targets and indicators for waste prevention in four waste streams». Nordic Council of Ministers, Copenhagen, p. 235, 2013.
- [23] T. A. Litman, «Comprehensive Transport Planning Framework - Best Practices For Evaluating All Options And Impacts», 2012.
- [24] T. Litman, «Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning», *Transp. Res. Rec.*, n.º December, pp. 10-15, 2019.
- [25] A. Tirachini y D. A. Hensher, «Multimodal Transport Pricing: First Best, Second Best and Extensions to Non-motorized Transport.», *Transp. Rev.*, vol. 32, n.º 2, pp. 181-202, 2012.
- [26] A. Diaz y S. Proost, «Second-best urban tolling with distributive concerns», *Econ. Transp.*, vol. 3, n.º 4, pp. 257-269, 2014.
- [27] G. R. Timilsina y H. B. Dulal, «Fiscal Policy Instruments for Reducing Congestion and Atmospheric Emissions in the Transport Sector», 2008.
- [28] R. Broaddus, A., Cervero, «Transportation planning», en *The Routledge Handbook of International Planning Education*, Berkeley, United States: Scopus, 2019, pp. 253-264.
- [29] UN-Habitat, UNEP, y SLoCaT, «Analysis of the Transport Relevance of Each of the 17 SDGs. p. 20», n.º September, p. 20, 2015.
- [30] S. Nocera, A. Dianin, y F. Cavallaro, *Greenhouse Gas Emissions and Transport Planning: Toward a New Era?*, vol. 1. 2018.
- [31] Gobierno de Colombia, «Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Pacto por Colombia. Pacto por la Equidad», 2018.
- [32] DNP, «Conpes 3934 Política de crecimiento verde», Bogotá D.C., Colombia, 2018.
- [33] DNP, «Conpes 3991 Política nacional de movilidad urbana y regional», Bogotá D.C., Colombia, 2020.
- [34] DNP, «Síntesis de Evaluación de los Sistemas Integrados de Transporte Masivo de Colombia», Bogotá D.C., Colombia, 2014.
- [35] Ministerio de Transporte, «Transporte en Cifras 2013-2018». Bogotá D.C., Colombia, 2019.
- [36] Ministerio de Transporte, «Resolución 600 de 2017», Bogotá D.C., Colombia, 2017.
- [37] Ministerio de Transporte, «Unidad de movilidad urbana sostenible: Informe Ejecutivo 2010-2018». p. 160, 2018.
- [38] Transmilenio S.A., «Transmilenio en cifras», 2016.

- [39] O. Lah, S. Alveano, M. Arioli, V. Chesterton, y L. Sdoukopoulos, *Sustainable Urban Mobility Solutions for Asia, Latin America and the Mediterranean Region*. Elsevier Inc., 2018.
- [40] UN-Habitat, *Planning and Design for Sustainable Urban Mobility*. New York, 2014.
- [41] IDB y DDPLAC, «Getting to Net-Zero Emissions: Lessons from Latin America and the Caribbean». Inter-American Development Bank, Washington D.C, 2019.
- [42] R. Sims *et al.*, «Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.
- [43] A. Cadena *et al.*, «Upstream analytical work to support development of policy options for mid- and long-term mitigation objectives in Colombia - Informe producto C», 2016.
- [44] M. Espinosa Valderrama, Á. I. Cadena Monroy, y E. Behrentz Valencia, «Challenges in greenhouse gas mitigation in developing countries: A case study of the Colombian transport sector», *Energy Policy*, vol. 124, n.º September 2018, pp. 111-122, 2019.
- [45] WB, «The high toll of traffic injuries: unacceptable and preventable», Washington, D.C., 2017.
- [46] GRSP, «Global Road Safety Partnership», 2016.
- [47] DNP, «Costos de la degradación ambiental en Colombia», 2017.
- [48] IDEAM, «Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2017», Bogotá D.C., Colombia, 2018.
- [49] IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, «Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC», Bogotá D.C., Colombia, 2018.
- [50] J.-W. L. M. Čivić K., «Implementing green infrastructure and ecological networks in Europe: Lessons learned and future perspectives», *J. Green Eng.*, vol. 4, n.º 4, pp. 307-324, 2014.
- [51] J. Gilbertson, M. Grimsley, y G. Green, «Psychosocial routes from housing investment to health: Evidence from England's home energy efficiency scheme», *Energy Policy*, vol. 49, pp. 122-133, 2012.
- [52] G. Happle, J. A. Fonseca, y A. Schlueter, «A review on occupant behavior in urban building energy models», *Energy and Buildings*, vol. 174. Elsevier Ltd, pp. 276-292, sep-2018.
- [53] C. D. C. Santiago, M. E. Wadsworth, y J. Stump, «Socioeconomic status, neighborhood disadvantage, and poverty-related stress: Prospective effects on psychological syndromes among diverse low-income families», *J. Econ. Psychol.*, vol. 32, n.º 2, pp. 218-230, 2011.
- [54] E. Taveres-Cachat, S. Grynning, J. Thomsen, y S. Selkowitz, «Responsive building envelope concepts in zero emission neighborhoods and smart cities - A roadmap to implementation», *Build. Environ.*, vol. 149, n.º December 2018, pp. 446-457, 2019.
- [55] C. M. Rodríguez, J. M. Medina, A. Pinzón, y A. García, «A post-occupancy strategy to improve thermal comfort in social housing in a tropical highland climate: A case study in Bogotá, Colombia», *Inf. la Constr.*, vol. 71, n.º 555, 2019.
- [56] M. A. Triana, R. Lamberts, y P. Sassi, «Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures», *Energy Build.*, vol. 158, pp. 1379-1392, ene. 2018.

- [57] Y. Han, J. E. Taylor, y A. L. Pisello, «Exploring mutual shading and mutual reflection inter-building effects on building energy performance», *Appl. Energy*, vol. 185, pp. 1556-1564, 2015.
- [58] Y. Han, J. E. Taylor, M. J. Garvin, I. T. Moore, y A. L. Pisello, «Urban Building Networks ' Thermal-Energy Dynamics : Exploring , Mitigating , and Optimizing Inter-Building Effects», 2016.
- [59] Observatorio de Vivienda, «Cartilla de indicadores: Ciudad», Universidad de los Andes.
- [60] S. Bahadure y R. Kotharkar, «Framework for measuring sustainability of neighbourhoods in Nagpur, India», *Build. Environ.*, vol. 127, pp. 86-97, ene. 2018.
- [61] A. Fijalkowska, «Measuring inhabitants quality of life using GIS-based accessibility analysis», en *14th SGEM GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Book 2*, 2014, vol. 3, n.º SGEM2014 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-12-4 / ISSN 1314-2704, pp. 737-744 pp.
- [62] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Cartilla sobre criterios ambientales para el diseño y construcción de la vivienda en Colombia». 2011.
- [63] Thinkstep ANZ, «Under Construction: Hidden emissions and untapped potential of buildings for New Zealand's 2050 zero carbon goal». 2019.
- [64] N. C. Kayaçetin y A. M. Tanyer, «Embodied carbon assessment of residential housing at urban scale», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 117, p. 109470, ene. 2020.
- [65] A. Akbarnezhad y J. Xiao, «Estimation and Minimization of Embodied Carbon of Buildings: A Review», *Buildings*, vol. 7, n.º 4, p. 5, ene. 2017.
- [66] Secretaría Distrital de Ambiente, «Resolución 1115 de 2012». 2012.
- [67] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Resolución 472 de 2017». 2017.
- [68] Alcaldía Mayor de Bogotá, «Llantas y asfaltos reciclados para pavimentar a Bogotá: Apuesta ambiental del IDU a partir de 2012». 2012.
- [69] M. Guo *et al.*, «Effect of WMA-RAP technology on pavement performance of asphalt mixture: A state-of-the-art review», *J. Clean. Prod.*, vol. 266, p. 121704, sep. 2020.
- [70] X. Cao, X. Dai, y J. Liu, «Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade», *Energy Build.*, vol. 128, pp. 198-213, sep. 2016.