

Contenido

2.	Capítulo 2. Los indicadores como herramienta para el seguimiento y mejora de los desarrollos urbanos	2
2.1.	Introducción	2
2.2.	Revisión bibliográfica	2
2.3.	Marco conceptual.....	4
2.3.1.	Características principales de los indicadores.....	6
2.3.2.	Tipos de indicadores	7
2.3.3.	Diseño de sistemas de indicadores.....	9
2.4.	Marcos conceptuales y estándares de sistemas de indicadores	12
2.5.	Propuesta de agrupación de indicadores	15
2.5.1.	Sistema de indicadores bajo el enfoque de ciudad sensible	19
2.6.	Metodología de evaluación comprensiva difusa	26
2.6.1.	Descripción de la metodología de evaluación comprensiva difusa.....	27
	Referencias.....	37
	Anexo 2. Fichas de indicadores	42
A.2.1.	Fichas indicadores sector ecología urbana	42
A.2.2.	Fichas indicadores sector manejo integrado del agua	50
A.2.3.	Fichas indicadores sector suministro y uso de energía	67
A.2.4.	Fichas indicadores sector gestión de residuos.....	83
A.2.5.	Fichas indicadores sector movilidad sostenible	93
A.2.6.	Fichas indicadores sector edificaciones e infraestructura urbana	109

2. Capítulo 2. Los indicadores como herramienta para el seguimiento y mejora de los desarrollos urbanos

2.1. Introducción

Durante los últimos años, tanto los tomadores de decisiones, así como grupos de interés (stakeholders) han manifestado un interés creciente por diseñar mecanismos o herramientas útiles para realizar seguimiento y evaluación a proyectos urbanísticos y ciudades. Por tal motivo, se han desarrollado iniciativas para la construcción de sistemas de indicadores acordes con los objetivos a evaluar en las diferentes unidades de análisis. En el presente capítulo inicialmente se realiza una revisión bibliográfica de diferentes estudios focalizados en la evaluación del desempeño global de diferentes proyectos urbanísticos y ciudades. Seguidamente, se presentan las bases conceptuales necesarias para el proceso de análisis y diseño de un sistema de indicadores. Adicionalmente, en este capítulo se detallan el sistema de indicadores propuesto para la evaluación de los casos de estudio basado en el marco conceptual previamente descrito en el capítulo 1 del presente informe, el cual está basado en el concepto de sostenibilidad y resiliencia y tiene como ejes de soporte los ámbitos sectoriales de ecología urbana y el manejo integrado del agua, que a su vez permiten la articulación de los sectores uso de la energía, manejo integrado de residuos, movilidad sostenible y edificaciones e infraestructura urbana. Finalmente, y dado que con el diagnóstico del sistema de indicadores se pueden establecer acciones de mejora a implementar basados en los costos de inversión y el impacto que estas acciones puedan tener sobre el proyecto urbanístico en estudio, en este capítulo se describe la metodología de evaluación comprensiva difusa la cual es adoptada y empleada para obtener una descripción concreta de la situación actual de los casos de estudio, y así determinar las categorías y los correspondientes indicadores que requieren una atención prioritaria para la consecución de los objetivos propuestos.

2.2. Revisión bibliográfica

En los últimos años, se han desarrollado una serie de estudios focalizados en la evaluación del desempeño global de diferentes ciudades, considerando múltiples dimensiones, tales como, la dimensión económica, ambiental, social, entre otras, con el objetivo de realizar un seguimiento y evaluación y así poder tomar acciones de mejora de proyectos urbanísticos. Esta evaluación se realiza mediante el diagnóstico de indicadores, los cuales permiten identificar y priorizar los problemas que más influyen en el desarrollo de estos proyectos. Cuando un sistema de indicadores es evaluado y monitoreado periódicamente, estos muestran las tendencias y cambios del sistema de análisis a lo largo del tiempo, permitiendo cuantificar sus objetivos y monitorear sistemáticamente el progreso hacia los mismos [1]. Por lo tanto, con los datos que se obtengan del fenómeno de estudio y un número cuidadosamente seleccionado de indicadores fácilmente comprensibles, los tomadores de decisiones pueden obtener un diagnóstico y evaluación del rendimiento en diferentes áreas del sistema bajo estudio, como por ejemplo, las ciudades [2].

Basado en el diagnóstico de los indicadores se pueden establecer acciones de mejora, las cuales los tomadores de decisiones o stakeholders pueden implementar basados en los costos de inversión y el impacto que estas acciones pueden tener con respecto a las dimensiones o sectores de estudio establecidas. A continuación, se presentan algunos de este tipo de estudios reportados en la literatura especializada.

En el trabajo de Huovila et.al [3] brindan una orientación para que los tomadores de decisiones de las ciudades y los encargados de formular políticas públicas seleccionen el sistema de indicadores y los estándares que mejor se adapten a las necesidades y objetivos de evaluación. En este estudio se comparan siete estándares de indicadores para ciudades sostenibles inteligentes y desarrollaron una taxonomía para evaluar 413 indicadores considerando 10 dominios de aplicación sectoriales (energía, transporte, TIC, economía, agua y residuos, entorno natural, entorno construido, etc.) y cinco tipos de indicadores (entrada,

proceso, producto, resultado, impacto). Los resultados discriminan claramente entre los estándares de indicadores adecuados para evaluar la implementación de enfoques de ciudad predominantemente inteligentes versus los estándares más centrados en la evaluación de la sostenibilidad. El análisis utilizó un enfoque de método mixto que combina el análisis cualitativo de toda la documentación del indicador y la calificación cuantitativa de cada indicador en la taxonomía. El propósito de este análisis fue revelar diferencias entre los estándares de indicadores analizados con respecto a su aplicabilidad a diferentes tipos de evaluación de la ciudad, es decir, encontrar respuestas a la pregunta: ¿qué indicadores y estándares usar y cuándo?

Por otro lado, la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) ha desarrollado varias investigaciones relacionadas con la diversidad ecosistémica, problemáticas de entorno urbano y periurbano, y desafíos ambientales de buenas prácticas en la ciudad [4]. Algunos de los estudios que han desarrollado son: huella de carbono y huella hídrica, huella ecológica, inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), mapa de cobertura vegetal con enfoque productivo, vulnerabilidad al cambio climático, entre otros. Para los anteriores estudios, han elaborado una serie de “Indicadores de Ciudad Sostenible”, que han permitido evaluar el desempeño ambiental urbano y rural del Distrito Metropolitano de Quito en forma integral, participativa, reproducible y sistemática. Los “Indicadores de Ciudad Sostenible” definidos han permitido conocer el estado de la ciudad respecto al medio ambiente y los conceptos del desarrollo sostenible. Para esto se ha establecido una línea base clara para la definición de políticas encaminadas a alcanzar una ciudad sostenible.

Es así como en [4], se han definido una serie de “Indicadores de Ciudad Sostenible” que, por sus características, pueden ser actualizados de manera continua (mínimo anualmente), con lo cual los tomadores de decisiones contarán con datos concretos acerca de la evolución de los diferentes parámetros ambientales en el corto y mediano plazo. Los indicadores se basan en criterios cuantitativos y cualitativos, que han sido el resultado de procesos de construcción participativa de los mismos, mediante el trabajo en conjunto con los principales actores relacionados a las temáticas ambientales de la ciudad. Dentro del estudio se consideraron el sector urbano y rural y adicionalmente, consideraron la huella ecológica como eje transversal entre lo urbano y lo rural. Para la evaluación del sector urbano se consideraron 8 dimensiones entre las cuales se encuentran: energía y CO₂, uso del suelo y ordenamiento territorial, transporte, gestión integral de residuos sólidos, agua potable, saneamiento, calidad del aire y agricultura urbana; y para el sector rural se evaluaron 6 dimensiones: ecosistemas, agricultura, protección de fuentes de agua, aprovechamiento minero de áridos y pétreos, gestión de riesgos forestales y vulnerabilidad al cambio climático. Cabe resaltar que cada dimensión está compuesta por un número de indicadores cuantitativos y cualitativos que son evaluados en una escala que contiene 5 etiquetas de evaluación: “Muy Malo”, “Malo”, “Medio”, “Bueno” y “Muy Bueno”. La evaluación de una dimensión en el sector urbano o rural se basa en el promedio de los resultados de los diferentes indicadores que dicha dimensión incluye. De esta manera, la evaluación del sector urbano o rural se obtiene basado en el desempeño de cada dimensión y finalmente, el desempeño ambiental general del Distrito Metropolitano de Quito se basa en la evaluación de los sectores urbano, rural y la huella ecológica. Los resultados del estudio se constituyeron en una línea base acerca del estado de la sostenibilidad ambiental en el Distrito Metropolitano de Quito, las áreas de acción prioritaria a nivel de gestión ambiental municipal y los principales hallazgos en cuanto a los sectores urbanos y rurales, en relación al medio ambiente, manejo, monitoreo y protección.

En [5] se presenta un estudio realizado por el Economist Intelligence Unit (EIU) en cooperación con Siemens, donde se evaluó el desempeño ambiental de 17 ciudades de América Latina y el compromiso por reducir el impacto del medio ambiente en el futuro. Este estudio se basó en el trabajo realizado para el índice de ciudades verdes de Europa y la metodología se adaptó para tener en cuenta la calidad y disponibilidad de datos y los desafíos ambientales específicos de la región latinoamericana. Para la interpretación de los resultados se determinó que la evaluación de los índices se presenta en bandas de puntaje en relación al valor promedio obtenido de las ciudades en estudio. Para este estudio definieron un

total de 31 indicadores los cuales fueron agrupados en 8 dimensiones, a saber: Energía y CO₂, uso de la tierra y edificios, transporte, desechos, agua, saneamiento, calidad del aire y gobernanza medioambiental. Los indicadores fueron normalizados en una escala de 0 a 10, donde a la mejor ciudad se le otorgó un puntaje de 10 y la peor de 0. Para determinar una valoración de cada dimensión, se consideró el puntaje agregado de los indicadores que conforman cada dimensión, utilizando la misma ponderación o peso para cada uno de los indicadores. Posteriormente, para obtener un resultado general de evaluación de cada una de las ciudades, se definió que cada dimensión tuviera la misma importancia (peso). En otras palabras, el resultado final corresponde a la sumatoria de todos los puntajes de las dimensiones definidas. Finalmente, las ciudades fueron ubicadas utilizando cinco etiquetas de evaluación: “Muy por debajo del promedio”, “debajo del promedio”, “promedio”, “encima del promedio” y “muy por encima del promedio”. A manera de ejemplo, el estudio muestra que en Bogotá las dimensiones Energía y CO₂, Uso de la tierra y edificios y transporte, Desechos, Agua y Gobernanza medioambiental están ubicados en la etiqueta “Encima del Promedio” y las dimensiones Saneamiento y Calidad del aire se ubican en la etiqueta “Debajo del Promedio”. Finalmente, como resultado general, la ciudad de Bogotá queda ubicada en la banda “Encima del Promedio”.

A la metodología de agrupación de indicadores por dimensiones, categorías o sectores se le conoce como sistema de indicadores de evaluación jerárquica, la cual ha sido ampliamente utilizada en diferentes estudios [6][7][8][9][10][11][12]. El objetivo final de esta metodología es poder obtener una descripción concreta de la situación actual de los casos de estudio y así determinar las dimensiones o categorías que requieren una atención prioritaria para la consecución de una ciudad sostenible e inteligente o una ciudad en búsqueda de un objetivo claramente definido. Al igual dentro del análisis de cada dimensión, se puede establecer cuáles son los indicadores que requieren una intervención prioritaria y de esta manera, se pueden tomar las medidas de acción requeridas con el objetivo de alcanzar las metas propuestas y lograr avances en los desarrollos urbanos.

Como se puede analizar en los estudios descritos anteriormente, los indicadores definidos para el proceso de evaluación son agrupados en ciertas dimensiones, categorías o sectores. Los sistemas de indicadores pueden construirse basado en los diferentes estándares reportados en la literatura y acorde con los objetivos de evaluación para la unidad de análisis. Sin embargo, la agrupación o categorización de dichos indicadores pueden corresponder a una necesidad particular de evaluación. Es así, que, para el presente proyecto de investigación, la Universidad de los Andes ha elaborado un esquema conceptual para abordar la planeación y el análisis de un desarrollo urbano, considerando aspectos ecológicos, económicos, sociales y estéticos dentro de los procesos de planeación urbana. En dicho esquema conceptual, se proponen como ejes articuladores el manejo sostenible del agua y la maximización de la provisión de los servicios ecosistémicos para guiar los lineamientos de planeación del presente proyecto. Adicionalmente, los ejes de investigación: suministro y uso de la energía, manejo integrado de residuos, movilidad sostenible y edificaciones e infraestructura urbana son considerados en el sistema de indicadores propuesto.

A continuación, se presentan las bases conceptuales para el proceso de análisis y diseño de un sistema de indicadores definido a nivel de una unidad de análisis, por ejemplo, a nivel ciudad o desarrollo urbano.

2.3. Marco conceptual

Los tomadores de decisiones y los stakeholders pueden tener dificultades a la hora de analizar y evaluar el desempeño de las ciudades o desarrollos urbanos, debido a la gran cantidad de datos complejos que pueden obtener en cada caso de estudio de interés. Los datos son valiosos solo cuando pueden explotarse de forma útil y comprensible. Por esta razón, los sistemas de indicadores son útiles para propósitos de análisis y evaluación, ya que por definición, simplifican los fenómenos complejos en figuras fácilmente comprensibles [3]. En consecuencia, los sistemas de indicadores se usan para establecer objetivos medibles

y permiten monitorear el progreso hacia los mismo. Además, son útiles como herramienta de apoyo para la toma de decisiones.

Existen diferentes definiciones para los indicadores, por ejemplo, en [1], los definen como medidas cuantitativas, cualitativas o descriptivas que permiten simplificar la información sobre un fenómeno complejo, en una forma que sea relativamente fácil de usar y comprender. Los autores en [13], definen a los indicadores como una herramienta que permite la obtención de información sobre una realidad dada, y tienen como objetivo el poder sintetizar dicha información. De esta manera, los indicadores permiten medir las condiciones, los procesos, y la reacción en el comportamiento de sistemas complejos, y ofrecen síntesis confiables para su análisis y evaluación. Los indicadores son definidos en [14] como una expresión cualitativa o cuantitativa observable, que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad a través de la evolución de una variable o el establecimiento de una relación entre variables. Dichas variables al ser comparadas con períodos de tiempo anteriores o metas, permiten evaluar el desempeño y evolución del sistema en estudio, además se pueden extraer conclusiones útiles y fidedignas para ser utilizadas en la toma de decisiones.

Acorde con las anteriores definiciones, los indicadores son una herramienta cuantitativa o cualitativa útil para simplificar una realidad compleja, ya que se centran en ciertos aspectos relevantes del fenómeno de estudio, de manera que la información queda reducida a un número manejable de variables. En términos generales, los indicadores son datos estadísticos, medidas de una cierta condición, o cambio en el estado del fenómeno objeto de estudio que permiten un monitoreo permanente y dinámico del objetivo al que se encuentra asociado dicho indicador. De esta manera, los indicadores ofrecen información relativa al objetivo planteado, información que es adecuada para la toma de decisiones y poder avanzar hacia la consecución de los objetivos propuestos [3], [15].

La selección adecuada de un sistema de indicadores es un aspecto importante, ya que afecta directamente la gestión y la toma de decisiones. Sin embargo, una elección del estándar de indicadores más adecuado sigue siendo una tarea difícil, ya que requiere un conocimiento experto para comprender la utilidad y las debilidades de estos indicadores para un objetivo o uso específico. Según los autores en [16], uno de los principales obstáculos de los desarrollos urbanos está relacionado con la poca disponibilidad de información. Por tal razón, diversos organismos internacionales han recomendado que para superar esta carencia es necesario invertir más esfuerzos en el monitoreo de las ciudades y en el estudio de su comportamiento a modo de contribución al derecho a una mejor calidad de vida a través de la implementación de sistemas de indicadores [17].

Acorde con [18], las tres principales funciones de los indicadores son la simplificación, la medición/cuantificación y la comunicación. La simplificación permite actuar en realidades multidimensionales y el indicador puede considerar algunas de las dimensiones establecidas en el estudio, por ejemplo, la dimensión económica, social, cultural, política, entre otras, pero dicho indicador no puede abarcarlas todas. La medición/cuantificación permite comparar la situación actual de una dimensión de estudio en el tiempo o respecto a patrones establecidos (Bechmarks) y finalmente, la comunicación permite transmitir la información acerca de los resultados obtenidos en las fases anteriores para la toma de decisiones. Dado lo anterior, el uso de sistemas de indicadores se ha vuelto cada vez más popular, como una tendencia para la toma de decisiones informadas [19]. En resumen, los indicadores se aplican, por ejemplo, en las ciudades para una variedad de propósitos y si bien la selección del sistema de indicadores más adecuado es difícil de obtener, ya que requiere del conocimiento experto, las consecuencias del mal uso pueden ser significativas.

Dado lo anterior, durante el proceso de construcción de un sistema de indicadores la interacción con pares y expertos es esencial para lograr la mutua aceptación del indicador, el cual debe concebirse como una herramienta útil de investigación y comparación sobre la base del consenso. Sin embargo, a pesar de basarse

en el juicio experto, la elección del indicador requiere la aplicación minuciosa de principios estadísticamente fundamentados y procedimientos cuantitativos transparentes ya que, por ejemplo, puede haber conflicto con las escalas de medición y análisis: lo que es pertinente a nivel local, puede no serlo a nivel nacional [20].

En el presente estudio se ha propuesto un marco conceptual para planear y evaluar desarrollos urbanos con consideraciones de sostenibilidad y resiliencia. Dentro de este marco conceptual se ha propuesto un sistema de indicadores que considera los siguientes ejes de investigación, ámbitos sectoriales o dimensiones: ecología urbana, manejo integrado del agua, suministro y uso de la energía, manejo integrado de residuos, movilidad sostenible y edificaciones e infraestructura urbana. Cada uno de los sectores estableció unas etapas que consideran necesarias para avanzar en un desarrollo urbano sostenible. Estas etapas están directamente relacionadas con los indicadores sectoriales requeridos para monitorear y verificar la evolución de los desarrollos urbanos en estudio. Bajo este enfoque, la planeación urbana y el desarrollo de las ciudades se consideran procesos dinámicos en permanente evolución.

En general para el presente estudio se ha definido por parte de los expertos una batería de indicadores que se encuentran asociados con cada una de las etapas que cada sector definió como evolución del desarrollo para los casos de estudio: Ciudad Verde y Lagos de Torca. A continuación, se presentan algunos conceptos y características que se consideraron al momento de definir el sistema de indicadores en el presente trabajo.

2.3.1. Características principales de los indicadores

Los indicadores como herramienta para la planeación y la gestión tienen como objetivos principales generar información útil para el seguimiento, evaluación y toma de decisiones, así como para monitorear el cumplimiento de los objetivos planteados. Es decir, los indicadores pueden ser utilizados en la etapa de planeamiento, con un objetivo de prevención y en la etapa de uso, con la finalidad de evaluación. Acorde con [21], las características más relevantes a considerar en la selección de los indicadores son:

- **Universalidad:** los indicadores deben buscar medir elementos comúnmente existentes para los sistemas de estudio similares, para este caso en particular, los desarrollos urbanos. En este sentido, cada indicador debe ser diseñado considerando la potencialidad de ser aplicado en cualquier contexto urbano.
- **Objetividad y claridad:** los indicadores deben ser precisos, unívocos y fáciles de comprender. De igual manera, los indicadores deben mostrar hechos verificables, independientes de la influencia de factores externos a la medición, tales como las personas a cargo del levantamiento de los datos o de la herramienta que se utiliza para su estimación.
- **Facilidad de recopilación:** esta característica no es solamente importante para el diagnóstico inicial, sino también para facilitar la actualización periódica de los indicadores, de esta manera, se puede analizar la evolución de los mismos, permitiendo la toma de los correctivos oportunos y mejorar la eficiencia y eficacia de los casos de estudio. Por lo tanto, los datos deben ser fáciles de obtener y su actualización no debería implicar mayores complejidades.
- **Representatividad:** los indicadores deben ser representativos para cada una de las dimensiones, categorías o sectores establecidos en los casos de estudio, de tal manera que permitan obtener una evaluación objetiva de cada uno de los sectores. Para este caso en particular, los sectores a considerar son: ecología urbana, el manejo integrado del agua, el suministro y uso de la energía, el manejo integrado de residuos, la movilidad sostenible y las edificaciones e infraestructura urbana.

Debido a que en muchos casos es difícil hacer una distinción exacta y rígida entre los diferentes tipos de indicadores, a continuación, se presenta la tipología más común reportada en la literatura para la clasificación de los mismos.

2.3.2. Tipos de indicadores

En la literatura especializada, típicamente se han reportado cuatro clasificaciones comunes de indicadores: (1) según medición/cuantificación, (2) según nivel de intervención, (3) según nivel de jerarquía y (4) según la calidad. Se debe tener en cuenta que estas clasificaciones no son excluyentes y que en muchos casos se pueden agrupar de formas diferentes dependiendo de los objetivos propuestos en los casos de estudio. La premisa es que la clasificación de indicadores puede ser útil para los tomadores de decisiones, ya que puede ayudarles a comprender para qué tipo de propósitos de evaluación son útiles los indicadores definidos. A continuación, se presenta una descripción de cada una de las tipologías propuestas para la clasificación de los indicadores, basado en los estudios presentados en [3],[14] y [22].

2.3.2.1. Indicadores según medición/cuantificación

Bajo este enfoque de clasificación, se encuentran dos tipos de indicadores: los indicadores cuantitativos y los cualitativos:

- Los indicadores cuantitativos son una representación numérica de la realidad respecto a un resultado. Con esta representación numérica se puede emitir un juicio de valor sobre el rendimiento o desempeño del objeto de estudio.
- Los indicadores cualitativos son aquellos que se refiere a una escala de cualidades y están basados en la percepción o el grado de convicción del evaluador sobre el objeto de estudio. Por lo tanto, este tipo de indicadores se pueden expresar así: (1) categóricos: por ejemplo, bueno, aceptable, regular, malo; (2) binarios: por ejemplo, sí, no.

2.3.2.2. Indicadores según el nivel de intervención

Este tipo de indicadores hacen referencia a la cadena lógica de intervención, es decir, a la relación entre los insumos, los resultados y los impactos. Los indicadores que se encuentran bajo esta clasificación tratan de medir la cercanía a las metas esperadas con los insumos disponibles. Bajo esta clasificación se encuentran cinco tipos de indicadores, a saber:

- Indicadores de entrada: estos indicadores se refieren a los recursos necesarios para la implementación de intervenciones, midiendo la cantidad, calidad y oportunidad de los recursos. Políticas, recursos humanos, materiales, recursos financieros son ejemplos de indicadores de entrada.
- Indicadores de proceso: estos indicadores miden si las actividades planificadas tuvieron lugar. Los ejemplos para este tipo de indicadores incluyen la realización de reuniones, cursos de capacitación, la distribución de medidores inteligentes, tiempo de espera para la atención médica pública, número de alumnos por maestro en escuelas públicas, entre otros.
- Indicadores de salida o producto: estos indicadores agregan más detalles en relación con el producto de la actividad y, además, se refieren a la cantidad y calidad de los bienes y servicios que se generan mediante las actividades planteadas. Ejemplos de este tipo de indicadores son, la cantidad de medidores inteligentes distribuidos, el área del techo que ha sido aislada o la cantidad de buses eléctricos en el sistema con relación al total programado.

- Los indicadores de resultados (outcome): estos indicadores miden los resultados intermedios generados por las salidas. Los indicadores de resultados se refieren más específicamente a los objetivos de una intervención en relación con la cantidad y calidad de las actividades implementadas. Estos indicadores miden el grado en que se ha alcanzado un objetivo, por ejemplo, el porcentaje de niños de 0 a 6 años vacunados, el porcentaje de niños inscritos en educación primaria, porcentaje de viviendas con conexión a servicio de acueducto, entre otros.
- Los indicadores de impacto: estos indicadores miden el estado con respecto a un objetivo establecido. En otras palabras, se refieren a los efectos, a mediano y largo plazo, que pueden tener uno o más procesos en el objeto de estudio y que repercuten en la sociedad en su conjunto. Ejemplo de este tipo de indicadores es el consumo de energía de la ciudad, que a su vez puede utilizarse para evaluar los impactos de las soluciones inteligentes en la sostenibilidad.

2.3.2.3. Indicadores según el nivel de jerarquía

Bajo este enfoque de clasificación, se encuentran dos tipos de indicadores: los indicadores de gestión y los indicadores estratégicos:

- Indicadores de gestión: este tipo de indicadores también son denominados indicadores internos y su función principal es medir el primer eslabón de la cadena lógica de intervención, es decir, la relación entre los insumos y los procesos.
- Indicadores estratégicos: este tipo de indicadores permiten hacer una evaluación de productos, efectos e impactos. Es decir, la forma, método, técnica, propuesta, solución y alternativa son elementos que pertenecen, bajo el criterio de estrategia, a todo el sistema de seguimiento y evaluación. En este sentido, los indicadores estratégicos permiten medir los temas de mayor incidencia e impacto.

2.3.2.4. Indicadores según la calidad

Este tipo de indicadores dan cuenta de la dinámica de actividades específicas. Además, estos indicadores miden la eficiencia, eficacia y efectividad del proceso, de modo que permiten introducir acciones correctivas necesarias o cambios requeridos dentro del transcurso del proceso, ya que informan sobre áreas críticas del mismo. A continuación, se describen los tres tipos de indicadores bajo este enfoque de clasificación:

- Los indicadores de eficiencia permiten establecer la relación de productividad en el uso de los recursos.
- Los indicadores de eficacia expresan el logro de los objetivos, metas y resultados de un plan, programa, proyecto o política.
- Los indicadores de efectividad involucran la eficiencia y la eficacia, es decir, el logro de los resultados programados en el tiempo y con los costos más razonables posibles.

Una vez identificadas las características principales de los indicadores y la clasificación más común de los mismos, en la siguiente sección, se procede a describir los elementos metodológicos básicos que se deben tener en cuenta en el diseño y construcción de los sistemas de indicadores para una adecuada toma de decisiones.

2.3.3. Diseño de sistemas de indicadores

Un sistema de seguimiento y evaluación basado en indicadores es una herramienta que permite valorar el nivel de cumplimiento de los objetivos propuestos, por ejemplo, en los desarrollos urbanos. Los indicadores permiten identificar y seleccionar la información más relevante para tomar decisiones, aplicar correctivos y sistematizar experiencias [14]. Como lo plantean los autores en [14], un sistema de indicadores debe permitir en una primera instancia obtener una evaluación del estado inicial del sistema de análisis, y a partir de este estado inicial poder elaborar un diagnóstico que sirva para la formulación de políticas públicas, planes, programas y/o proyectos, a las cuales se les realice un permanente seguimiento y evaluación, con la finalidad de observar la evolución en el tiempo de los casos de estudio, como por ejemplo, los desarrollos urbanos presentados en esta investigación. A continuación, se presentan las etapas básicas sugeridas en [14] para el diseño de un sistema de indicadores.

2.3.3.1. Formulación del problema

La primera fase para la construcción de un sistema de indicadores consiste en la identificación del objeto de medición en un estudio determinado. Los indicadores deben, en principio, proporcionar información concreta acerca de dicho objeto identificado. Por lo tanto, la información y su modo de recolección alrededor del indicador tienen que ser cuidadosamente escogidos. De esta manera, se pretende disminuir la incertidumbre que podría presentarse al momento de medir/estimar dicho indicador.

Para el presente estudio, se tiene como objeto de medición, el monitoreo y verificación de la evolución de los desarrollos urbanos sostenibles, ya que la planeación urbana y el desarrollo de las ciudades se consideran procesos dinámicos en permanente evolución. Para lograr esto, se consideran aspectos ecológicos, económicos, sociales y estéticos dentro de los procesos de planeación urbana y se proponen como ejes articuladores la maximización de la provisión de los servicios ecosistémicos y el manejo sostenible del agua.

2.3.3.2. Definición de las variables

Una vez definido qué se quiere medir, puede procederse a la elaboración del indicador, para lo cual se establecen las variables que lo conforman y la relación entre ellas para que produzcan la información que se necesita. Las variables, una vez identificadas, deben ser definidas con la mayor rigurosidad posible asignándole un sentido claro, para evitar que se originen ambigüedades y discusiones sobre sus resultados.

En el presente estudio, el manejo sostenible del agua y la maximización de la provisión de los servicios ecosistémicos en desarrollos urbanos ha sido considerado como estrategia integradora para la sostenibilidad ecológica, económica, social y cultural de las ciudades. Para lograr dicha integración, se ha considerado una cooperación interdisciplinaria para avanzar hacia la descarbonización de las economías y el desarrollo social con el uso de (1) fuentes limpias de energía y distribuidas; (2) esquemas de movilidad que reduzcan las externalidades negativas por contaminación, congestión y accidentalidad, al tiempo que ofrezcan un mejor servicio para la ciudadanía mediante la combinación de diferentes modos; (3) mejores diseños y materiales para la construcción y operación de las edificaciones; y (4) mejor gestión de los residuos y prácticas de reutilización.

2.3.3.3. Selección de indicadores y calidad de los datos

Un indicador debe ser de fácil comprensión e interpretación y, por lo tanto, existen unos criterios generales para la selección de los indicadores, que tienen en cuenta las características de los datos que se van a utilizar

como soporte, su relación con el problema de análisis y la utilidad para el usuario. Algunos de los criterios de selección de indicadores son:

- **Pertinencia:** el indicador debe expresar lo que se quiere medir de manera clara y precisa con el objetivo de describir concretamente la situación o fenómeno de estudio.
- **Funcionalidad:** el indicador debe ser monitoreable, medible y sensible a los cambios del mismo a lo largo del tiempo de análisis.
- **Disponibilidad:** el indicador debe ser construido a partir de variables sobre las cuales exista información estadística de tal manera que pueda ser estimado o evaluado cuando se requiera.
- **Confiabilidad:** los datos deben ser medidos siempre bajo ciertos estándares y la información requerida debe poseer atributos de calidad estadística.
- **Utilidad:** el indicador debe reflejar resultados que sean útiles para la toma de decisiones.

Por otro lado, los criterios estadísticos son fundamentales para obtener indicadores de calidad. Por lo tanto, criterios como la relevancia, credibilidad, accesibilidad y coherencia son algunos de los criterios de calidad estadística que se deben considerar para la selección de los indicadores, de acuerdo con lo propuesto por la OECD y presentado en [23]. Finalmente, un indicador debe responder a una necesidad social real que haga necesaria su generación y su utilización. Dado lo anterior, los indicadores deben cumplir con requisitos mínimos para su entendimiento e interpretación por parte de los tomadores de decisiones o usuarios finales. A continuación, se describen algunos de estos criterios:

- **Aplicabilidad:** el indicador debe responder a una necesidad real que haga necesaria su selección y utilización.
- **No redundancia:** el indicador no debe ser redundante respecto a la información que suministren otros indicadores. En el caso que existan indicadores con una correlación alta se debe analizar la posibilidad de eliminar alguno de ellos o combinarlos para obtener un único indicador.
- **Interpretabilidad:** el indicador debe ser de fácil entendimiento para especialistas en el tema como también para usuarios finales no especialistas.
- **Comparabilidad:** el indicador debe ser comparable en el tiempo y su evolución está determinada por los cambios que se presenten en la información que lo sustenta.
- **Oportunidad:** el indicador debe ser medible una vez se cuente con los datos que permiten su estimación.

Es importante tener en cuenta que un sistema de indicadores se concibe como una herramienta de actualización permanente, que dará como resultado un proceso continuo de evaluación de escenarios. Por lo tanto, la correcta selección de los indicadores está relacionada con los usos específicos que estos tendrán en la unidad de análisis, es decir en los desarrollos urbanos para este caso particular.

En el presente estudio, cada uno de los sectores definidos como dimensiones de seguimiento y evaluación, han desarrollado un modelado individual de sus interacciones, tratando de identificar sus entradas, salidas y posibles comportamientos dinámicos. El propósito de dichos modelos es explicar o predecir el comportamiento simulado de cada uno de los sectores, y de esta manera poder generar diferentes escenarios donde se logre evaluar mediante un sistema de indicadores, posibles mejoras para los desarrollos urbanos

construidos o poder proponer diferentes escenarios para una ciudad con desarrollos sostenibles significativos. Dichos modelos serán explicados en detalle en el siguiente capítulo del presente informe.

Finalmente, es importante que una vez definidos los indicadores a utilizar como herramienta de evaluación se construya una ficha técnica de cada uno de ellos como elemento metodológico de resumen. Dicha ficha debe consolidar la información más relevante y a su vez ser de utilidad para los tomadores de decisiones y usuarios finales. Las fichas de indicadores, para este estudio en particular, son presentadas en el Anexo 2 y los elementos que conforman dicha ficha técnica se describen a continuación:

- Nombre del indicador: es la expresión precisa y concreta que identifica el indicador.
- Categorización: indica la ubicación del indicador dentro de la clasificación realizada en este proyecto, es decir, sector y subsector en los cuales se abordan los casos de estudio.
- Descripción: corresponde a la explicación detallada del indicador.
- Objetivo: propósito que se persigue con su medición/estimación, es decir, describe la finalidad del indicador.
- Tipo de indicador: corresponde a la clasificación del indicador según su tipología.
- Unidad de medida: es la unidad en la que se mide el indicador, por ejemplo, porcentaje, distancia, tiempo, km/año, etc.
- Estándares o valores de referencia: corresponden a los puntos de referencia (benchmark) utilizados para la comparación de los resultados obtenidos de la medición/estimación de los indicadores.
- Frecuencia de reporte: periodicidad con la que se hace la medición/estimación del indicador.
- Ámbito de aplicación: corresponde a la población y/o área que hace parte de la evaluación del indicador, es decir la unidad de análisis.
- Método de medición/estimación: corresponde a la explicación técnica sobre el proceso para la obtención de la medición/estimación del indicador.
- Formulación: expresión matemática mediante la cual se calcula el indicador. La fórmula se debe presentar con siglas claras y que den cuenta del nombre de cada variable.
- Fuentes de información: señala la bibliografía de referencia utilizada para la elaboración de los conceptos y demás aspectos relevantes del indicador.
- Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras: incluye reflexiones y recomendaciones que se consideren pertinentes para la conceptualización, comprensión del indicador y consideraciones futuras.

Por lo general, los sistemas de indicadores se diseñan para un uso específico, lo cual requiere de un conocimiento experto para ser seleccionados adecuadamente. Por lo tanto, saber seleccionar los enfoques y/o estándares, y los correspondientes indicadores, son aspectos importantes que deben ser considerados por parte de los diseñadores. Debido a que existen varios marcos conceptuales y estándares para el seguimiento y evaluación de proyectos urbanísticos, en la siguiente sección del documento, se discuten algunos de dichos marcos conceptuales y estándares disponibles en la literatura especializada.

2.4. Marcos conceptuales y estándares de sistemas de indicadores

En el contexto de planeación, seguimiento y evaluación de proyectos urbanísticos y ciudades, se han considerado diferentes aproximaciones con respecto a los principios o ejes articuladores que deberían guiar la manera de diseñar dichos proyectos y ciudades. Una de las primeras aproximaciones corresponde al enfoque de sostenibilidad ambiental, el cual se ha venido trabajando desde los años 80's. Bajo este enfoque se han diseñado e implementado un número de indicadores ambientales, que pueden dar cuenta de los fenómenos complejos desde un sector productivo. Como ejemplos de dichos indicadores ambientales se tienen la cobertura boscosa del territorio, la calidad del aire de una ciudad, indicadores de contaminación de agua, indicadores de deforestación y cambio de uso de suelo, entre otros [24]. Sin embargo, este tipo de indicadores no explica la relación con las dinámicas socioeconómicas complejas de las ciudades.

Por otro lado, se han considerado enfoques basados en el concepto del desarrollo sostenible con sus dimensiones: social, ambiental, económica e institucional. Sin embargo y aunque este enfoque tiene la historia más larga y la aceptación más amplia, en los últimos años, ha sido criticado por estar parcialmente desactualizado ya que las necesidades de la sociedad digitalizada han cambiado. Dado lo anterior, el concepto de ciudades inteligentes y sostenibles ha venido evolucionado durante la última década, como concepto a ser considerado en los desarrollos urbanos. Esencialmente, este concepto combina la sostenibilidad urbana e inteligencia, enfatizando que ambos aspectos se deben considerar simultáneamente. Su aparición puede responder a las críticas realizadas a soluciones de ciudades inteligentes que son contradictorias con la sostenibilidad, y como un intento de abordar las necesidades de las ciudades digitalizadas de manera más integral que el concepto tradicional de sostenibilidad [3].

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [25], una ciudad inteligente y sostenible es una ciudad innovadora que utiliza las tecnologías de la información y la comunicaciones (TIC) y otros medios para mejorar la calidad de vida, la eficiencia de la operación y los servicios urbanos y la competitividad, a la vez puede garantizar que cumplen con las necesidades de las generaciones presentes y futuras con respecto a aspectos económicos, sociales, ambientales y culturales.

A pesar de la popularidad de estos conceptos en la literatura especializada, no hay una definición uniformemente acordada sobre su significado, lo que crea confusión entre los investigadores, los encargados de formular políticas públicas, los municipios y los ciudadanos, entre otros. Además, el concepto de ciudades inteligentes ha sido ampliamente criticado por la falta de atención a las necesidades reales de las ciudades y su contribución cuestionable al desarrollo sostenible [3]. Por lo tanto y con el fin de abordar las críticas al concepto de ciudades inteligentes, se han venido promoviendo acciones para lograr el desarrollo de ciudades digitalizadas con menor huella de carbono y mayor resiliencia, y que, a su vez, protejan los recursos naturales y se preocupen por el bienestar de la sociedad.

En la literatura especializada se encuentran reportados diferentes enfoques y estándares de agrupación de indicadores para los desarrollos urbanos, los cuales son una guía fundamental al momento de seleccionar o diseñar un sistema de indicadores adecuado. Dicho sistema de indicadores como herramienta para el seguimiento y evaluación de las ciudades o proyectos urbanísticos puede ser diseñado bajo el marco conceptual o enfoque más adecuado según los objetivos planteados en cada caso de estudio en particular. Por ejemplo, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) buscando brindar un apoyo a las ciudades de América Latina y el Caribe (ALC) en los procesos de gestión frente a los desafíos de urbanización y manejo de la problemática de sostenibilidad en la región, generó una iniciativa para ciudades emergentes y sostenibles (ICES) [24]. Esta iniciativa apoya a las ciudades en la identificación de intervenciones prioritarias en tres dimensiones de la sostenibilidad: ambiental y cambio climático, desarrollo urbano, y fiscal y gobernabilidad. La dimensión ambiental incluye temas como la calidad del aire y el agua, la mitigación de las emisiones de GEI, la adaptación al cambio climático, la reducción de la vulnerabilidad a las amenazas naturales y la cobertura de los servicios públicos. La dimensión del desarrollo urbano

considera los aspectos físicos, económicos y sociales. La dimensión fiscal y gobernabilidad aborda las características de una buena gobernabilidad, entre ellas la transparencia, participación y gestión pública moderna. Al mismo tiempo, examina la situación fiscal de las ciudades, su capacidad y autonomía financiera y la gestión del gasto [21]. Esta esta iniciativa ha tenido mejoras y actualizaciones continuas, y actualmente, cuenta con una batería de 127 indicadores, los cuales están agrupados en 30 temas relacionados con las tres dimensiones de la sostenibilidad descritas anteriormente. Adicionalmente, en dicha iniciativa se presentan los valores de referencia (benchmarks) a utilizar en el ejercicio de evaluación de las ciudades, con el objetivo de ubicar los indicadores de acuerdo con el valor obtenido en la evaluación en tres rangos a saber: (1) verde, si la gestión es adecuada o buena; (2) amarillo, si la gestión presenta dificultades en algunos servicios; y (3) rojo, si la gestión es deficiente y necesita atención.

En general, el seguimiento y evaluación de proyectos urbanísticos y de ciudades ha sido planteado considerando diferentes marcos conceptuales de sistemas de indicadores, los cuales pueden consistir en estructuras temáticas que agrupan a los indicadores de acuerdo con temas de interés y que pueden corresponder a diferentes categorías o dimensiones [26]. La estructura temática que se defina, a su vez pueden tener subdivisiones o subtemas los cuales son abordados con mayor grado de detalle por los indicadores que corresponden a dichas subdivisiones [20].

Un ejemplo de lo descrito en el párrafo anterior es presentado en el trabajo de [16]. En dicho estudio proponen un sistema de indicadores estructurado y articulado considerando tres categorías que corresponden a los aspectos físico, espacial y funcional, socio económico y cultural, y ambiental. Dichas categorías se desagregan en ámbitos y sub-ámbitos en los cuales se agrupan los 39 indicadores de sustentabilidad obtenidos como resultado del proceso de investigación, tal como se presenta en la Tabla 1. En este estudio, los indicadores identificados buscan medir aspectos fundamentales de la sostenibilidad urbana y que, a su vez, pueden tener mayor incidencia en los niveles de calidad de vida. Asimismo, estos indicadores tienen la facultad de traducirse fácilmente en objetivos de desempeño, lo cual favorece los ejercicios de seguimiento y monitoreo. Cabe resaltar que, basados en esta filosofía de agrupación de indicadores, en los diferentes enfoques propuestos se pueden incluir más niveles de profundidad en la matriz definida, acorde con el nivel de detalle requerido para la evaluación de cada caso de estudio en particular.

Tabla 1. Sistema de indicadores propuesto en [16]

Categoría	Ámbito	Sub-ámbito	Número de indicadores
Físico, espacial y funcional	Ocupación de suelo	Intensidad de uso	4
	Espacio público y habitabilidad	Bienes culturales tangibles	2
		Viarío urbano	6
Socio económico y cultural	Accesibilidad e integración social	Cohesión social	6
		Educación	3
	Complejidad urbana	Equilibrio de actividades	4
	Movilidad y servicios	Desplazamiento de la población	4
Ambiental	Riesgos ambientales	Vulnerabilidad urbana a los fenómenos ambientales	3
	Verde urbano	Espacios verdes y arbolado urbano	4
	Metabolismo urbano	Generación y manejo de energía, agua y residuos	3
Total indicadores			39

Es así como se evidencia que el uso de un marco conceptual específico dependerá de los objetivos o necesidades planteados para cada caso de estudio y de la disponibilidad de información y los preconceptos asumidos por los analistas [20]. Tal como lo detallan ampliamente en los trabajos de [24] y [26], un marco de referencia que ha sido utilizado frecuentemente en diferentes estudios, es el correspondiente al Modelo de Presión, Estado, Respuesta (PSR). Este marco de referencia presenta diferentes variaciones que

incorporan elementos adicionales tales como el Modelo de Presión, Estado, Impacto, Respuesta (PSIR); el Modelo de Fuerzas Rectoras, Estado, Respuesta (DSR); el Modelo de Fuerzas Rectoras, Presión, Estado, Impacto, Respuesta (DPSIR); o el Modelo de Fuerzas Rectoras, Presión, Estado, Exposición, Efecto y Acciones (DPSEEA). Este marco ha sido aplicado en los diseños de indicadores de la Comisión de Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE [20].

Adicionalmente, existen en la literatura especializada otros enfoques o marcos conceptuales que pueden ayudar a la selección de indicadores. Por ejemplo, en el marco de la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS) se generó una propuesta de indicadores que ha sido revisada desde su creación en 1995, a partir de la retroalimentación proveniente de los países que han aprobado su construcción. Este marco de indicadores incluye temas tales como: pobreza, gobernabilidad, salud, educación, demografía, riesgos naturales, atmósfera, océanos, costas y mares, suelos, agua dulce, biodiversidad, desarrollo económico, asociaciones económicas globales y patrones de consumo y de producción. Estos temas a su vez están divididos en subtemas, los cuales tienen asociados indicadores centrales y secundarios [27].

Otro marco conceptual de sistema de indicadores es el denominado Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), el cual surgió como una iniciativa a escala mundial con el propósito de lograr un desarrollo incluyente, humano y sostenible. Esto se logró a partir de una serie de objetivos que pudieran dar cuenta de los principales problemas del desarrollo [24]. Los objetivos propuestos en esta iniciativa son: reducción de la pobreza y el hambre, reducción de la mortalidad infantil, mejorar la salud materna, controlar y gestionar las epidemias, garantizar acceso y equidad en la educación, promover la igualdad de género y empoderamiento de la mujer, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar una alianza mundial para el desarrollo. Es así, como la iniciativa está compuesta por 8 objetivos, 18 metas y 60 indicadores. Las metas son cuantitativas y temporales, las cuales permiten medir los progresos hacia el logro de los objetivos planteados.

En general, las diferentes iniciativas de agrupación de indicadores se constituyen en un sistema de señales que puede orientar respecto del avance en la consecución de objetivos y metas definidos. Por lo tanto, los diferentes enfoques están basados en el principio de establecer un esquema jerárquico, donde se establecen unos objetivos o temas y estos a su vez están relacionados con las dimensiones o categorías definidas que permiten evaluar de manera detallada cada uno de los objetivos o metas propuestos. Es así como, por ejemplo, la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) ha fomentado el desarrollo de indicadores para la región con el fin de evaluar el desarrollo sostenible. Lo anterior se propone utilizando un enfoque que incluye 5 temas (objetivos), 9 subtemas y 50 indicadores. Por otro lado, la división de desarrollo sostenible y asentamientos humanos de la comisión económica para América Latina y el Caribe a liderado un proyecto de evaluación de la sostenibilidad en la región. El sistema de indicadores propuesto en dicho proyecto incluye 19 áreas (objetivos) y 60 indicadores, los cuales proveen información relativa a la eficiencia económica y demográfica del sistema, así como una evaluación del desempeño, la sostenibilidad y evolución de los flujos físicos y de información, considerando cuatro subsistemas: el social, el económico, el institucional, y el ambiental. Otro ejemplo a saber es la iniciativa latinoamericana y caribeña para el desarrollo sostenible, la cual fue planteada como un apoyo en la generación de indicadores ambientales. Dicha iniciativa incluye 6 temas (objetivos), que a su vez se dividen en 25 subtemas llamados en esta iniciativa como “meta orientadora” y 41 indicadores agrupados en las diferentes metas orientadoras definidas.

Finalmente, cabe resaltar que organismos internacionales de normalización han propuesto diferentes estándares de indicadores para ciudades, los cuales son relevantes para la evaluación de ciudades inteligentes sostenibles basados en sistemas de indicadores [3]. A continuación, se describen algunos de dichos estándares:

- El estándar para el desarrollo sostenible de las comunidades: indicadores para servicios de la ciudad y calidad de vida, ISO 37120:2018 [1], incluye 104 indicadores y, por otro lado, el estándar para el desarrollo sostenible en comunidades: indicadores para ciudades inteligentes, ISO/DIS 37122:2018 [17], incluye 85 indicadores. Estos dos estándares agrupan los correspondientes indicadores en las siguientes categorías o dimensiones: economía, educación, energía, medio ambiente y cambio climático, finanzas, gobernanza, salud, vivienda, condiciones sociales, recreación, seguridad, desechos sólidos, deporte y cultura, telecomunicaciones, transporte, agricultura urbana y seguridad alimentaria, planificación urbana, aguas residuales y agua.
- El estándar de desempeño de indicadores para ciudades con multiservicios digitales sostenibles, ETSI TS 103 463 [28], incluye 76 indicadores agrupados en las dimensiones: personas, planeta, prosperidad y gobernanza.
- El estándar de desempeño de indicadores relacionados con el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones en ciudades inteligentes y sostenibles, ITU-T Y.4901/L.1601 [29], incluye 48 indicadores agrupados en las dimensiones: TIC, sostenibilidad ambiental, productividad, calidad de vida, equidad e inclusión social e infraestructura física
- El estándar de desempeño de indicadores relacionado con los impactos en la sostenibilidad de las tecnologías de la información y las comunicaciones en ciudades inteligentes sostenibles, ITU-T Y.4902/L.1602 [30], incluye 30 indicadores agrupados en las dimensiones: sostenibilidad ambiental, productividad, calidad de vida, equidad e inclusión social e infraestructura física.
- El estándar de desempeño de indicadores para ciudades inteligentes sostenibles para evaluar el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, ITU-T Y.4903/L.1603 [31], incluye 52 indicadores agrupados en las dimensiones: economía, medio ambiente, sociedad y cultura.

Tal como se puede observar de los diferentes enfoques, marcos conceptuales y estándares reportados en la literatura especializada, es importante establecer un sistema de indicadores adecuado que permita evaluar el desempeño de los proyectos urbanísticos y ciudades, con el fin de obtener una descripción concreta de la situación actual de los casos de estudio y así determinar los temas, dimensiones, categorías o sectores e indicadores que requieren una atención prioritaria para la consecución de los objetivos propuestos. Como conclusión se puede decir que es fundamental definir adecuadamente el sistema de indicadores en función de los objetivos propuestos.

Es así, como la Universidad de los Andes ha elaborado un marco conceptual enmarcado en el concepto de sostenibilidad y resiliencia. El esquema propuesto ha considerado el diseño urbano con un enfoque de maximización de la provisión de los servicios ecosistémicos y el manejo sostenible del agua, con el fin de desarrollar estrategias integradoras para la sostenibilidad ecológica, económica, social y cultural de las ciudades. Adicionalmente, el esquema propone la cooperación interdisciplinaria entre sectores tales como: el suministro y uso de la energía, la gestión de los residuos, la movilidad sostenible y las edificaciones e infraestructura urbana. A continuación, se presentan algunos de los enfoques considerados para la agrupación de indicadores en el desarrollo del presente proyecto.

2.5. Propuesta de agrupación de indicadores

Tal como se mencionó en la sección anterior del presente documento, la definición de las categorías o dimensiones dependerá de los objetivos que cada tomador de decisiones considere pertinente para la evaluación de los proyectos urbanísticos o ciudades. Una vez definidas las categorías o dimensiones, el siguiente paso consiste en asociar los indicadores que tengan una correlación con dichas categorías

definidas, y así poder brindar una evaluación detallada de cada una de ellas y, además, de dar cuenta de la evolución de los objetivos propuestos.

Debido a que los tomadores de decisiones pueden requerir diferentes definiciones de categorías o dimensiones para la agrupación de los indicadores, en este proyecto, se presentan varios enfoques para la agrupación de los indicadores que pueden permitir el seguimiento y evaluación del desempeño global de los proyectos urbanísticos propuestos en este estudio. Un primer enfoque propuesto para la agrupación de indicadores es el basado en el marco de sostenibilidad urbana [7], [8]. En este enfoque, las categorías o dimensiones fueron asociadas bajo el concepto de oferta, demanda e impacto, tal como se presenta en la Figura 1.

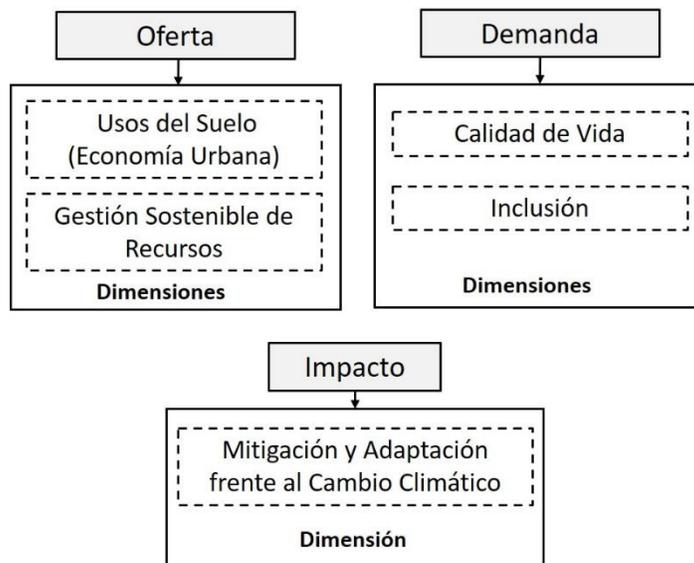


Figura 1. Esquema de agrupación de categorías bajo en enfoque de Oferta, Demanda e Impacto

Es así como teniendo en cuenta esta premisa se definieron 5 categorías o dimensiones: Usos del suelo (Economía Urbana), Gestión Sostenible de Recursos, Inclusión, Calidad de Vida y Mitigación y Adaptación frente al Cambio Climático. En la Tabla 2 se presenta la matriz jerárquica de agrupación de los indicadores bajo este enfoque. A cada una de estas dimensiones establecidas se le asociaron una serie de indicadores definidos por los ejes de investigación del proyecto, es decir los sectores manejo integrado del agua, ecología urbana, suministro y uso de energía, manejo integrado de residuos, movilidad sostenible y edificaciones e infraestructura urbana. Este procedimiento se realizó basado en la experiencia de los expertos de cada uno de los sectores, de tal manera que los indicadores aporten información relevante para la evaluación de las dimensiones o categorías, y del proyecto en estudio en general. Como se puede observar de la Tabla 2, un total de 57 indicadores fueron definidos y distribuidos de la siguiente manera: (1) usos del suelo: 2 indicadores; (2) gestión sostenible de recursos: 18 indicadores; (3) inclusión: 10 indicadores; (4) calidad de vida: 15 indicadores; y (5) mitigación y adaptación frente al cambio climático: 12 indicadores.

Tabla 2. Sistema de indicadores de evaluación bajo en enfoque de sostenibilidad urbana

Objetivo	Categoría (dimensión)	Indicadores
Desempeño Global de la Microciudad	Usos del Suelo (Economía Urbana)	Infraestructura para modos no motorizados
		Espacios ambientales
	Gestión Sostenible de Recursos	Generación de RCD en obra
		Porcentaje de RCD reutilizados o reciclados
		Consumo de agua durante el proceso constructivo
		Agua residual tratada al nivel de calidad requerido
		Agua aprovechada y reutilizada a nivel residencial
		Conciencia pública

		Generación de energía eléctrica a través de recursos de energía distribuidos renovables
		Generación de energía térmica a través de recursos de energía distribuidos renovables
		Autosuficiencia de energía eléctrica a través de recursos de energía distribuidos renovables
		Autosuficiencia de energía térmica a través de recursos de energía distribuidos renovables
		Porcentaje de residuos dispuestos adecuadamente
		Porcentaje de residuos aprovechados
		Generación de residuos per cápita
		Desperdicio evitable de alimentos per cápita
		Porcentaje de compras sostenibles en entidades públicas
		Participación del transporte público (colectivo y masivo) y modos no motorizados en los viajes totales
		Área verde por habitante
		Demanda de espacios ambientales
	Inclusión	Accesibilidad a edificaciones de servicio
		Cobertura de recolección diferenciada de residuos sólidos
		Asequibilidad al transporte
		Accesibilidad al transporte público
		Accesibilidad a equipamientos
		Número de viajes realizados por pasajero en un día
		Tiempo de viaje en viajes obligatorios
		Asequibilidad de energía
		Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado
		Accesibilidad (peatonal a espacios verdes)
	Calidad de Vida	Percepción sobre la calidad del servicio de transporte
		Calidad del entorno
		Emisiones de material particulado fino normalizadas por el número de viajes
		Exposición personal en modos de transporte
		Seguridad (Accidentalidad)
		Consumo promedio diario de agua potable por habitante
		Cumplimiento de la calidad requerida de agua
		Promedio de interrupciones en el servicio de electricidad
		Duración promedio de interrupciones en el servicio de electricidad
		Consumo de energía eléctrica
		Consumo de energía térmica
		Consumo de electricidad durante la operación de las edificaciones
		Consumo de gas natural durante la operación de las edificaciones
		Confort térmico al interior de las unidades residenciales
	Mitigación y Adaptación frente al Cambio Climático	Huella de carbono proveniente de la utilización de materiales en la construcción de edificaciones
		Huella de carbono proveniente de los procesos constructivos empleados en las edificaciones
		Emisiones de dióxido de carbono equivalente, normalizadas por el número de viajes
		Emisiones de CO _{2eq} por transporte de pasajeros
Resiliencia, adaptación y gestión del riesgo		
Emisiones de CO _{2eq} por gestión de residuos		
Emisiones de CO _{2eq} por gestión del agua		
Escorrentía descargada		
Emisiones de CO _{2eq} por consumo de energía		
Índice de naturalidad		
Captura y almacenamiento de carbono		

Posteriormente, se propuso un enfoque de agrupación considerando los objetivos que la secretaría de planeación de Bogotá estableció como eje transversal para el desarrollo de la ciudad. Bajo este enfoque se definieron tres objetivos: (1) Ciudad Cuidadora, (2) Ciudad Incluyente y (3) Ciudad Sostenible. Con estos objetivos, se procedió a establecer las categorías o dimensiones que dieran cuenta de la evaluación de cada uno de los objetivos planteados. De esta manera se establecieron 7 categorías asociadas al objetivo Ciudad Cuidadora. De manera similar, se establecieron 2 categorías para el objetivo Ciudad Incluyente y 3 categorías para el objetivo Ciudad Sostenible, tal como se presenta en la Tabla 3. Cabe resaltar, que tanto el número de objetivos, como el número de categorías asociadas a cada objetivo puede variar en función de los tomadores de decisiones o analistas de los proyectos urbanísticos o ciudades. Al igual que en la propuesta anterior, a cada categoría se le asociaron unos indicadores que aportan en el proceso de seguimiento y evaluación de cada uno de los casos de estudio en particular, tal como se presenta en la Tabla 3. Los indicadores presentados bajo este enfoque reflejan una aproximación para la evaluación de cada una de las categorías establecidas, sin embargo, cabe aclarar que estos pueden ser modificados/adaptados acordes con las necesidades y objetivos de cada tomador de decisiones.

Tabla 3. Sistema de indicadores bajo en enfoque de los objetivos propuestos por la Secretaría de Planeación de Bogotá

Objetivo	Categoría (dimensión)	Indicadores
Ciudad Cuidadora	Participación Ciudadana	Conciencia pública
		Distribución de género en cargos públicos a nivel ciudad
		Participación electoral en las últimas elecciones (como porcentaje de votantes registrados)
	Oportunidades económicas, culturales y recreativas	Tasa de desempleo en la ciudad
		Metros cuadrados de espacio público recreativo cubierto per cápita
		Metros cuadrados de espacio público recreativo al aire libre per cápita
		Número de instituciones culturales e instalaciones deportivas por cada 1000 habitantes.
		Número anual de eventos culturales por cada 1000 habitantes (por ejemplo, exposiciones, festivales, conciertos)
	Fuerza de trabajo para la gestión descentralizada	Nivel de cumplimiento de los derechos laborales
	Salud	Espacios ambientales
		Emisiones de material particulado fino normalizadas por el número de viajes
		Exposición personal en modos de transporte
	Educación	Porcentaje de población en edad escolar matriculada
		Tasa de deserción de estudiantes
		Relación número de estudiantes/profesores en escuelas y colegios
		Porcentaje de la población de la ciudad con acceso a Internet
	Cultura y Recreación	Cantidad de computadoras, tabletas u otros dispositivos de aprendizaje digital disponibles por cada 1000 estudiantes de primaria y secundaria
		Uso de espacios ambientales
	Calidad del Servicio	Promedio de interrupciones en el servicio de electricidad
Duración promedio de interrupciones en el servicio de electricidad		
Percepción sobre la Calidad del servicio de transporte		
Tiempo de viaje en viajes obligatorios		
Calidad del entorno		
Ciudad Incluyente	Accesibilidad	Accesibilidad (peatonal a espacios verdes)
		Acceso a agua potable
		Acceso a energía
		Acceso al servicio de recolección
		Acceso al transporte público
		Accesibilidad a equipamientos
Infraestructura para modos no motorizados		

	Asequibilidad	Acceso a edificaciones de servicio
		Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado
		Asequibilidad de energía
		Asequibilidad al servicio de recolección de residuos
		Asequibilidad al transporte
Ciudad Sostenible	Económica	Agua aprovechada y reutilizada a nivel residencial
		Autosuficiencia de energía térmica a través de recursos de energía distribuidos renovables
		Porcentaje de compras sostenibles en entidades públicas
		Porcentaje de residuos aprovechados
		Uso de residuos de construcción y demolición en obra
	Social	Área verde por habitante
		Cumplimiento de la calidad requerida de agua
		Generación de residuos per cápita
		Seguridad (Accidentalidad)
		Número de viajes realizados por pasajero en un día
		Confort térmico al interior de las unidades residenciales
	Ambiental	Mitigación de islas de calor
		Captura y almacenamiento de carbono
		Índice de Naturalidad
		Agua residual tratada al nivel de calidad requerido
		Escorrentía descargada
		Emissiones de CO _{2eq} por gestión del agua
		Emissiones de CO _{2eq} por consumo de energía
		Generación de energía renovable distribuida
		Cobertura de recolección diferenciada de residuos sólidos
		Emissiones de CO _{2eq} por gestión de residuos
		Desperdicio de alimentos
		Porcentaje de residuos dispuestos adecuadamente
		Participación del transporte público y modos no motorizados en los viajes totales
		Emissiones de CO _{2eq} por el número de viajes
		Emissiones de CO _{2eq} por transporte de pasajeros
		Resiliencia, adaptación y gestión del riesgo
		Emissiones de CO _{2eq} de materiales y procesos constructivos
		Consumo de agua durante el proceso constructivo
Generación de residuos de construcción y demolición en obra		

Tal como se presentó en el capítulo 1 de este informe, y como evolución de los enfoques descritos anteriormente, para el proceso de planeación urbana del presente estudio se consideró que el diseño del sistema de indicadores se desarrollara a partir de los siguientes objetivos: (1) el buen uso del suelo; (2) la maximización de servicios ecosistémicos; (3) la gestión eficiente y sostenible de recursos y residuos; (4) la oferta de bienes públicos para el bienestar y (5) los entornos construidos y la movilidad sostenible. Para lograr estos objetivos se consideró la ecología urbana y el manejo integrado del agua como ejes de soporte del enfoque propuesto para que a partir de allí se integren los demás sectores considerados en esta investigación: suministro y uso eficiente de energía, gestión de residuos, movilidad sostenible y construcción e infraestructura sostenible. A continuación, se presenta el sistema de indicadores propuesto bajo este enfoque denominado “ciudad sensible” y con el cual se presentan los resultados de evaluación de los casos de estudio propuestos.

2.5.1. Sistema de indicadores bajo el enfoque de ciudad sensible

Tal como se ha explicado anteriormente, para el análisis y evaluación de los casos de estudio del presente proyecto de investigación, se han considerado seis ámbitos sectoriales, a saber: ecología urbana, manejo integrado del agua, suministro y uso de energía, manejo integrado de residuos, movilidad sostenible y edificaciones e infraestructura urbana. Por lo tanto, los expertos de cada sector propusieron unos

indicadores de interés para el proceso de seguimiento y evaluación de proyectos urbanísticos y ciudades. En la Tabla 4 se presenta la batería de indicadores con un total de 80 indicadores propuestos y su respectiva agrupación considerando los seis ámbitos sectoriales establecidos en el presente estudio.

Tabla 4. Sistema de indicadores de evaluación: agrupación por categorías

Objetivo	Categoría (dimensión)	Indicadores
Desempeño Global de la Microciudad	Ecología Urbana	Área de espacio público total / habitante
		Área verde pública por habitante
		Área verde protegida (EEP)
		Área espacios públicos infraestructura verde por habitante
		Área espacios verdes privados
		Accesibilidad (Social)
		Conectividad ecológica
		Índice de naturalidad
		Captura y almacenamiento de carbono
		Regulación Clima (Local)
	Manejo Integrado del Agua	Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado
		Cumplimiento de la calidad requerida de agua
		Cobertura del servicio de alcantarillado sanitario
		Cobertura del servicio de alcantarillado pluvial
		Confiabilidad del sistema de drenaje
		Razón entre el porcentaje de escorrentía descargada antes y después de la urbanización
		Agua residual tratada al nivel de calidad requerido
		Índice de calidad en el cuerpo de agua receptor
		Consumo promedio diario de agua potable por habitante
		Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento
		Agua aprovechada y reutilizada a nivel residencial
		Emisiones de CO _{2eq} por gestión del agua
		Conciencia pública
	Uso multifuncional de la infraestructura verde para el manejo del agua pluvial	
	Energía	Accesibilidad al servicio de electricidad
		Accesibilidad al servicio de gas natural
		Asequibilidad al servicio de electricidad
		Asequibilidad al servicio de gas natural
		Emisiones de CO _{2eq} por consumo de energía
		Frecuencia promedio de interrupciones en el servicio de electricidad
		Duración promedio de interrupciones en el servicio de electricidad
		Accesibilidad a medición inteligente
		Grado de adopción de medición inteligente por parte de usuarios
		Políticas locales orientadas a programas de eficiencia energética y gestión de la demanda
		Autosuficiencia de energía eléctrica a través de recursos de energía distribuidos
		Autosuficiencia de energía térmica a través de recursos de energía distribuidos
		Porcentaje de sistemas de gestión de energía inteligente en prosumidores
		Interconectividad de sistemas de energía
	Interoperabilidad	
	Manejo integral de residuos	Asequibilidad del servicio de aseo
Asequibilidad del servicio de aseo		
Cobertura de recolección domiciliar de residuos sólidos		
Porcentaje de residuos dispuestos adecuadamente		
Cobertura de recolección diferenciada de residuos sólidos		
Porcentaje de residuos domiciliarios aprovechados		

		Porcentaje de RCD generados en la construcción que son aprovechados
		Generación de residuos domiciliarios per cápita
		Compras sostenibles en entidades públicas
		Desperdicio evitable de alimentos per cápita
	Movilidad sostenible	Accesibilidad a equipamientos (salud)
		Accesibilidad a equipamientos (colegios)
		Accesibilidad a equipamientos (universidades)
		Autocontención
		Tasa de movilidad
		Accesibilidad al transporte público local (oferta)
		Accesibilidad al transporte (demanda)
		Accesibilidad al transporte público masivo (oferta)
		Asequibilidad al transporte
		Participación del transporte público en los viajes totales
		Nivel de emisiones de material particulado fino por viaje
		Tiempo de viaje en viajes obligatorios
		Calidad del transporte público
		Calidad del entorno urbano
		Infraestructura para uso de bicicleta
		Participación de modos no motorizados en los viajes totales
		Exposición personal a material particulado fino en transporte
		Nivel de emisiones de dióxido de carbono equivalente por viaje
		Edificaciones e Infraestructura Urbana
	Confort térmico habitacional	
	Accesibilidad a edificaciones de servicio (educación)	
	Accesibilidad a edificaciones de servicio (salud)	
	Accesibilidad a edificaciones de servicio (seguridad)	
	Accesibilidad a edificaciones de servicio (centros comerciales)	
	Cobertura de servicios educativos	
	Consumo de electricidad en operación edificios residenciales	
	Consumo de gas natural en operación edificios residenciales	
	Carbono incorporado de las edificaciones residenciales	
	Carbono incorporado de la infraestructura urbana	
Residuos generados durante la construcción de las edificaciones residenciales		
Porcentaje de RAP utilizado en los pavimentos		

Cada ámbito sectorial definido en el presente estudio (ver Tabla 4) estableció unas etapas o fases que dan cuenta del diseño de un desarrollo urbano o ciudad en diferentes momentos del tiempo considerando la sostenibilidad y la resiliencia, tal como se describió en detalle en el capítulo anterior de este informe. Para este estudio en particular, el sector de ecología urbana considera indicadores que permiten evidenciar que, con una mejora de los mismos, se avanza de una ciudad con espacio público a una ciudad social y ecológicamente funcional y resiliente. Es así como, bajo este enfoque, este sector definió 6 etapas con un total de 10 indicadores, tal como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Sistema de indicadores bajo el enfoque de ciudad sensible a los ecosistemas

Objetivo	Etapas (categoría)	Indicadores
Ciudad sensible a los ecosistemas	Ciudad con espacio público	Área de espacio público total / habitante
	Ciudad con espacio público verde	Área verde pública por habitante
	Ciudad con estructura ecológica principal	Área verde protegida (EEP)
	Ciudad con estructura ecológica integral (áreas verdes diferenciadas y complementarias)	Área espacios públicos infraestructura verde por habitante
		Área espacios verdes privados
	Ciudad con funcionalidad social y ecológica	Accesibilidad (Social)
		Conectividad ecológica
		Índice de naturalidad
		Captura y almacenamiento de carbono

	Ciudad social y ecológicamente funcional y resiliente	Regulación Clima (Local)
--	---	--------------------------

Cabe resaltar que los indicadores evaluados en las etapas previas son de igual manera considerados en la siguiente etapa del enfoque propuesto de manera acumulativa. Por ejemplo, el indicador denominado “Área de espacio público / habitante” que corresponde a la primera etapa, llamada “Ciudad con espacio público” es también considerado para la evaluación de la segunda etapa del sector, llamada “Ciudad con espacio público verde”. De esta manera, la evaluación de la etapa final llamada “Ciudad social y ecológicamente segura y sostenible” considera, para este caso en particular los 9 indicadores definidos por el sector ecología urbana. Esta estrategia es aplicada para todos los sectores considerados en este estudio y los cuales se detallan a continuación.

El sector manejo integrado del agua estableció 6 etapas con total de 14 indicadores para el seguimiento y evaluación de la transición hacia un manejo sostenible del agua, tal como se presenta en la Tabla 6. La evaluación bajo este enfoque da cuenta de la evolución de una ciudad con suministro de agua, etapa en la cual se asegura un acceso adecuado y efectivo al servicio de provisión de agua potable, hacia una ciudad sensible al agua, etapa que involucra la construcción de infraestructura urbana adaptativa y multifuncional, y que además refuerza los comportamientos sensibles al agua como respuesta al cambio climático.

Tabla 6. Sistema de indicadores bajo el enfoque de ciudad sensible al agua

Objetivo	Etapas (categoría)	Indicadores
Ciudad sensible al agua	Ciudad con suministro de agua	Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado
		Cumplimiento de la calidad requerida de agua
	Ciudad con alcantarillado sanitario	Cobertura del servicio de alcantarillado sanitario
		Cobertura del servicio de alcantarillado pluvial
	Ciudad con drenaje pluvial	Confiabilidad del sistema de drenaje
		Ciudad con calidad de cuerpos de agua
	Agua residual tratada al nivel de calidad requerido	
	Índice de calidad en el cuerpo de agua receptor	
	Ciudad con ciclo de agua	Consumo promedio diario de agua potable por habitante
		Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento
		Agua aprovechada y reutilizada a nivel residencial
		Emisiones de CO ₂ eq por gestión del agua
	Ciudad sensible al agua	Conciencia pública
		Uso multifuncional de la infraestructura verde para el manejo del agua pluvial

El sector de suministro y uso de la energía está enfocado en la evaluación del acceso a los servicios públicos básicos de electricidad y gas natural con el cumplimiento de los estándares de calidad del servicio. De igual manera, bajo este enfoque se considera la incorporación de energías limpias como alternativa a la mitigación de emisiones, y que a su vez los sistemas de distribución de los servicios de energía se vuelvan más resilientes. Adicionalmente, se busca que el usuario final juegue un papel más activo en la cadena productiva del sector. Por lo tanto, para evaluar la evolución hacia una ciudad con suministro limpio, eficiente y confiable de energía, el sector ha definido 5 etapas con un total de 15 indicadores, tal como se presenta en la Tabla 7. Las etapas establecidas dan cuenta de la evolución de una ciudad con suministro de electricidad y gas por red hacia una ciudad con recursos energéticos distribuidos y distritos energéticos.

Tabla 7. Sistema de indicadores bajo el enfoque de ciudad sensible al suministro y uso de energía

Objetivo	Etapas (categoría)	Indicadores
		Accesibilidad al servicio de electricidad

Ciudad sensible al suministro y uso de energía	Ciudad con suministro de electricidad y gas por red	Accesibilidad al servicio de gas natural
		Asequibilidad al servicio de electricidad
		Asequibilidad al servicio de gas natural
		Emisiones de CO _{2eq} por consumo de energía
	Ciudad con suministro de energía confiable y de calidad	Frecuencia promedio de interrupciones en el servicio de electricidad
		Duración promedio de interrupciones en el servicio de electricidad
	Ciudad con demanda participativa (gestión de la demanda)	Accesibilidad a medición inteligente
		Grado de adopción de medición inteligente por parte de usuarios
		Políticas locales orientadas a programas de eficiencia energética y gestión de la demanda
	Ciudad con prosumidores y comunidades energéticas	Autosuficiencia de energía eléctrica a través de recursos de energía distribuidos
		Autosuficiencia de energía térmica a través de recursos de energía distribuidos
	Ciudad con DERs y distritos energéticos	Porcentaje de sistemas de gestión de energía inteligente en prosumidores
		Interconectividad de sistemas de energía
Interoperabilidad		

Por su parte el sector manejo integrado de residuos considera en el proceso de seguimiento y evaluación el garantizar la cobertura total de la recolección idónea de los residuos y así evitar la acumulación de los mismos, como un nivel mínimo de cumplimiento. Adicionalmente, este sector evalúa la evolución hacia una ciudad con una gestión integral de residuos, una correcta separación en la fuente y la recolección diferenciada de residuos y una ciudad que minimiza la generación de residuos, reutilizando los productos generados o extrayendo energía residual contenidos en ellos. Es así como, la evaluación de una ciudad sensible a la gestión integral de residuos se realiza considerando 4 etapas con un total de 10 indicadores, tal como se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Sistema de indicadores bajo el enfoque de ciudad sensible al manejo integrado de residuos

Objetivo	Etapas (categoría)	Indicadores
Ciudad sensible a la gestión integral de residuos	Ciudad con cobertura total de recolección de residuos	Asequibilidad del servicio de aseo
		Nivel de cumplimiento de los derechos laborales
		Cobertura de recolección domiciliaria de residuos sólidos
	Ciudad con disposición final adecuada	Porcentaje de residuos dispuestos adecuadamente
	Ciudad con correcta separación en la fuente y recolección diferenciada de residuos / Ciudad con reúso, aprovechamiento material y energético de sus residuos	Cobertura de recolección diferenciada de residuos sólidos
		Porcentaje de residuos domiciliarios aprovechados
		Porcentaje de RCD generados en la construcción que son aprovechados
	Ciudad que minimiza su generación de residuos y promueve el reúso o aprovechamiento desde el diseño de los productos	Generación de residuos domiciliarios per cápita
		Compras sostenibles en entidades públicas
		Desperdicio evitable de alimentos per cápita

La visión de planificación del sector de movilidad urbana sostenible 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. Este enfoque integral de la movilidad evalúa la evolución del acceso universal a los servicios que ofrece la ciudad hacia una ciudad con transporte consistente con mitigación y adaptación al cambio climático, tal como se presenta en la Tabla 9. Para lograr dicha evaluación, se definieron 5 etapas con un total de 18 indicadores (ver Tabla 9).

Tabla 9. Sistema de indicadores bajo el enfoque de ciudad sensible a la movilidad urbana sostenible

Objetivo	Etapa (categoría)	Indicadores
Ciudad con planificación de movilidad urbana sostenible	Acceso universal a los servicios que ofrece la ciudad	Accesibilidad a equipamientos (salud)
		Accesibilidad a equipamientos (colegios)
		Accesibilidad a equipamientos (universidades)
		Autocontención
		Tasa de movilidad
		Accesibilidad al transporte público local (oferta)
		Accesibilidad al transporte (demanda)
		Accesibilidad al transporte público masivo (oferta)
		Asequibilidad al transporte
	Participación del transporte público en los viajes totales	
	Planeación visión cero	Nivel de emisiones de material particulado fino por viaje
	Oferta de transporte de buena calidad	Tiempo de viaje en viajes obligatorios
		Calidad del transporte público
Calidad del entorno urbano		
Calidad de vida como prioridad	Infraestructura para uso de bicicleta	
	Participación de modos no motorizados en los viajes totales	
Transporte consistente con mitigación y adaptación al cambio climático	Exposición personal a material particulado fino en transporte	
	Nivel de emisiones de dióxido de carbono equivalente por viaje	

Finalmente, el seguimiento y evaluación del proceso de planeación de proyectos urbanísticos y de ciudades desde el sector de edificaciones e infraestructura urbana establece un proceso evolutivo que inicia con garantizar ciudades con viviendas seguras y, además, evaluando las garantías de integralidad de las construcciones. La finalidad desde este sector es evaluar la transición hacia ciudades con entornos construidos sostenibles, enfoque que considera la relación directa o indirecta con otros sectores tale como: energía, movilidad y residuos para establecer intervenciones y esfuerzos de manera simultánea. En la Tabla 10 se presentan las 5 etapas definidas con los 13 indicadores propuestos para el proceso de seguimiento y evaluación de los casos de estudio del presente proyecto.

Tabla 10. Sistema de indicadores bajo el enfoque hacia una ciudad con entornos construidos sostenibles

Objetivo	Etapa (categoría)	Indicadores
Ciudad con entornos construidos sostenibles	Ciudad con vivienda segura	Porcentaje de viviendas formales en el desarrollo
	Ciudad con vivienda saludable	Confort térmico habitacional
	Ciudad con acceso a infraestructura urbana	Accesibilidad a edificaciones de servicio (educación)
		Accesibilidad a edificaciones de servicio (salud)
		Accesibilidad a edificaciones de servicio (seguridad)
		Accesibilidad a edificaciones de servicio (centros comerciales)
		Cobertura de servicios educativos
	Ciudad con uso eficiente de la energía	Consumo de electricidad en operación edificios residenciales
		Consumo de gas natural en operación edificios residenciales
	Ciudad con uso consciente de los recursos naturales	Carbono incorporado de las edificaciones residenciales
		Carbono incorporado de la infraestructura urbana
		Residuos generados durante la construcción de las edificaciones residenciales
		Porcentaje de RAP utilizado en los pavimentos

En conclusión, y como se puede evidenciar del presente capítulo de este estudio, una vez el tomador de decisiones o diseñador del sistema de indicadores definan los objetivos que desean considerar en el proceso de seguimiento y evaluación de los proyectos urbanísticos y de ciudades, y en función de dichos objetivos, se definen las categorías o dimensiones de agrupación para los indicadores propuestos. Una característica fundamental en el diseño de sistemas de indicadores es la flexibilidad que se puede tener en la agrupación de los mismos y de esta manera, lograr definir un sistema jerárquico de indicadores, el cual puede estar basado en los estándares reportados en la literatura especializada o basado en los propios criterios adoptados para la evaluación.

Tal como se describió anteriormente, el diseño de un sistema de indicadores permite la flexibilidad de poder agrupar los indicadores con el nivel de detalle que se requiera, con la finalidad de brindar una evaluación más específica acorde con los objetivos planteados en cada caso de estudio. Lo anterior, quiere decir que, en caso de ser requerido, se puede incluir subdivisiones de las etapas, o incluir más objetivos a evaluar. A manera de ejemplo, en este estudio se consideró la inclusión de un objetivo general que tiene asociadas las categorías: económica, gobernanza, participación ciudadana, oportunidades culturales y recreativas, educación y salud. Lo anterior, con el fin de dar cuenta de una evaluación holística de los proyectos urbanísticos y ciudades y no sólo desde los seis ámbitos específicos definidos en este estudio: ecología urbana, manejo integrado del agua, suministro y uso de energía, manejo integrado de residuos, movilidad sostenible y edificaciones e infraestructura urbana. En la Tabla 11 se presentan las categorías y los indicadores asociados al objetivo general. Cabe resaltar, que estos indicadores (Tabla 11) se definieron realizando una búsqueda en los estándares y enfoques reportados en la literatura, sin embargo, está abierta la discusión con el objetivo de que estos puedan ser modificados y/o adaptados de acuerdo a las necesidades de evaluación en cada caso de estudio en particular.

Tabla 11. Categorías e indicadores generales

Objetivo	Etapas (categoría)	Indicadores
General	Económica	Tasa de desempleo en la ciudad
		Número de empresas por cada determinado número de habitantes
	Gobernanza	Porcentaje de servicios de la ciudad accesibles en línea
		Gastos del municipio para una transición hacia una ciudad inteligente y sostenible
		Disponibilidad de datos gubernamentales
	Participación ciudadana	Conciencia pública
		Distribución de género en cargos públicos a nivel ciudad
		Participación electoral en las últimas elecciones (como porcentaje de votantes registrados)
	Oportunidades culturales y recreativas	Metros cuadrados de espacio público recreativo cubierto per cápita
		Metros cuadrados de espacio público recreativo al aire libre per cápita
		Número de instituciones culturales e instalaciones deportivas por cada determinado número de habitantes.
		Número anual de eventos culturales por cada determinado número de habitantes (por ejemplo: exposiciones, festivales, conciertos)
	Educación	Porcentaje de población en edad escolar matriculada
		Tasa de deserción de estudiantes
		Relación número de estudiantes / profesores en escuelas y colegios
		Porcentaje de la población de la ciudad con acceso a Internet
Salud	Cantidad de computadoras, tabletas u otros dispositivos de aprendizaje digital disponibles por cada determinado número de estudiantes de primaria y secundaria	
	Esperanza de vida media	

		Accesibilidad a servicios básicos de salud
		Número de hospitales o centros de salud por cada determinado número de habitantes

Una vez realizado el ejercicio de definición del sistema de indicadores que será empleado para el seguimiento y evaluación de los proyectos urbanísticos y ciudades, se debe seleccionar una metodología que permita obtener una descripción concreta de la situación actual de los casos de estudio y así determinar las categorías y los correspondientes indicadores que requieren una atención prioritaria para la consecución de los objetivos propuestos. Posteriormente y en orden de avanzar en lograr dichos objetivos, se deben tomar medidas de acción o mejora y establecer un intervalo de tiempo en el cual los indicadores se vuelven a medir/estimar para realizar de nuevo el proceso de evaluación y poder analizar la evolución de dichas categorías e indicadores. A continuación, se presenta la metodología utilizada para la evaluación del sistema de indicadores propuesto en el marco del presente estudio.

2.6. Metodología de evaluación comprensiva difusa

Realizando una búsqueda en la literatura especializada de diferentes metodologías utilizadas para la integración y evaluación de sistemas de indicadores, se encuentra el Método de Evaluación Comprensiva Difusa (FCEM, por sus siglas en inglés: Fuzzy Comprehensive Evaluation Method) como alternativa de solución. FCEM es un método de evaluación científica propuesto por Gao and Hailu que permite convertir una evaluación cualitativa en una evaluación cuantitativa por medio de funciones de pertenencia difusas y de esta manera obtener el grado de evaluación utilizando operadores difusos [32],[33]. Varios estudios han utilizado este método de evaluación en diferentes contextos. A continuación, se presentan algunos de ellos.

Los autores en [34], presentaron un sistema de evaluación de índices para el desarrollo sostenible del transporte urbano de la ciudad de Wenzhou, China. Posteriormente, adoptaron el método de evaluación comprensiva difusa (FCEM) e hicieron un análisis cuantitativo del desarrollo sostenible del transporte en la ciudad de estudio. El método de evaluación contribuyó a identificar los problemas durante el desarrollo y establecer una base sólida para proponer y/o ajustar las políticas de tráfico urbano. La conclusión final para el caso de estudio es que el transporte urbano es débil en la ciudad de Wenzhou, China y por lo tanto es necesario elevar el nivel de infraestructura de transporte urbano, fortalecer la gestión gubernamental local, y explotar y desarrollar los recursos de la tierra con sabiduría.

En el estudio presentado en [35] se estableció un sistema de índices para la evaluación de la seguridad ecológica urbana utilizando el método FCEM. La evaluación de la seguridad ecológica urbana es la base del pronóstico y la alerta temprana de las condiciones de seguridad ecológica, y además es una forma efectiva de gestionar el ecosistema urbano. En el estudio se evaluaron las condiciones de seguridad ecológica urbana de la ciudad de Shenzhen durante los años 1997 a 2008. Los resultados mostraron que las condiciones de seguridad ecológica en Shenzhen son satisfactorias y hay una tendencia a una mejora gradual. Los autores concluyeron que el FCEM pudo evaluar las condiciones de seguridad ecológica urbana de manera objetiva y exhaustiva.

Los autores en [36] desarrollaron un enfoque para establecer la relación entre la exposición (exposure), la sensibilidad y la capacidad de adaptación para una evaluación de la vulnerabilidad a las inundaciones basado en FCEM y un modelo de grado de desarrollo coordinado (coordinated development degree model (CDDM)). El enfoque propuesto tiene tres partes: (1) definición del sistema de índices y cuantificación de los mismos; (2) FCEM se utiliza para evaluar la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación; y (3) CDDM se aplica para expresar la relación de los tres componentes de la vulnerabilidad. El enfoque fue aplicado para evaluar la espacialidad de la vulnerabilidad a las inundaciones en el área oriental de Hainan, China. El estudio muestra que el enfoque propuesto puede evaluar la vulnerabilidad de múltiples

inundaciones de manera completa y ayudar a los tomadores de decisiones a obtener más información sobre cómo tomar las decisiones de una manera más integral para la prevención de desastres.

Debido a que la evaluación de la calidad del agua es uno de los mecanismos importantes para la gestión ambiental, los autores en [37] propusieron un FCEM para evaluar el estado real de la calidad del agua subterránea. Mediante la evaluación de la calidad del agua, se puede conocer su calidad en diferentes áreas, y también se pueden obtener las tendencias cambiantes de la calidad del agua en diferentes períodos de tiempo. En el enfoque propuesto se calcula un peso de influencia para cada indicador a través de la extracción de información de muestras de agua subterránea basado en el método de peso de entropía, y la ambigüedad de la calidad del agua se considera utilizando el FCEM. Los resultados mostraron que el enfoque propuesto presenta una evaluación más objetiva de la calidad del agua subterránea comparado con los métodos usados para comparación, tales como RAGABP y PPC.

Los autores en [33] propusieron una arquitectura para un EMS (Energy Management System) basado en Internet de las Cosas (IoT). En este estudio se propuso un sistema de índices para evaluar el nivel operativo de los equipos industriales de alto consumo energético. El enfoque propuesto utiliza un proceso de análisis jerárquico (AHP) y un FCEM para construir un modelo de evaluación comprensivo que permite medir el nivel operativo de los equipos industriales con intensivos consumos de energía. El modelo de evaluación fue validado con un ejemplo de una fábrica en Tsingtao. Los principales equipos monitorizados fueron los siguientes: dos calderas, un sistema distribución de energía que contiene tres transformadores y diez líneas principales de transmisión eléctrica, cuatro electromotores de alta potencia, dos compresores de aire, dos ventiladores, dos bombas y cinco tuberías de transmisión de vapor. El enfoque permitió evaluar el nivel operativo de los equipos industriales bajo diferentes condiciones de trabajo entregando información relevante por parte del EMS-IoT para la toma de decisiones de los operarios de la fábrica.

Otros estudios han utilizado esta metodología de evaluación en diferentes contextos de aplicación tales como: gestión de lugares de pesca recreativa [32]; evaluación de la calidad del aire [38]; evaluación de la competencia turística atractiva [39]; evaluación de la condición de aislamiento para equipos de gas [40], [41]; evaluación de la calidad de la potencia de sistemas eléctricos [42],[43],[44]; evaluación del riesgo de incendio en edificios [45] y evaluación de proyectos de energía eólica [46], entre otros.

Como se puede analizar de los trabajos presentados, el Método de Evaluación Comprensiva Difusa (FCEM) permite realizar una evaluación objetiva y comprensiva para diferentes contextos de aplicación permitiendo obtener una evaluación que involucra términos lingüísticos en su descripción, facilitando su interpretación para la toma de decisiones. Además, los diferentes estudios reportados en la literatura han demostrado la superioridad de este método respecto a los otros métodos utilizados para la toma de decisiones de problemas complejos, y por lo tanto se ha utilizado ampliamente en muchas áreas de estudio durante los últimos años [35]. A continuación, se realiza la descripción de la metodología comprensiva difusa adoptada para el proceso de evaluación de los casos de estudio del presente proyecto.

2.6.1. Descripción de la metodología de evaluación comprensiva difusa

La lógica difusa surge como una alternativa que permite emular la forma como los seres humanos procesan la información para la toma de decisiones donde se involucran términos lingüísticos en su descripción [47]. La aproximación lingüística, aun siendo menos precisa que la numérica, presenta algunas ventajas: la descripción lingüística es fácilmente entendida por los seres humanos, incluso cuando los conceptos son abstractos o el contexto es cambiante. En general, un sistema de lógica difusa, está basado en reglas y operaciones matemáticas difusas y se caracteriza por su capacidad de manejar simultáneamente datos numéricos y conocimiento lingüístico [48]. Por otro lado, las funciones de pertenencia difusas se han convertido en herramientas efectivas para capturar la experiencia de los seres humanos y manejar procesos

y fenómenos con incertidumbre. Según Mendel [48], la incertidumbre ocurre en el dominio empírico como el resultado de los errores en la medida y los límites de resolución de los instrumentos de medida; en el dominio cognoscitivo, la incertidumbre aparece de la vaguedad y ambigüedad inherente al lenguaje natural; y en el dominio social, la incertidumbre se usa como estrategia por las personas para manejar la privacidad, seguridad y propiedad de la información.

Por otro lado, los conjuntos clásicos se definen mediante un predicado que da lugar a una clara división del universo de discurso o valores que los elementos de un conjunto pueden tomar. Un ejemplo de esto sería el conjunto de personas jóvenes. A este conjunto pertenecerían todas las personas con una cierta edad que se puede establecer a priori, por ejemplo, 25 años. De esta forma sólo las personas menores de esta edad pertenecen a dicho conjunto y las personas con una edad superior a la definida como el umbral, 25 años para este ejemplo, quedarían fuera de este conjunto. Sin embargo, el razonamiento humano utiliza frecuentemente predicados que no se pueden reducir a este tipo de divisiones o conjuntos clásicos.

El lenguaje natural que se usa en el mundo real maneja términos lingüísticos que permiten que un elemento pueda pertenecer a uno o más conjuntos con cierto grado de pertenencia, a estos se le llaman conjuntos difusos [48],[49]. Por lo tanto, un conjunto difuso, definido por sus funciones de pertenencia, permite a sus elementos tener un grado de pertenencia entre 0 y 1. De esta manera, se asigna el valor de 1 a los elementos que pertenecen completamente al conjunto, y 0 a los que no pertenecen al conjunto o están completamente fuera de él. Entonces los elementos que pertenecen parcialmente al conjunto tendrán un valor de pertenencia estrictamente entre 0 y 1. Para el ejemplo de la edad de las personas que es presentado en la Figura 2, se puede ver que las funciones de pertenencia difusas se superponen, de manera que un individuo podría tener un grado de pertenencia diferente de 0 en dos conjuntos: “joven” y “maduro”, tal como se presenta en la Figura 2. Lo anterior indica que el elemento, para este caso la edad de las personas, posee cualidades asociadas a ambos conjuntos. En el ejemplo, una persona con 25 años tiene un grado de pertenencia 0.6 para el conjunto “joven” y 0.4 para el conjunto “maduro”, lo anterior dado los parámetros que definen las funciones de pertenencia establecidas para este ejemplo.

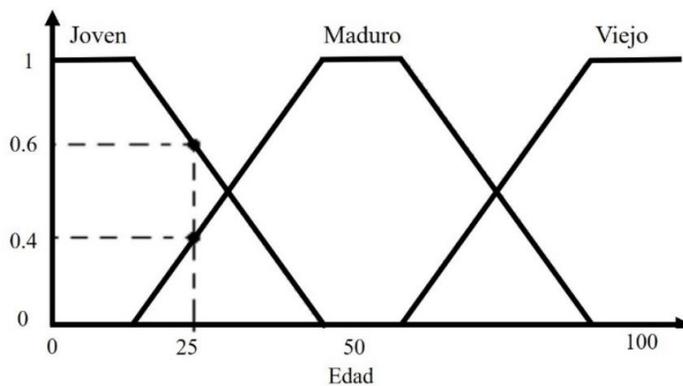


Figura 2. Ejemplo ilustrativo de funciones de pertenencia difusas

Dado que el Método de Evaluación Comprensiva Difusa (FCEM) adoptado en el presente estudio para la integración y evaluación del sistema de indicadores propuesto en la sección 2.5.1. se basa en los conceptos de la matemática y lógica difusa, las funciones de pertenencia difusas son utilizadas para la caracterización de cada uno de los indicadores propuestos en dicho sistema de indicadores. Por lo tanto, los indicadores son cuantificados utilizando límites difusos en sus definiciones para que posteriormente se realice la evaluación usando la teoría de la relación difusa [34],[37],[45].

Por ejemplo, el indicador “Accesibilidad al transporte público masivo (oferta)”, el cual pertenece a la categoría de movilidad y mide el porcentaje del área de estudio con cobertura de paraderos de transporte

público masivo, es caracterizado por las funciones de pertenencia difusas, tal como se presenta en la Figura 3. Por lo tanto, este indicador es evaluado utilizando las siguientes etiquetas lingüísticas: “Muy Malo”, “Malo”, “Regular”, “Bueno” y “Muy Bueno” (ver Figura 3). De esta manera y basado en la teoría difusa, se puede establecer que el valor medido o estimado de un indicador puede pertenecer con cierto grado de pertenencia a cada una de estas etiquetas lingüísticas, y así poder realizar una interpretación objetiva y comprensiva de la evaluación basado en la metodología FCEM. Por lo anterior, se evidencia que el diseño de las funciones de pertenencia difusas asociadas a cada uno de los indicadores es un factor importante y deben ser cuidadosamente diseñadas en la metodología propuesta.

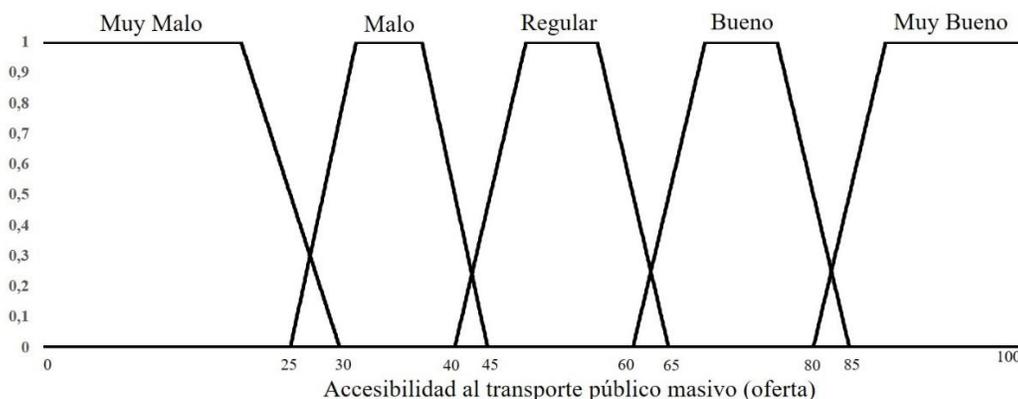


Figura 3. Funciones de pertenencia difusas para el indicador Accesibilidad al transporte público masivo (oferta)

Tal como lo plantea la metodología FCEM, una vez definido el sistema de indicadores a utilizar para el proceso de evaluación, se procede a establecer las etiquetas de evaluación para cada uno de los indicadores, las cuales son expresadas de manera lingüística. En esta sección del documento, la explicación de la metodología se hará considerando cinco categorías de evaluación o expresiones lingüísticas para una mejor interpretación del método propuesto, tal como se presenta en la ecuación (1).

$$\text{Etiquetas lingüísticas} = \{ \text{Muy Malo}, \text{Malo}, \text{Regular}, \text{Bueno}, \text{Muy Bueno} \} \quad (1)$$

En la literatura especializada, se recomienda utilizar un número impar de etiquetas lingüísticas con un máximo de siete etiquetas para cada indicador. Adicionalmente, es importante resaltar que para cada indicador se debe establecer un universo en discurso o rango de valores que puede tomar el indicador, tal como se presenta en la ecuación (2):

$$U = \{U_{min}, U_{max}\}. \quad (2)$$

Los valores U_{min} y U_{max} (ecuación (2)) son los valores mínimo y máximo respectivamente, que pueden tomar (medido o estimado) cada uno de los indicadores. Estos valores se pueden definir basado en la experiencia de los expertos o considerando valores estándares para dichos indicadores, entre otras estrategias y acorde con el contexto de los casos de estudio en particular. En el presente estudio, estos valores mínimos y máximos que puede tomar el indicador son presentados en cada una de las fichas técnicas de los indicadores (ver anexos).

El siguiente paso en la metodología corresponde a la definición de los conjuntos difusos asociados a cada una de las etiquetas lingüísticas definidas para la evaluación de los indicadores (ver ecuación (1)). Un procedimiento comúnmente adoptado en la literatura es usar funciones de pertenencia difusas triangulares y trapezoidales para la definición de dichas etiquetas. La Figura 4 presenta un ejemplo de las funciones de pertenencia para el *Indicador n*, el cual tiene las cinco etiquetas de evaluación consideradas para este

estudio: “Muy Malo”, “Malo”, “Regular”, “Bueno” y “Muy Bueno”. Como se puede observar de la Figura, para la etiqueta lingüística “Muy Malo” y “Muy Bueno” se usan funciones de pertenencia trapezoidales indefinidas por izquierda y derecha respectivamente. Adicionalmente, se propusieron funciones de pertenencia trapezoidales para las etiquetas lingüísticas “Malo” y “Bueno”, y finalmente para la etiqueta lingüística “Regular” se definió una función de pertenencia triangular. Cabe aclarar que el tipo de función de pertenencia a utilizar para cada una de las etiquetas lingüísticas definidas para los indicadores son seleccionadas basada en la experiencia de los diseñadores del sistema de indicadores y los expertos sectoriales. Para el caso de funciones de pertenencia tipo trapezoidal y triangular se requieren cuatro parámetros para la definición matemática de las mismas, y de esta forma, dado el valor medido/estimado del indicador poder obtener los grados de pertenencia a cada uno de los conjuntos difusos definidos [49].

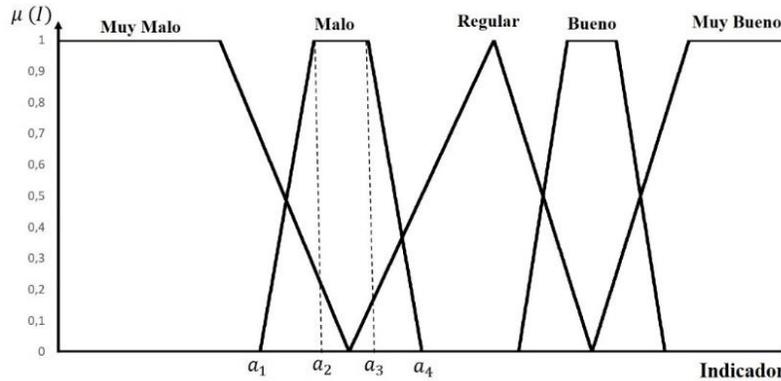


Figura 4. Función de Pertenencia sugeridas para cada uno de los indicadores

Como se muestra en la Figura 4, la función de pertenencia asociada a la etiqueta lingüística “Malo” está caracterizada por los parámetros a_1, a_2, a_3, a_4 para su definición matemática. Cabe aclarar, que cada una de las funciones de pertenencia deben tener asociados sus propios parámetros. Los valores de los parámetros son establecidos o definidos por los expertos sectoriales o en los casos donde se cuenta con suficiente información, estos se pueden definir con metodologías basadas en análisis de datos. De esta forma cada indicador queda caracterizado por las etiquetas lingüísticas y las funciones de pertenencia difusas definidas para cada una de ellas, y la medición o estimación de cada indicador puede pertenecer con cierto grado de pertenencia a cada una de estas etiquetas lingüísticas. Estos grados de pertenencia están en un rango de 0 a 1, es decir, $\mu(x) \in [0,1]$, donde x es el valor medido o estimado del indicador a ser evaluado.

En la Figura 5 se presenta un ejemplo del cálculo de los grados de pertenencia de un indicador a cada una de las funciones de pertenencia difusas definidas y las cuales están asociadas a las etiquetas de evaluación: “Muy Malo”, “Malo”, “Regular”, “Bueno” y “Muy Bueno”. De la Figura 5, $r_{(1,1)}$ representa el grado de pertenencia del valor X' del indicador 1 a la etiqueta 1 (para este ejemplo, la etiqueta “Muy Malo”), donde el valor X' (ver la Figura 5) es la medición o estimación actual del indicador. De igual manera, $r_{(1,2)}, r_{(1,3)}, r_{(1,4)}$ y $r_{(1,5)}$ representan los grados de pertenencia del valor X' del indicador 1 a las etiquetas 2, 3, 4 y 5 (“Malo”, “Regular”, “Bueno” y “Muy Bueno”), respectivamente. Como se puede observar de la figura, los grados de pertenencia del valor X' del indicador 1 son 0 para los conjuntos difusos: “Regular”, “Bueno” y “Muy Bueno”, es decir $r_{(1,3)} = r_{(1,4)} = r_{(1,5)} = 0$.

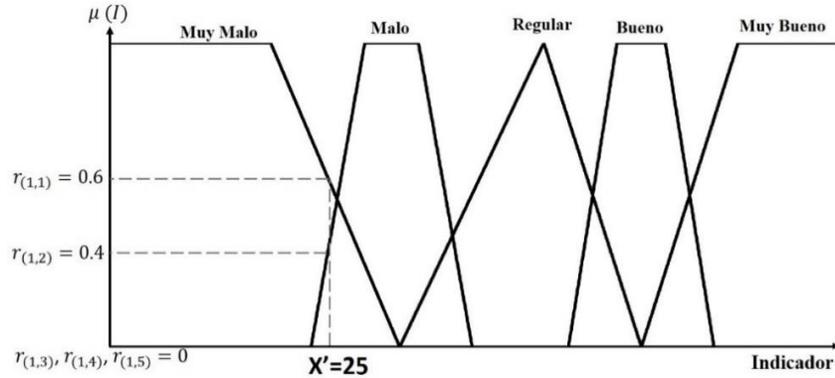


Figura 5. Ejemplo de cálculo de los grados de pertenencia

De forma general, la notación $r_{(N,E)}$ representa el grado de pertenencia del Indicador N a la etiqueta E , donde para este ejemplo $E = 5$ y corresponde al número de etiquetas lingüísticas establecidas para la evaluación. Es importante aclarar que para este ejemplo ilustrativo del método se presentan cinco etiquetas, pero éstas pueden incrementar acorde a lo definido por el diseño del sistema de evaluación. De esta forma el valor medido o estimado del indicador (X') pertenece con cierto grado de pertenencia ($\mu_i(x) \in [0,1]$) a cada una de las funciones de pertenencia definidas para dicho indicador. A manera de ejemplo (ver Figura 5), si $X' = 25$, los grados de pertenencia a cada uno de los conjuntos difusos definidos sería los presentados en la Tabla 12.

Tabla 12. Ejemplo evaluación indicador

Evaluación difusa del Indicador					
Valor estimado del indicador (X')	Muy Malo	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno
25	0.6	0.4	0	0	0

Para el ejemplo presentado, se puede decir que el indicador evaluado ($X' = 25$) tiene un grado de pertenencia de 0.6 al conjunto difuso “Muy Malo” con una tendencia al conjunto difuso “Malo” con un grado de pertenencia igual a 0.4, permitiendo identificar que el indicador posee cualidades asociadas a ambos conjuntos difusos. De esta manera, se puede tener una evaluación de cada uno de los indicadores propuestos y realizar una interpretación lingüística y a la vez cuantitativa de la evaluación, lo cual puede facilitar su interpretación para la toma de decisiones.

El procedimiento descrito anteriormente se repite para cada uno de los indicadores asociados a una categoría particular definida en el sistema de indicadores propuesto. Por ejemplo, si se quiere evaluar la etapa o categoría “Ciudad con suministro de electricidad y gas por red” del sector de energía, la cual tiene 5 indicadores asociados, tal como se presenta en la Tabla 13 es necesario obtener los grados de pertenencia asociados a cada indicador de dicha categoría. Lo anterior, se logra utilizando las definiciones previamente realizadas para cada una de las funciones de pertenencia asociadas a cada indicador. De esta manera se obtiene una matriz de grados de pertenencia para cada categoría o etapa, tal como se presenta en la ecuación (3).

Tabla 13. Etapa e indicadores sector energía

Etapa (categoría)	Indicadores
Ciudad con suministro de electricidad y gas por red	Accesibilidad al servicio de electricidad
	Accesibilidad al servicio de gas natural
	Asequibilidad al servicio de electricidad
	Asequibilidad al servicio de gas natural
	Emissiones de CO _{2eq} por consumo de energía

$$R_j = \begin{bmatrix} r_{(1,1),j} & r_{(1,2),j} & \dots & r_{(1,E),j} \\ r_{(2,1),j} & r_{(2,2),j} & \dots & r_{(2,E),j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{(N,1),j} & r_{(N,2),j} & \dots & r_{(N,E),j} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Donde j representa la categoría o etapa evaluada, para este ejemplo, $j =$ “Ciudad con suministro de electricidad y gas por red”, N es el número de indicadores asociados a dicha etapa, para este ejemplo, $N = 5$ indicadores (ver Tabla 13) y, E es el número de etiquetas lingüísticas definidas para cada indicador, para este caso 5, a saber: “Muy Malo”, “Malo”, “Regular”, “Bueno” y “Muy Bueno”. Entonces, es importante resaltar que la metodología FCEM permite evaluar el desempeño de cada uno de los indicadores que componen cada categoría propuesta y de esta manera conocer cómo estos indicadores contribuyen a la evaluación final de dicha categoría a la que pertenecen.

Seguidamente, se definen los pesos o ponderación que se le darán a cada indicador. Para realizar esto existen métodos subjetivos, tales como el AHP (Analytic Hierarchy Process) y métodos objetivos, tales como Principal Analysis (PCA), Factor Analysis (FA) y el método de la entropía, entre otros. En los métodos subjetivos, los pesos de los indicadores son dados por los expertos, utilizando estrategias participativas, y en los métodos objetivos el uso de suficientes datos es necesarios para poder determinar dichos pesos. En el presente estudio los pesos de los indicadores son asignados por los expertos sectoriales, tal como lo sugiere el método subjetivo. Es así como un vector de pesos por cada categoría (etapa) queda definido, tal como se presenta en la ecuación (4):

$$W_j = [w_{1,j} \quad w_{2,j} \quad \dots \quad w_{N,j}] \quad (4)$$

Donde j representa cada una de las etapas (categorías) y N el número de indicadores asociado a la categoría. Finalizada esta fase, entonces se tienen las matrices con los grados de pertenencia para cada categoría, como se presenta en la ecuación (3) y su correspondiente vector de pesos, tal como se presenta en la ecuación (4). Con esta información, se procede a evaluar cada una de las categorías definidas bajo el enfoque comprensivo difuso (FCEM), utilizando la teoría de relación difusa, tal como se presenta en la ecuación (5):

$$B_j = W_j \circ R_j = [b_{1,j} \quad b_{2,j} \quad b_{3,j} \quad \dots \quad b_{E,j}] \quad (5)$$

Las salidas $b_{1,j}, b_{2,j}, b_{3,j}, \dots, b_{E,j}$, obtenidas son valores entre 0 y 1 que representan el grado de pertenencia de la categoría evaluada a cada una de las etiquetas difusas definidas, en su orden: “Muy Malo”, “Malo”, “Regular”, “Bueno” y “Muy Bueno”, para este estudio en particular. A manera de ejemplo, supongamos que una vez ejecutado el procedimiento descrito anteriormente se obtienen los siguientes valores para la categoría j , utilizando la ecuación (5):

$$B_j = W_j \circ R_j = [0.416 \quad 0.129 \quad 0.156 \quad 0.208 \quad 0.091] \quad (6)$$

En la Tabla 14 se presenta los resultados obtenidos con la correspondiente etiqueta lingüística asociada para una mejor interpretación de los resultados alcanzados hasta esta fase de la metodología. Los resultados de esta fase de la metodología reflejan el desempeño de cada uno de los indicadores con el correspondiente peso o ponderación asociado a la etapa o categoría en evaluación. Para este ejemplo en particular (ver Tabla 14), el resultado refleja que un alto porcentaje de los indicadores obtuvieron una valoración asociada a la etiqueta lingüística “Muy Malo” dado el grado de pertenencia obtenido, en este caso de 0.416. Por otro lado, los resultados indican que un porcentaje bajo de indicadores obtuvieron una valoración de “Muy bueno” ya que el grado de pertenencia de esta etiqueta es de 0.091 para la etapa o categoría que se está

evaluando. De manera similar, los grados de pertenencia asociados a las otras etiquetas lingüísticas establecidas (“Malo”, “Regular” y “Bueno”) para la evaluación de la etapa, reflejan el porcentaje de indicadores que obtienen esa valoración lingüística.

Tabla 14. Ejemplo resultados evaluación etapa (categoría) a partir de la ecuación (5)

Grados de pertenencia de una etapa (categoría)				
Muy Malo	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno
0.416	0.129	0.156	0.208	0.091

Con los resultados obtenidos en esta fase de la metodología FCEM, en este estudio se propone obtener una evaluación final de la etapa o categoría en una escala de 0 a 100% y que a su vez se pueda tener una evaluación descriptiva asociando el resultado obtenido a una de las etiquetas lingüísticas definidas para evaluación. De esta manera se podrá analizar el aporte de cada categoría o etapa al objetivo general de evaluación en cada caso de estudio en particular. En la literatura se han reportado diferentes enfoques para realizar este procedimiento [33],[36],[50]. Por ejemplo, los autores en [33] proponen unos rangos para la evaluación final en la escala de 0 a 100, tal como se presenta en la Tabla 15:

Tabla 15. Rango de evaluación final propuesto en [33]

Etiqueta de evaluación	Muy Malo	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno
Rango de evaluación	0-50	50-60	60-75	75-90	90-100

Con estos rangos definidos, los autores proceden a calcular el valor medio de cada uno de dichos rangos asociados a las etiquetas lingüísticas usadas para el proceso de evaluación. Dado lo anterior, para este caso presentado los valores medios de los rangos son:

$$Z_j = [25 \quad 55 \quad 67.5 \quad 82.5 \quad 95] \quad (7)$$

Estos valores medios de cada uno de los rangos, representa el vector de parámetros Z_j utilizados junto con el vector de grados de pertenencia de la categoría evaluada (B_j) (ver ecuación (5)), obtener la valoración final del sector o etapa en evaluación (F_j), utilizando la ecuación (8):

$$F_j = B_j \circ Z_j \quad (8)$$

Donde j representa cada una de las etapas (categorías) de evaluación. A manera de ejemplo, utilizado los resultados de grados de pertenencia (B_j) presentados en la ecuación (6) y los valores Z_j propuestos en la ecuación (7), el valor final de evaluación es $F_j = 53.83\%$ el cual correspondería a la etiqueta lingüística de evaluación “Malo”, tal como se puede ver de la Tabla 15. En el presente estudio se propone construir una escala de evaluación final de 0 a 100%, utilizando conjuntos difusos, como por ejemplo la escala de evaluación presentada en la Figura 6.

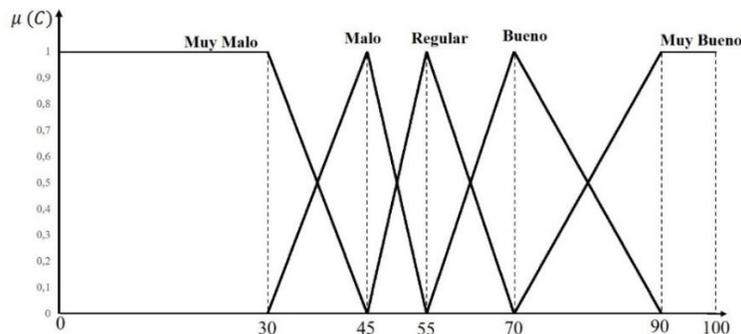


Figura 6. Ejemplo de conjuntos difusos utilizados para la evaluación final de una etapa o categoría en una escala de 0 a 100%

Para construir estos conjuntos difusos se calcula un centroide generalizado que caracterice a cada una de las etiquetas lingüísticas establecidas (ver Figura 6). Estos centroides generalizados (C_j^E) se obtienen utilizando los centroides o centros de gravedad de cada una de las funciones de pertenencia empleadas por los indicadores para caracterizar determinada etiqueta lingüísticas de evaluación, tal como se presenta en la ecuación (9).

$$C_j^E = \sum_{i=1}^N w_{i,j} C_{i,j}^E \quad (9)$$

Donde j representa la etapa (categoría) evaluada, $E = \{\text{"Muy Malo"}, \text{"Malo"}, \text{"Regular"}, \text{"Bueno"}, \text{"Muy Bueno"}\}$ son las etiquetas lingüísticas utilizadas en la escala de evaluación, N el número de indicadores en la categoría, $w_{i,j}$ son los pesos asociados a cada uno de los indicadores de la categoría j (ver ecuación (4)) y $C_{i,j}^E$ es el centroide asociado al indicador i de la categoría j y la correspondiente etiqueta lingüística E . En otras palabras, por ejemplo, para construir la función de pertenencia difusa asociada a la etiqueta “Regular” en la Figura 6 se utilizaron los centroides de los conjuntos difusos de cada uno de los indicadores asociados a la misma etiqueta de evaluación, para este caso “Regular”. Este mismo procedimiento se realiza para construir los conjuntos difusos asociados a las otras etiquetas lingüísticas.

Una vez calculados los centroides generalizados que caracterizan a cada una de las funciones de pertenencia asociadas a las etiquetas lingüísticas de evaluación, se construyen los conjuntos difusos tipo triangular para las etiquetas “Malo”, “Regular” y “Bueno” y conjuntos difusos tipo trapecio para las etiquetas “Muy Malo” y “Muy Buenos”, tal como se presenta en la Figura 6. Para la construcción de dichas funciones de pertenencia se impone la siguiente restricción respecto a la suma de los grados de pertenencia:

$$\sum_{E=1}^5 \mu_E(x) = 1 \quad \forall x \in [0, 100] \quad (10)$$

Donde x es el rango de valores de evaluación (0 a 100) discretizados en 2000 puntos y $\mu_E(x)$ es el grado de pertenencia del elemento x a cada una de las etiquetas lingüísticas definidas $E = \{\text{"Muy Malo"}, \text{"Malo"}, \text{"Regular"}, \text{"Bueno"}, \text{"Muy Bueno"}\}$. De esta manera, el enfoque propuesto en el presente estudio permite construir los conjuntos difusos finales de evaluación en función de los conjuntos difusos que los expertos sectoriales definieron para cada uno de los indicadores asociados con la etapa o categoría que se desea evaluar.

Una vez construida la escala de evaluación final difusa, se procede a obtener la evaluación de la etapa o categoría correspondiente basado en el concepto de relación difusa y defusificación por centro de gravedad [48], [49]. El primer paso de esta fase final corresponde a la relación difusa la cual consiste en calcular el grado de activación de cada uno de los conjuntos difusos finales definidos para cada etiqueta de evaluación, tal como se presenta en la ecuación (11):

$$F_j^E(x) = \min(b_{E,j}, \mu_E(x)) \quad (11)$$

Donde $b_{E,j}$ corresponde a la evaluación difusa de la etapa o categoría bajo el enfoque FCEM, tal como se presentó en la ecuación (5) y $\mu_E(x)$ es el grado de pertenencia del elemento x a cada una de las etiquetas lingüísticas $E = \{\text{"Muy Malo"}, \text{"Malo"}, \text{"Regular"}, \text{"Bueno"}, \text{"Muy Bueno"}\}$. Para este caso x corresponde a la discretización en 2000 puntos del rango de valores utilizados para la evaluación final, es decir de 0 a 100%. A manera de ejemplo, si se utilizan los valores $b_{E,j}$ presentados en la ecuación (6), es decir, $B_j =$

[0.416 0.129 0.156 0.208 0.091] y la escala de evaluación final difusa presentada en la Figura 6, se obtiene el resultado presentado en la Figura 7. Como se puede analizar de la figura, el mayor grado de activación corresponde al conjunto difuso asociado a la etiqueta lingüística “Muy Malo” ya que como se puede ver en el vector de evaluación B_j ésta corresponde a un grado de activación de 0.416, siguiendo en grado de activación la etiqueta “Bueno” con un valor de 0.208 y finalmente, el conjunto con menor grado de activación corresponde a la etiqueta lingüística “Muy Bueno”.

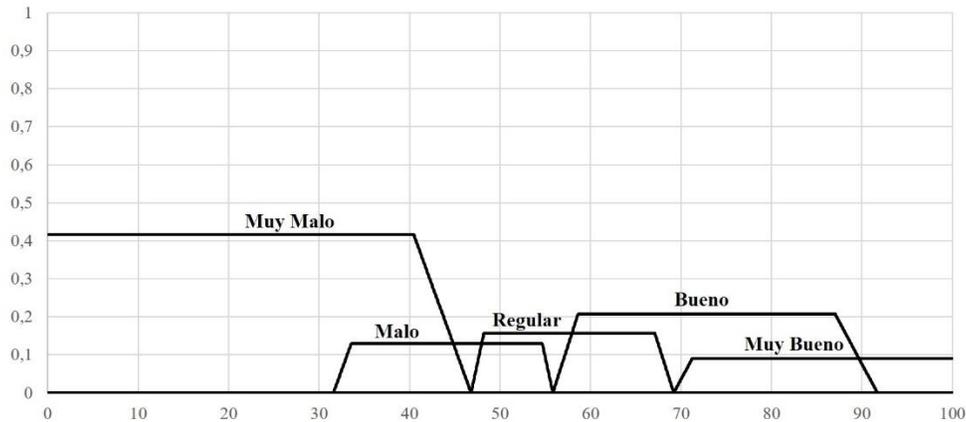


Figura 7. Grado de activación de cada uno de los conjuntos difusos definidos para la evaluación final

Con estos conjuntos difusos de salida activados, se obtiene un único conjunto que caracterice a la salida final de evaluación, tal como se presenta en la ecuación (12):

$$F_j(x) = \max (F_j^E(x)) \tag{12}$$

Donde $F_j^E(x)$ corresponde a los conjuntos difusos activados finales definidos para cada etiqueta de evaluación, tal como se presenta en la ecuación (11) y presentado a manera de ejemplo en la Figura 7. Es así, como siguiendo con en ejemplo descrito en esta sección, la Figura 8 presenta el conjunto final de evaluación obtenido en esta parte del procedimiento utilizando la ecuación (12).

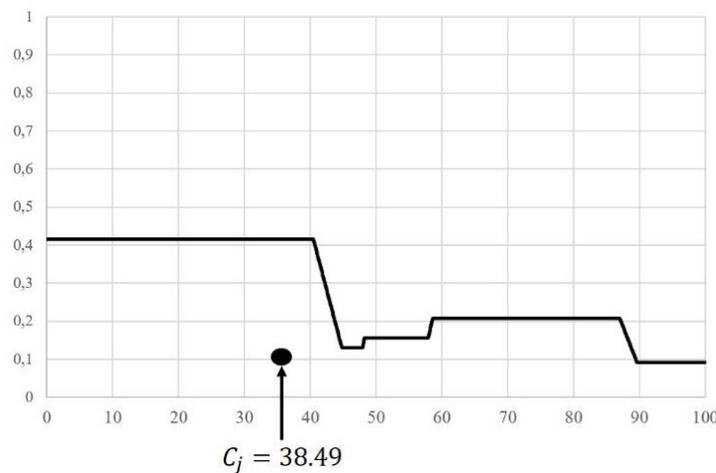


Figura 8. Ejemplo de un conjunto difuso final de evaluación

Con este conjunto difuso de salida para obtener la evaluación final, se realiza una defusificación basado en el centro de gravedad del conjunto de salida [49], tal como se presenta en la ecuación (13):

$$C_j = \frac{\sum_{i=0}^{NP} F_j(x_i)x_i}{\sum_{i=0}^{NP} F_j(x_i)} \quad (13)$$

Donde $NP = 2000$ es el número de puntos usados para discretizar el rango de valores de la evaluación, para este estudio de 0 a 100. $F_j(x_i)$ es el grado de pertenencia de cada elemento x_i al conjunto final de salida (ver ecuación (12)). Continuando con el ejemplo, una vez ejecutada la ecuación (13) se obtiene que el centroide del conjunto difuso de salida es $C_j = 38.49$, tal como se presenta en la Figura 8.

Finalmente, con este valor del centroide del conjunto de salida (C_j) se procede a obtener los grados de pertenencia de este valor a cada uno de los conjuntos definidos en la escala de evaluación final, por ejemplo, los conjuntos presentados en la Figura 6. Es así como para este ejemplo, se puede decir que la etapa o categoría tiene una evaluación final cuantitativa de 38.49% y basados en el grado de pertenencia más alto se puede decir que este valor corresponde a la etiqueta “Muy Malo” con un grado de pertenencia de 0.546, tal como se presenta en la Tabla 16. Adicionalmente, los resultados presentados indican que esta etapa tiene una tendencia a la etiqueta lingüística “Malo” con un grado de pertenencia de 0.454.

Tabla 16. Evaluación difusa final de la etapa o categoría

Evaluación Final Etapa o Categoría					
Valor (Centroide)	Muy Malo	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno
38.49 %	0.546	0.454	0	0	0

Dado lo anterior, se evidencia que la metodología de evaluación comprensiva difusa permite obtener una evaluación que involucra términos lingüísticos en su descripción y puede facilitar su interpretación para la toma de decisiones.

Referencias

- [1] ISO Technical Committee, *ISO 37120:2018 Sustainable cities and communities — Indicators for city services and quality of life*. 2018.
- [2] R. P. Dameri, *Smart city - Implementation Strategy*. 2017.
- [3] A. Huovila, P. Bosch, and M. Airaksinen, “Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when?,” *Cities*, vol. 89, no. June 2018, pp. 141–153, 2019.
- [4] J. C. Baca, D. Enríquez, and N. Narváez, “Indicadores de Ciudad Sostenible,” Quito Ecuador, 2014.
- [5] Economist Intelligent Unit and Siemens, “Índice de Ciudades Verdes de América Latina: Una evaluación comparativa del impacto ecológico de las principales ciudades de América Latina,” 2010.
- [6] Gobierno Municipal, “Ibagué Sostenible 2037: Territorio conector, colectivo y competitivo,” Ibagué, 2018.
- [7] Banco Mundial, *Marco de Sostenibilidad Urbana*, Primera Ed. Washington, DC, 2018.
- [8] European Investment Bank, “Assessment Methodology for Smart City Projects: Application to the Mediterranean Region,” 2017.
- [9] Y. Tan, L. Jiao, C. Shuai, and L. Shen, “A system dynamics model for simulating urban sustainability performance: A China case study,” *J. Clean. Prod.*, vol. 199, pp. 1107–1115, 2018.
- [10] I. I. Picioroaga, M. Eremia, and M. Sanduleac, “SMART CITY: Definition and Evaluation of Key Performance Indicators,” in *EPE 2018 - Proceedings of the 2018 10th International Conference and Expositions on Electrical And Power Engineering*, 2018, pp. 217–222.
- [11] K. Jouili, A. Al Furjani, I. Shahrou, and K. Washington, “The Smart City: How to Evaluate Performance?,” in *International Conference, Responsible organizations in the Global Context*, 2017, no. June, pp. 1–16.
- [12] L. Shen, Z. Huang, S. W. Wong, S. Liao, and Y. Lou, “A holistic evaluation of smart city performance in the context of China,” *J. Clean. Prod.*, vol. 200, pp. 667–679, 2018.
- [13] G. Mitchell, “Problems and Fundamentals of Sustainable Development Indicators,” *Sustain. Dev.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–11, 1996.
- [14] DANE, “Guía para Diseño, Construcción e Interpretación de Indicadores.”
- [15] CONEVAL, “Manual para el diseño y la construcción de indicadores,” México, 2013.
- [16] N. Nacif, “Diseño de indicadores urbanos de sustentabilidad,” *Rev. Urbano*, vol. 34, pp. 6–15, 2016.
- [17] ISO Technical Committee, *ISO/DIS 37122 Sustainable cities and communities - Indicators for smart cities*. 2018.
- [18] ISO Technical Committee, *ISO 21929:2010 Building construction – Sustainability in building construction – Sustainability indicators. Part 1 - Framework for the development of indicators for buildings and core indicators*. 2010.
- [19] K. Kourtit and P. Nijkamp, “Big data dashboards as smart decision support tools for i-cities – An experiment on stockholm,” *Land use policy*, vol. 71, no. November 2017, pp. 24–35, 2018.
- [20] A. Schuschny and H. Soto, “Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible,” Santiago de Chile, 2009.
- [21] BID, “Guía metodológica: iniciativa ciudades emergentes y sostenibles,” 2016.
- [22] U. Nacional, “Manual de indicadores de proceso en el marco del sistema de mejor gestión,” 2007.
- [23] OECD, “Quality Framework and Guidelines for OECD Statistical Activities,” 2003.
- [24] R. Quiroga, *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*. 2007.
- [25] International Telecommunication Union, *Recommendation ITU-T Y.4900/L.1600 overview of key performance indicators in smart sustainable cities*. 2016.
- [26] R. Quiroga, *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible*, vol. 16. 2001.
- [27] United Nations, *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*, no.

- October. 2007.
- [28] ETSI, *ETSI TS 103 463 key performance indicators for sustainable digital multiservice cities. Technical specification VI.1.1.* 2017.
 - [29] International Telecommunication Union, *Recommendation ITU-T Y.4901/L.1601 key performance indicators related to the use of information and communication technology in smart sustainable cities.* 2016.
 - [30] International Telecommunication Union, *Recommendation ITU-T Y.4902/L.1602 key performance indicators related to the sustainability impacts of information and communication technology in smart sustainable cities.* 2016.
 - [31] International Telecommunication Union, *Recommendation ITU-T Y.4903/L.1603 key performance indicators for smart sustainable cities to assess the achievement of Sustainable Development Goals.* 2016.
 - [32] L. Gao and A. Hailu, "Ranking management strategies with complex outcomes: An AHP-fuzzy evaluation of recreational fishing using an integrated agent-based model of a coral reef ecosystem," *Environ. Model. Softw.*, vol. 31, pp. 3–18, 2012.
 - [33] Y. Li, Z. Sun, L. Han, and N. Mei, "Fuzzy Comprehensive Evaluation Method for Energy Management Systems Based on an Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 21312–21322, 2017.
 - [34] D. Qiu, A. Pan, Q. Xu, and X. Zhuo, "Fuzzy Comprehensive Evaluation of Urban Transportation Sustainable Development in Wenzhou City," in *2010 International Conference on Computer Design and Applications (ICCD A 2010)*, 2010, vol. 3, pp. 599–602.
 - [35] X. Tao, "Fuzzy comprehensive evaluation of urban ecological safety in Shenzhen city," in *Proceedings of the 2011 Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2011*, 2011, pp. 1176–1181.
 - [36] W. Yang, K. Xu, J. Lian, L. Bin, and C. Ma, "Multiple flood vulnerability assessment approach based on fuzzy comprehensive evaluation method and coordinated development degree model," *J. Environ. Manage.*, vol. 213, pp. 440–450, 2018.
 - [37] Z. Xing, Q. Fu, and D. Liu, "Water quality evaluation by the fuzzy comprehensive evaluation based on EW method," in *Proceedings - 2011 8th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2011*, 2011, pp. 476–479.
 - [38] G. H. Luo, Z. L. Fu, and D. H. Wang, "Fuzzy comprehensive evaluation on environment air quality of fuxin city," in *Proceedings - 2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering, ICCSEE 2012*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 259–261.
 - [39] H. Mo, K. Yan, X. Zhao, Y. Zeng, X. Wang, and F. Y. Wang, "Type-2 Fuzzy Comprehension Evaluation for Tourist Attractive Competency," *IEEE Trans. Comput. Soc. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 96–102, 2019.
 - [40] B. Tang, J. Tang, Y. Liu, and F. Zeng, "Comprehensive Evaluation and Application of GIS Insulation Condition Part 1: Selection and Optimization of Insulation Condition Comprehensive Evaluation Index Based on Multi-Source Information Fusion," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 88254–88263, 2019.
 - [41] B. Tang, Y. Sun, S. Wu, K. Gao, X. Yan, and F. Zeng, "Comprehensive Evaluation and Application of GIS Insulation Condition Part 2: Construction and Application of Comprehensive Evaluation Model Considering Universality and Economic Value," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129127–129135, 2019.
 - [42] L. M. Jiang, H. G. Yan, J. X. Meng, Z. D. Yin, and Z. Lin, "Comprehensive evaluation system of power quality compensation based on grey relational analysis," in *2017 2nd International Conference on Power and Renewable Energy, ICPRE 2017*, 2018, no. 1, pp. 617–621.
 - [43] K. Ding, W. Li, Y. Hu, P. Hu, and Y. Qian, "Power quality comprehensive evaluation for low-voltage DC power distribution system," in *Proceedings of 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, ITNEC 2019*, 2019, no. Itnec, pp. 1072–1077.

- [44] Z. Wu, X. Ni, G. Wu, J. Shi, H. Liu, and Y. Hou, “Comprehensive Evaluation of Power Supply Quality for Power Sale Companies Considering Customized Service,” in *2018 International Conference on Power System Technology, POWERCON 2018 - Proceedings*, 2019, no. 201804270000830, pp. 734–739.
- [45] Y. Wei, J. Zhang, and J. Wang, “Research on Building Fire Risk Fast Assessment Method Based on Fuzzy comprehensive evaluation and SVM,” in *8th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering*, 2018, pp. 1141–1150.
- [46] M. Wang and D. Niu, “Research on project post-evaluation of wind power based on improved ANP and fuzzy comprehensive evaluation model of trapezoid subordinate function improved by interval number,” *Renew. Energy*, vol. 132, pp. 255–265, 2019.
- [47] Li-Xin Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*. Prentice-Hall International, 1997.
- [48] J. M. Mendel, *Uncertain rule-based fuzzy logic systems: Introduction and new directions*, 2nd ed. Springer International Publishing, 2017.
- [49] L.-X. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*. 1997.
- [50] Y. W. Du, S. S. Wang, and Y. M. Wang, “Group fuzzy comprehensive evaluation method under ignorance,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 126, pp. 92–111, 2019.
- [51] IPCC, “Metodologías Genéricas Aplicables a Múltiples,” *Directrices del IPCC 2006 para los Inventar. Nac. Gases Ef. Invernadero Vol. 4 Agric. Silvíc. y Otros Usos la Tierra.*, pp. 1–66, 2006.
- [52] Aalde et al., “Tierras Forestales,” *Directrices del IPCC 2006 para los Inventar. Nac. gases Ef. invernadero*, vol. 4, pp. 1–93, 2006.
- [53] CVC, DAGMA, CIAT, and Alcaldía de Santiago de CALI, “Identificación de Zonas y Formulación de Propuestas para el Tratamiento de Islas de Calor Municipio de Santiago de Cali,” *Identificación Zo. y Formulación Propuestas para el Trat. Islas Calor*, vol. 110, p. 30, 2015.
- [54] L. Elgert, “Hard facts and software. The co-productio of indicators in land-use planning model,” *Environ. Values*, pp. 765–786, 2013.
- [55] OMS, “Domestic Water Quantity, Service Level and Health,” 2003.
- [56] I. Domínguez, S. Ward, J. G. Mendoza, C. I. Rincón, and E. R. Oviedo-Ocaña, “End-user cost-benefit prioritization for selecting rainwater harvesting and greywater reuse in social housing,” *Water (Switzerland)*, vol. 9, no. 7, 2017.
- [57] Department of Health, “Guidelines for the Non-potable Uses of Recycled Water in Western Australia,” no. August, p. 98, 2011.
- [58] M. Gutorova, J. I. Schellekens, and P. D. H. L. F. de Groot, “Assessing Drinking Water Affordability in the EU: A Quantitative Approach,” no. September, 2018.
- [59] M. P. Teodoro, “Measuring household affordability for water and sewer utilities,” *J. Am. Water Works Assoc.*, vol. 110, no. 1, pp. 13–24, 2018.
- [60] N. Zhou, G. He, C. Williams, and D. Fridley, “ELITE cities: A low-carbon eco-city evaluation tool for China,” *Ecol. Indic.*, vol. 48, pp. 448–456, 2015.
- [61] Instituto de Hidrología Meteorología y Asuntos Ambientales (IDEAM), *Estudio Nacional del Agua 2018*. Bogotá D.C., 2019.
- [62] Instituto de Hidrología Meteorología y Asuntos Ambientales (IDEAM), *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá D.C., 2015.
- [63] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), “Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales. Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (Hoja metodológica versión 1.10).” Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, pp. 1–13, 2018.
- [64] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), “Indicadores Ambientales de Agua.”
- [65] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, “Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1.00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM,” no. 96, p. 12, 2013.
- [66] CIRIA Norfolk Country Council, “The SUDs Manual,” Londres, 2015.

- [67] International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, “SOLID AND INDUSTRIAL HAZARDOUS WASTE MANAGEMENT ASSESSMENT,” Washington, DC, 2018.
- [68] D. E. Turcott Cervantes, “Sistema de indicadores para la evaluación integral y control de la gestión de residuos municipales,” Universidad de Cantabria, 2018.
- [69] Departamento Nacional de Planeación, “CONPES 3918 ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) EN COLOMBIA.” DNP, Bogotá, 2018.
- [70] GRI and UN GLOBAL COMPACT, “Business Reporting on the SDGs: AN ANALYSIS OF THE GOALS AND TARGETS,” 2017.
- [71] Gobierno de Colombia, “Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Pacto por Colombia. Pacto por la Equidad,” 2018.
- [72] D. C. Wilson *et al.*, “‘Wasteaware’ benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities,” *Waste Manag.*, vol. 35, pp. 329–342, 2015.
- [73] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, “Índice de calidad ambiental urbana-ICAU,” pp. 1–160, 2016.
- [74] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, “Disposición Final de Residuos Sólidos - Informe Nacional 2015,” 2016.
- [75] European Commission DG ENV, “Waste Prevention Overview on Indicators,” 2009.
- [76] N. Seyring, M. Dollhofer, J. Weißenbacher, M. Herczeg, and M. David, “Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU,” *BiPRO/CRI*, no. November, pp. 1–161, 2015.
- [77] Comisión Europea, “Propuesta de DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE, sobre los residuos,” Bruselas, 2015.
- [78] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, “Compras Públicas Sostenibles - Guía Conceptual y Metodológica.” p. 73, 2017.
- [79] P. Gaudillat, I. S. Antonopoulos, P. Canfora, M. Dri, European Commission. Joint Research Centre., and A. I. S, *Best Environmental Management Practice for the Waste Management Sector Learning from frontrunners*, no. May. 2018.
- [80] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, *Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible*. Colombia, 2010, p. 71.
- [81] Secretaría Distrital de Ambiente, “Compras verdes en las entidades públicas del distrito.- CVEPD Observatorio Ambiental de Bogotá.” .
- [82] PricewaterhouseCoopers, Significant, and Ecofys, “Collection of statistical information on Green Public Procurement in the EU Report on data collection results,” 2009.
- [83] Banco Mundial, “Gasto de consumo final del gobierno general (% del PIB).” .
- [84] European Commission, *Buying green! A handbook on green public procurement*, 3rd Editio. 2016.
- [85] Naciones Unidas, “La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe.” Santiago, 2018.
- [86] Departamento Nacional de Planeación, “PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas.” Bogotá, p. 48, 2016.
- [87] Comisión para la Cooperación Ambiental, “Por qué y cómo cuantificar la pérdida y el desperdicio de alimentos: guía práctica,” Montreal, 2019.
- [88] I. Bakas, M. Herczeg, B. Kjær, L. Milios, N. Tojo, and D. Watson, “Proposals for targets and indicators for waste prevention in four waste streams.” Nordic Council of Ministers, Copenhagen, p. 235, 2013.
- [89] Food Loss + Waste Protocol, “Estándar de Contabilización y Reporte Sobre Pérdida y Desperdicio de Alimentos,” 2016.
- [90] R. Pipatti and P. Svardal, “Volume 5 Chapter 3: Solid Waste Disposal 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,” 2006.
- [91] UPME, “Ayuda de la Calculadora Fecoc 2016,” 2016. .

- [92] Observatorio de Vivienda, “Cartilla de indicadores: Ciudad,” Universidad de los Andes.
- [93] Consejo Nacional de Desarrollo Urbano de la República de Chile; Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, “Propuesta de sistema de indicadores y estándares de desarrollo urbano,” 2017.
- [94] A. FIJALKOWSKA, “MEASURING INHABITANTS QUALITY OF LIFE USING GIS-BASED ACCESSIBILITY ANALYSIS,” in *14th SGEM GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Book 2*, 2014, vol. 3, no. SGEM2014 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-12-4 / ISSN 1314-2704, p. 737–744 pp.
- [95] R. Pendall, B. Theodos, and K. Franks, “The Built Environment and Household Vulnerability in a Regional Context.”
- [96] K. Simonen, B. X. Rodriguez, and C. De Wolf, “Benchmarking the Embodied Carbon of Buildings,” *Technol. Archit. Des.*, vol. 1, no. 2, pp. 208–218, 2017.
- [97] Construdata, “Índice de costos.” 2019.
- [98] UPME-Ecoingeniería, “Determinación de propiedades físicas y, estimación del consumo energético de la producción, de acero, concreto, vidrio, ladrillo y otros materiales, entre ellos los alternativos y otros de uso no tradicional, utilizados en la construcción de edificaciones.” 2012.
- [99] Circular Ecology, “ICE Database.” 2019.
- [100] Á. Cadena *et al.*, “Estimación de curva de costos abatimiento de emisiones gases efecto invernadero sector vivienda urbana en Colombia.” 2012.
- [101] CAMACOL Bogotá&Cundinamarca, “Informe de Gestión Acuerdo de Construcción Sostenible 2018.” 2019.
- [102] N. C. Kayaçetin and A. M. Tanyer, “Embodied carbon assessment of residential housing at urban scale,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 117, p. 109470, Jan. 2020.
- [103] Secretaría Distrital de Planeación, “CARTILLA DE ANDENES BOGOTÁ D.C.,” 2018.
- [104] H. Jahanbakhsh, M. M. Karimi, H. Naseri, and F. M. Nejad, “Sustainable asphalt concrete containing high reclaimed asphalt pavements and recycling agents: Performance assessment, cost analysis, and environmental impact,” *J. Clean. Prod.*, vol. 244, p. 118837, Jan. 2020.
- [105] Fundación de la Industria de la Construcción, “Gestión de residuos de la construcción y la demolición en Chile.” 2016.
- [106] J. A. Marin Orrego, “Análisis de la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en un proyecto institucional: estudio de caso,” 2019.
- [107] J. V. Armijos Tinoco, “Caracterización de la generación de residuos de construcción en sistemas industrializados para viviendas de interés social, en la ciudad de Santiago de Cali,” 2019.
- [108] L. García Botero, “Sostenibilidad de la disposición de escombros de construcción y demolición en Bogotá,” 2003.

Anexo 2. Fichas de indicadores

A.2.1. Fichas indicadores sector ecología urbana

Tabla 17. Área verde pública por habitante

Nombre del indicador
Área verde pública por habitante.
Categorización
Ecología urbana/ Cobertura del suelo/ Infraestructura verde y EEP.
Descripción
Mide la disponibilidad de espacio público verde en metros cuadrados por cada habitante en el área de análisis.
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico del espacio público verde disponible para cada habitante independiente de su categoría. Sirve como una primera aproximación a la disponibilidad de área verde en los desarrollos urbanos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
m ² /habitante
Estándar o valores de referencia
10-15 m ² /habitante (OMS)
Frecuencia de reporte
Cada 5 años
Ámbito de aplicación
El área total del proyecto y su población total.
Método de medición/estimación
A partir de la cartografía del proyecto se identifican las áreas verdes y mediante un software de SIG o CAD se obtienen los metros cuadrados. Después se dividen por el número de habitantes y se obtiene el indicador.
Formulación
<p>Área verde pública por habitante</p> $\text{Área verde total por habitante} = \frac{\text{área verde}}{\text{habitantes}} = \frac{\text{m}^2 \text{ de área verde}}{\text{habitante}}$
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Cartografía oficial de los proyectos - Datos y proyecciones de los proyectos y el DANE - Encuestas
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Es un indicador de fácil estimación por lo que es una buena aproximación a la disponibilidad de área verde. Sin embargo, se debe tener en cuenta que es una aproximación general y no específica por lo que se pueden estar contando metros cuadrados de áreas que no son efectivas.

Tabla 18. Área verde protegida.

Nombre del indicador
Área verde protegida
Categorización
Ecología urbana/ Cobertura del suelo/ Infraestructura verde y EEP.
Descripción
Establece la relación entre el área protegida con el total de área verde.

Objetivo
Este indicador busca determinar la relación entre la disponibilidad de áreas verdes protegidas con el total de áreas verdes. Al cruzar esto con naturalidad se puede aproximar la calidad y funcionalidad ecológica de estos espacios.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Área protegida/Área verde total; m ² / m ² .
Estándar o valores de referencia
No hay un valor estándar o de referencia.
Frecuencia de reporte
Cada 5 años
Ámbito de aplicación
El área total del proyecto y su población total
Método de medición/estimación
A partir de la cartografía recogida del proyecto se identifican las áreas verdes protegidas y mediante un software de SIG o CAD se obtienen los metros cuadrados. Después se dividen por el número de habitantes y se obtiene el indicador.
Formulación
$\text{Área verde protegida por habitante} = \frac{\text{área verde protegida}}{\text{área verde total}} = \% \text{ área verde protegida}$
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Cartografía oficial de los proyectos. - Datos y proyecciones de los proyectos y el DANE. - Encuestas
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Es un indicador de fácil estimación que no requiere de información o equipos sofisticados.

Tabla 19. Área espacios públicos infraestructura verde por habitante.

Nombre del indicador
Área espacios públicos infraestructura verde por habitante.
Categorización
Ecología urbana/ Cobertura del suelo/ Infraestructura verde y EEP.
Descripción
Mide la disponibilidad de los espacios verdes públicos socialmente funcionales en el área de análisis diferente a áreas verdes protegidas y áreas verdes asociadas al sistema vial. (m ² y m ² /habitante).
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico del espacio verde de infraestructura pública disponible para cada habitante.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Área/Habitantes; m ² /número de habitantes.
Estándar o valores de referencia
4 m ² /habitante (OMS).
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación

El área total del proyecto y su población total.
Método de medición/estimación
A partir de la cartografía recogida del proyecto se identifican las áreas públicas verdes y mediante un software de SIG o CAD se obtienen los metros cuadrados. Esto se contrasta y complementa con la información oficial publicada en los planos radicados en la secretaría de planeación y en los decretos aprobados. Después se dividen por el número de habitantes y con esto se obtiene el indicador.
Formulación
$\text{Área espacios públicos infraestructura verde por habitante} = \frac{(\text{Total áreas verdes} - \text{áreas verdes protegidas} - \text{áreas verdes sistema vial})}{\text{habitantes}}$ $= \frac{\text{m}^2 \text{ de espacio público}}{\text{habitante}}$
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Cartografía oficial de los proyectos - Datos y proyecciones de los proyectos y el DANE - Encuestas
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Es un indicador de fácil estimación por lo que es una buena aproximación a la disponibilidad de espacio público verde. Es una aproximación específica a los metros cuadrados de áreas efectivas.

Tabla 20. Área espacios verdes privados.

Nombre del indicador
Área espacios verdes privados.
Categorización
Ecología urbana/ Cobertura del suelo/ Infraestructura verde y EEP.
Descripción
Mide la disponibilidad de espacios verdes privados complementarios a la función ecológica en el área de análisis (m ²) que al ser privados no se toman en cuenta en los análisis de disponibilidad pública.
Objetivo
Este indicador busca aproximarse a la oferta de funciones ecológicas prestadas por los espacios verdes privados y a la cantidad de éstos respecto con la población del área de análisis. Se enfoca más a una disponibilidad de espacios complementarios donde se pueden llevar a cabo medidas de renaturalización y conectividad.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
m ²
Estándar o valores de referencia
No hay un valor estándar o de referencia.
Frecuencia de reporte
Cada 5 años
Ámbito de aplicación
El área total del proyecto y su población total
Método de medición/estimación
A partir de la cartografía recogida del proyecto se identifican las áreas verdes y se clasifican por tipos con ayuda de aerofotografías. Mediante un software de SIG o CAD se obtienen los metros cuadrados de cada tipo de verde. Después se dividen por el número de habitantes y se obtiene el indicador.
Formulación

Este indicador no requiere una formulación específica.
Fuentes de información
- <i>Cartografía oficial de los proyectos.</i>
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Es un indicador de fácil estimación que no requiere de información o equipos sofisticados.

Tabla 21. Índice de Naturalidad.

Nombre del indicador
Índice de Naturalidad
Categorización
Ecología urbana/ Cobertura del suelo/ Infraestructura verde y EEP.
Descripción
Establece el porcentaje de las áreas verdes que no son endurecidas y pueden tener una cobertura vegetal.
Objetivo
Establecer el porcentaje de áreas duras dentro de las áreas verdes para determinar el porcentaje que puede tener cobertura vegetal.
Tipo de indicador
Cualitativo
Unidad de medida
Muy bueno, menos del 10% de endurecimiento, bueno entre el 10% y el 20% de endurecimiento, regular entre 20% y 30% de endurecimiento, malo entre 30% y 40% de endurecimiento y muy malo más del 40%.
Estándar o valores de referencia
Este indicador no tiene valores de referencia.
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
El área total del proyecto.
Método de medición/estimación
A partir de la cartografía recogida y de la información suministrada sobre las especies y cantidades que se sembrarán se identifican las áreas de cada categoría. En caso de que el proyecto esté terminado, esta información se puede contrastar con lo que realizado por los desarrolladores.
Formulación
Naturalidad
$\text{Naturalidad} = \frac{\text{área verde sin endurecer}}{\text{total área verde}} = \% \text{ de área verde sin endurecer}$
Fuentes de información
- <i>Cartografía oficial de los proyectos.</i> - <i>Aerofotografías.</i> - <i>Imágenes satelitales.</i>
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Es un indicador que puede dar un indicativo de calidad de hábitat con relativa facilidad.

Tabla 22. Conectividad Ecológica.

Nombre del indicador
Conectividad Ecológica
Categorización
Ecología urbana/ Cobertura del suelo/ Infraestructura verde y EEP.
Descripción
Identifica la conectividad entre (parches de hábitat) tipos de verde “natural” como un proxy de la facilidad con que las especies representativas se pueden mover entre estos.
Objetivo
Identificar las franjas de conectividad y su intensidad para orientar medidas de recuperación y mejoramiento.
Tipo de indicador
Cualitativo
Unidad de medida
<p>1. Conectividad robusta o fuerte. Es aquella que sucede cuando los espacios que contienen la biodiversidad están en situación espacial de vecindad sin solución de continuidad y el flujo de beneficios se da a través de espacios lineales (corredores) que garantizan el mantenimiento y flujo de esos servicios ecosistémicos.</p> <p>2. Conectividad débil. Es aquella que sucede cuando los espacios que contienen la biodiversidad están separados por matrices y que hacen que estén alejados de aquellos en los cuales se espera se reciban o disfruten los servicios ecosistémicos. No hay presencia de corredores robustos, y el flujo de los SE sucede porque en la matriz urbana hay cierta permeabilidad.</p> <p>3. Conectividad difusa. Es el grado mínimo en el cual los SE pueden beneficiar espacios urbanos a distancia, debido a que están muy alejados o a que la matriz es poco permeable. La conectividad difusa es la mínima deseable, y se logra a través de espacios urbanos densos en los cuales el verde urbano está solamente en forma de arbolado urbano aislado o en filas, y en todo caso en espacios muy reducidos.</p>
Estándar o valores de referencia
Robusta.
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
El área total del proyecto.
Método de medición/estimación
A partir de la cartografía recogida, visitas de campo y de la información suministrada sobre las especies y cantidades que se sembrarán se identifican las franjas de conexión. Su intensidad se determina a partir de las características biofísicas y espaciales identificadas.
Formulación
No aplica.
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Cartografía oficial de los proyectos - Aerofotografías.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Es un indicador que puede dar un indicativo de la ubicación y calidad de los corredores de conexión ecológica.

Tabla 23. Accesibilidad Social.

Nombre del indicador
Accesibilidad Social
Categorización
Ecología urbana/ Cobertura del suelo/ Infraestructura verde y EEP.
Descripción
Mide la accesibilidad de la población a los diferentes tipos de espacios verdes, con el fin de ser además un indicador de equidad.
Objetivo
Identificar si la ubicación de los espacios verdes garantiza la accesibilidad de manera equitativa de la población a parques zonales y metropolitanos.
Tipo de indicador
Cuantitativo.
Unidad de medida
% del área con accesibilidad a parques zonales y metropolitanos.
Estándar o valores de referencia
Parques zonales <= 300 m Parques metropolitanos <= 2 km
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
El área total del proyecto.
Método de medición/estimación
Se realizan buffers alrededor de los espacios verdes, posteriormente se realiza la sumatoria de estas áreas y se estima del porcentaje de estas frente al área de análisis.
Formulación
$Accesibilidad = \frac{\text{área con cobertura}}{\text{área total}}$
Fuentes de información
- Cartografía oficial de los proyectos - Aerofotografías
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Es un indicador que puede dar un indicativo de equidad y que permite especialmente en la etapa de planeación, la optimización de la ubicación y distribución de los espacios verdes.

Tabla 24. Captura y almacenamiento de carbono.

Nombre del indicador
Captura de carbono.
Categorización
Ecología urbana/ Cobertura del suelo/ Infraestructura verde y EEP.
Descripción
Mide la eliminación en toneladas de CO ₂ , como un servicio ecosistémico proveído por los diferentes espacios verdes urbanos y sus coberturas forestales
Objetivo
Este indicador pretende visibilizar e incluir como factor determinante en la toma de decisiones el servicio ecosistémico de captura de carbono.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
tCO ₂
Estándar o valores de referencia
No existe un estándar o valores de referencia, sin embargo, se toma como referencia tanto la cantidad de espacios verdes como la cobertura arbórea de estos para determinar su calificación cualitativa. En tal sentido se tiene en cuenta que una buena captura de carbono se obtiene con una cobertura de copas superior al 60% de la infraestructura verde y del 80% de los que corresponden a áreas protegidas urbanas aptas para realizar plantación.
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Población y/o área que hace parte de la evaluación del indicador (Sistema de análisis)
Método de medición/estimación
Este indicador se estima utilizando imágenes satelitales, aerofotografías y/o datos de los desarrolladores de proyectos, relacionados con el área de cobertura de copas de árboles o la cantidad de individuos, los diferentes usos y coberturas del suelo, los factores por defecto recomendados en las directrices del IPCC [51][52], para el Nivel 1 o datos específicos para un país o ciudad, mediciones propias realizadas en campo por medio de parcelas permanentes o transitorias para niveles más detallados de estimación de acuerdo con la disponibilidad de recursos e información.
Formulación
$CO_2 \text{ capturado} = \text{ha cobertura de copas} * tCO_2/\text{ha/año}$ $CO_2 \text{ capturado} = \text{número de árboles} * tCO_2/\text{árbol/año}$
Fuentes de información
*Cartografía e información desarrolladores de proyectos y entidades oficiales. *Imágenes satelitales. *IPCC. *Estudios locales.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Permite visibilizar la importancia de este servicio ecosistémico en la planeación del desarrollo urbano. A futuro se recomienda contar con factores locales que permitan una medición más precisa de este.

Tabla 25. Regulación del clima (Local).

Nombre del indicador
Regulación del clima (Local).
Categorización
Ecología urbana/ Cobertura del suelo/ Infraestructura verde y EEP.
Descripción
Mide los cambios en la temperatura local debido al almacenamiento de calor en diferentes superficies que alteran los flujos de energía.
Objetivo
Este indicador busca medir los cambios en el clima a escala local debidos a las propiedades tanto térmicas como de irradiación de las obras de infraestructura, el almacenamiento de calor en materiales como asfalto y concreto, y la falta de cobertura vegetal.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
°C
Estándar o valores de referencia
Aunque no existe un estándar, se considera deseable un cambio menor a 3°C, en términos de temperatura superficial [53].
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Área del proyecto.
Método de medición/estimación
<p>Para la estimación se utilizan imágenes satelitales multiespectrales, con buena resolución y visibilidad, por medio de herramientas SIG se determina el NDVI de la siguiente manera:</p> $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ <p>NIR Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano RED Espectroscopía de Reflectancia de la parte Roja Visible</p> <p>La temperatura de superficie (LST Land Surface Temperature) se estima por medio de diferentes geoprocesamientos en herramientas SIG. Posteriormente se calcula la diferencia de temperatura en °C entre la cobertura vegetal de referencia (zona rural cercana) y la máxima presentada en el proyecto para así determinar la existencia de islas de calor urbano [53].</p>
Formulación
<i>Cambio de temperatura = Temperatura máxima zona de análisis – temperatura rural de referencia</i>
Fuentes de información
*Cartografía e información desarrolladores de proyectos y entidades oficiales. *Imágenes satelitales.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<p>Es un método sencillo para estimar el efecto de islas de calor urbano, sin la necesidad de información de estaciones de monitoreo de temperatura ambiental que generalmente son escasas y no permiten obtener resultados especializados a un nivel de detalle para cada uso y cobertura del suelo.</p> <p>Como recomendación futura, para la estimación de este servicio se pueden utilizar métodos y modelos más sofisticados que permitan además determinar la relación de este indicador con el consumo de energía.</p>

A.2.2. Fichas indicadores sector manejo integrado del agua

La descripción de cada indicador se presenta de la Tabla 26 a la Tabla 39. En dicha descripción se incluye el objetivo, la cuantificación, la resolución espacial, el sistema de análisis, las fuentes de información para su cálculo, el estándar y algunos comentarios. Respecto al estándar asociado a cada indicador es importante mencionar que su validez está relacionada con la aceptabilidad de los tomadores de decisiones o de los actores a cargo de la evaluación de la sostenibilidad. Según esto, diferentes partes interesadas pueden asignar valores distintos a los estándares, pues estos valores están influenciados por el contexto social [54]. Así pues, los estándares definidos deben ser tomados como valores de referencia, que pueden variar según el contexto local.

Tabla 26. Indicador de consumo promedio diario de agua potable por habitante

Nombre del indicador
Consumo promedio diario de agua potable por habitante
Categorización
Infraestructura urbana/Consumo de agua/Usos sostenibles del agua
Descripción
El indicador analiza el consumo per cápita de agua potable en zonas residenciales
Objetivo
Este indicador pretende medir la eficiencia en el uso del agua potable en zonas residenciales para identificar si se requiere la implementación de acciones guiadas hacia el uso sostenible del recurso hídrico
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Volumen/población/tiempo; L/habitante/día
Estándar o valores de referencia
100 L/habitante/día [55]
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población que habita en el proyecto de vivienda de estudio
Método de medición/estimación
Este indicador debe ser estimado a partir del consumo de agua potable registrado por la Empresa de Servicios Públicos de Agua en el proyecto de vivienda. Así pues, la medición del consumo en las unidades residenciales se realiza mediante un dispositivo encargado de acumular el consumo de agua potable, es decir, un micromedidor. Este dispositivo realiza mediciones del volumen total de agua consumida, el volumen consumido por rangos de caudal y el caudal máximo instantáneo. A partir de dicha información, la Empresa de Servicios Públicos de Agua establece el consumo de agua según la frecuencia de cobro definida
Formulación
$C_{ap} = \frac{V_{agua\ potable}}{N_s * P_h * 365}$
Donde:
- C_{ap} : Consumo de agua potable (L/Habitante/día)
- $V_{agua\ potable}$: Volumen de agua potable consumida en el año (L)
- N_s : Número de suscriptores (-)
- P_h : Personas por hogar (-)
Fuentes de información
- <i>Volumen de agua potable consumida</i> : Empresa de Servicios Públicos de Agua

<ul style="list-style-type: none"> - <i>Número de suscriptores</i>: Empresa de Servicios Públicos de Agua - <i>Personas por hogar</i>: Encuesta a los habitantes o encuesta multipropósito del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) o Departamento de Planeación de la ciudad
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
El estándar se definió de acuerdo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre un consumo que refleja el acceso óptimo al servicio del agua (i.e. todas las necesidades satisfechas de consumo e higiene). Un valor mayor a 100 L/habitante/día indicaría que se puede mejorar la eficiencia en el uso del recurso. Adicionalmente, un valor menor a 50 L/habitante/día debería analizarse en conjunto con otros indicadores para determinar posibles limitaciones en el acceso al agua (p. ej. asequibilidad del servicio de agua y agua aprovechada y reutilizada)

Tabla 27. Indicador de agua aprovechada y reutilizada a nivel residencial

Nombre del indicador
Agua aprovechada y reutilizada a nivel residencial
Categorización
Infraestructura urbana/Consumo de agua/ Uso sostenible del agua
Descripción
El indicador analiza el uso de sistemas y/o estrategias de reúso de aguas grises y aprovechamiento de agua lluvia para disponerla para usos no potables, en zonas residenciales
Objetivo
Mediante la aplicación de este indicador se busca evaluar el uso de fuentes alternas de agua para establecer la eficiencia en el uso del recurso
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
(Volumen/volumen) *100%; %
Estándar o valores de referencia
30 % [56]
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población que habita en el proyecto de vivienda de estudio
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador, idealmente, se debe realizar mediante equipos de medición de volumen o caudal. Sin embargo, en muchos casos las técnicas de reúso y/o aprovechamiento utilizadas por los habitantes no están estandarizadas. Para este caso se deben realizar entrevistas a la población para conocer las características de sus prácticas de reúso y/o aprovechamiento (p.ej., fuentes de agua, usos del agua y frecuencia del uso) y, a partir de dicha información, establecer un porcentaje aproximado de reúso. En este caso, el cálculo del indicador está sujeto a la información disponible y a la incertidumbre asociada
Formulación
$P_{A+R} = \frac{V_{A+R}}{V_T} * 100\%$
Donde:
<ul style="list-style-type: none"> - P_{A+R}: Porcentaje de agua anual de agua lluvia aprovechada y agua gris reutilizada (%) - V_{A+R}: Volumen anual de agua lluvia aprovechada y agua gris reutilizada (m³) V_T: Volumen anual de agua consumida (m³)
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Volumen de agua aprovechada y reutilizada</i>: Encuesta a los habitantes o Empresa de Servicios Públicos de Agua - <i>Volumen de agua potable consumida</i>: Encuesta a los habitantes o Empresa de Servicios Públicos de Agua
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Este indicador analiza el uso de fuentes alternas de agua en unidades residenciales. Para la definición del estándar se consideró la sustitución del agua en usos no potables como en sanitarios y para actividades de limpieza y riego. Los porcentajes para dichos usos fueron establecidos por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico

(CRA) [56]. Su cuantificación puede estar limitada por la disponibilidad de información. En el contexto colombiano, es necesario obtener información primaria puesto que no hay datos disponibles y no existe una regulación sobre el reporte de su uso

Tabla 28. Indicador de cumplimiento de la calidad requerida del agua

Nombre del indicador			
Cumplimiento de la calidad requerida del agua			
Categorización			
Agua/Suministro del agua/Desempeño del sistema			
Descripción			
Este indicador pretende cuantificar el cumplimiento de la calidad requerida del agua según el uso			
Objetivo			
Mediante la aplicación de este indicador se busca evaluar la eficiencia en el uso del agua al destinar diversas fuentes de agua para los diferentes usos teniendo en cuenta la calidad requerida para cada uno			
Tipo de indicador			
Cuantitativo			
Unidad de medida			
Porcentaje (%)			
Estándar o valores de referencia			
100 %			
Frecuencia de reporte			
Estimación anual			
Ámbito de aplicación			
Sistema de suministro de agua potable			
Método de medición/estimación			
<p>La estimación de la calidad del agua se realiza mediante la toma de muestras y el análisis de los diferentes parámetros de calidad de interés. Particularmente, para la estimación de la calidad del agua potable, las muestras de agua se recolectan en las pilas de muestreo dispuestas en las redes de distribución. Así pues, la calidad se evalúa de acuerdo con lo establecido en la Resolución 2115 de 2007. En dicha resolución se indican las siguientes características mínimas requeridas para la calidad del agua para consumo humano. Estas se mencionan a continuación.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color aparente: ≤ 15 UPC - Turbiedad: ≤ 2 UNT - pH: entre 6.5 y 9 - Cloro residual libre: entre 0.3 y 2.0 mg/L - Alcalinidad total: ≤ 200 CaCO₃ - Calcio: ≤ 60 mg/L - Fosfatos: ≤ 0.5 mg/L - Manganeso: ≤ 0.1 mg/L - Molibdeno: ≤ 0.07 mg/L - Magnesio: ≤ 36 mg/L - Zinc: ≤ 3 mg/L - Dureza total: 300 mg/L - Sulfatos: 250 mg/L - Hierro total: 0.3 mg/L - Cloruros: 250 mg/L - Nitratos: 10 mg/L - Nitritos: 0.1 mg/L - Aluminio (Al³⁺): 0.2 mg/L - Fluoruros: 1.0 mg/L - Carbono orgánico total (COT): - Coliformes totales y Escherichia Coli: 			
	Técnica utilizada	Coliformes totales	Escherichia coli
	Filtración por membrana	0 UFC/100cm ³	0 UFC/100cm ³

Enzima sustrato	< 1 microorganismo en 100 cm ³	< 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato definido	0 microorganismos en 100 cm ³	0 microorganismos en 100 cm ³
Presencia - Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Por otro lado, para la calidad del agua para usos no potables, se establecen las siguientes características mínimas requeridas [57].

- pH: entre 6.5 y 8.5
- Sólidos Suspendidos Totales (SST): < 10 mg/L
- Turbiedad: < 5 NTU
- Coliformes totales: < 1 CFU/100 mL

Formulación
$WQ = \frac{M_c}{M_T} * 100\%$
Donde:
- <i>WQ</i> : Cumplimiento de la calidad requerida del agua (%)
- <i>M_c</i> : Número de muestras de agua que cumplen con la calidad requerida para los diferentes usos (-)
- <i>M_T</i> : Número total de muestras de agua (-)
Fuentes de información
- <i>Calidad de las muestras de agua potable</i> : Empresa de Servicios Públicos de Agua
- <i>Calidad del agua lluvia aprovechada y/o agua gris tratada</i> : Reporte de muestreos de agua
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
La estimación de este indicador depende del adecuado procesamiento de las muestras para medir los parámetros de calidad. Para su cálculo se recomienda utilizar la información de las muestras en las que se reportan valores para todos los determinantes de interés

Tabla 29. Indicador asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado

Nombre del indicador
Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado
Categorización
Agua/Suministro del agua/Asequibilidad
Descripción
Este indicador busca cuantificar la asequibilidad de los habitantes al servicio de agua potable y alcantarillado
Objetivo
Mediante este indicador se establece si existen limitaciones en el acceso al servicio de agua potable y alcantarillado debido a los costos del mismo
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje (%)
Estándar o valores de referencia
10% por hogar [58], [59]
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población que habita en el proyecto de vivienda de estudio
Método de medición/estimación
Este indicador se debe estimar a partir de los costos del servicio de agua y alcantarillado, así como los ingresos y los gastos esenciales del hogar. El costo del agua por hogar se calcula considerando la tarifa del agua y el consumo, de acuerdo con las recomendaciones de la OMS sobre un consumo que refleja el acceso óptimo al servicio del agua. Por otro lado, el ingreso disponible depende de los ingresos por hogar y de los gastos esenciales (p. ej. comida, vivienda, atención médica, otros servicios públicos, etc.)

Formulación
$A_{W+S} = \frac{c_W + c_S}{(I_C - G_C)} * 100\%$
<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A_{W+S}: Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado (%) - c_W: Costo mensual del agua por hogar (pesos) - c_S: Costo mensual del alcantarillado por hogar (pesos) - I_C: Ingresos mensuales por hogar (pesos) - G_C: Gastos esenciales mensuales por hogar (pesos)
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ingreso por hogar</i>: Encuesta a los habitantes, encuesta multipropósito del DANE o encuesta nacional de hogares del DANE - <i>Gastos esenciales por hogar</i>: Encuesta a los habitantes o encuesta multipropósito del DANE - <i>Tarifa del agua y alcantarillado</i>: Empresa de Servicios Públicos de Agua Potable
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
El estándar se definió de acuerdo con una investigación realizada por Teodoro (2018) [59], en la cual se indica el umbral de asequibilidad para hogares

Tabla 30. Razón entre el porcentaje de escorrentía descargada antes y después de la urbanización

Nombre del indicador
Razón entre el porcentaje de escorrentía descargada antes y después de la urbanización
Categorización
Agua/Manejo de la escorrentía/Conservación de cuerpos de agua
Descripción
Mediante este indicador se cuantifica la cantidad de escorrentía descargada después de los procesos de urbanización en comparación con la condición previa al desarrollo
Objetivo
Este indicador pretende evaluar el manejo de la escorrentía a partir de la atenuación de la misma mediante la infiltración y el aprovechamiento de agua lluvia
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
No aplica
Estándar o valores de referencia
0
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Sistema de drenaje pluvial
Método de medición/estimación
La estimación del volumen de escorrentía vertida puede realizarse mediante el uso de equipos de medición de volumen o caudal, si se tiene una descarga puntual al sistema de alcantarillado, o puede aproximarse mediante un balance hídrico. Adicionalmente, el coeficiente de escorrentía se puede aproximar mediante el análisis de las superficies del desarrollo urbano
Formulación
$E_R = \frac{ E_D - E_{DP} }{E_{DP}}$ $E_D = \frac{V_{Vert}}{V_{TE}} * 100\%$ $V_{TE} = C P_r A$
Donde:

<ul style="list-style-type: none"> - E_R: Razón entre el porcentaje de escorrentía descargada antes y después de la urbanización (-) - E_{DP}: Escorrentía descargada antes del proceso de urbanización (%) - E_D: Escorrentía descargada después del proceso de urbanización (%) - V_{vert}: Volumen anual de escorrentía vertida (m³) - V_{TE}: Volumen anual de escorrentía generada (m³) - C: Coeficiente de escorrentía (-) - P_r: Profundidad de precipitación (m) - A: Área (m²)
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Volumen total de agua vertida</i>: Empresa de Servicios Públicos de Agua o modelos hidrológicos - <i>Precipitación</i>: Estaciones meteorológicas de la empresa de Servicios Públicos de Agua o del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) - <i>Coefficientes de escorrentía</i> Imágenes satelitales e información geográfica del Departamento de Planeación de la ciudad o del Instituto Geográfico Agustín Codazzi
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<p>Debido a que una gestión inadecuada de la escorrentía puede generar eventos de inundación, afectación de la calidad de cuerpos de agua receptores, entre otros impactos, este indicador se calcula para identificar el avance en la gestión de las aguas pluviales. Se debe resaltar que el volumen adecuado de escorrentía descargada depende de las características de la subcuenca, por lo cual este valor puede variar. Es decir, dado que uno de los objetivos del manejo de la escorrentía en zonas urbanizadas es replicar las condiciones antes de la urbanización, el porcentaje de escorrentía vertida debe analizarse en relación con estas condiciones. De manera que los volúmenes descargados no generen riesgos de inundación en el área y no afecten el flujo base de los cuerpos de agua receptores</p>

Tabla 31. Indicador de agua residual tratada al nivel de calidad requerido

Nombre del indicador
Agua residual tratada al nivel de calidad requerido
Categorización
Agua/Manejo del agua residual/Conservación de cuerpos de agua
Descripción
Se evalúa la proporción de aguas residuales domésticas que son tratadas al nivel de calidad requerido
Objetivo
Este indicador pretende estimar el porcentaje de agua residual que es tratada por procesos físicos, químicos y biológicos adecuados. Es decir, que en su selección involucran la calidad del cuerpo de agua receptor y los usos del recurso aguas abajo del vertimiento. Esto con el fin de establecer si existen impactos ambientales negativos en los cuerpos de agua receptores y restricciones en el uso del agua
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
(Volumen/volumen) *100%; %
Estándar o valores de referencia
100% [60]
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Sistema de drenaje sanitario
Método de medición/estimación
El volumen de agua residual tratado se calcula aproximadamente mediante los reportes de gestión de las PTARs. En las PTARs, la medición del volumen de agua residual captado y entregado al cuerpo receptor se realiza mediante equipos y/o estructuras de medición de caudal o volumen
Formulación
$AR = \frac{AR_{tratada}}{AR_T} * 100\%$ $AR_T = V_{agua\ potable} * k$

<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - AR: Agua residual tratada al nivel de calidad requerido - $AR_{tratada}$: Volumen anual de agua residual tratada (m^3) - AR_T: Volumen anual de agua residual producida (m^3) - $V_{agua\ potable}$: Volumen de agua potable consumida en el año (m^3) - k: Coeficiente de retorno (-)
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Volumen de agua residual tratada</i>: Autoridad Ambiental Regional, Empresa de Servicios Públicos de Agua u otro operador - <i>Coeficiente de retorno</i>: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable (RAS) - <i>Consumo de agua</i>: Empresa de Servicios Públicos de Agua
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<p>Este indicador pretende evaluar el tratamiento de aguas residuales según el nivel de calidad demandado. Dicho nivel depende de las características del agua residual y de la calidad del agua del cuerpo receptor, por lo que la calidad requerida del vertimiento puede variar. En Colombia, la resolución 631 de 2015 define los valores límites para distintos determinantes de calidad de los vertimientos realizados por los sistemas de tratamiento</p>

Tabla 32. Indicador de emisiones de CO_2 -eq por la gestión del agua urbana

Nombre del indicador
Emisiones de CO_2 -eq por la gestión del agua urbana
Categorización
Agua/Suministro de Agua; Manejo del agua residual; Manejo de la escorrentía/Emisiones GEI
Descripción
Este indicador pretende estimar la contribución a las emisiones de CO_2 -eq por la gestión del agua urbana. De esta manera, se incluyen emisiones por el suministro, el manejo de la escorrentía y el tratamiento de las aguas residuales o el vertimiento de las mismas
Objetivo
Mediante este indicador se cuantifican las toneladas de CO_2 -eq emitidas por la gestión del agua urbana con el fin de identificar si es necesaria la implementación de estrategias para la reducción de dichas emisiones
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Masa/volumen; toneladas CO_2 -eq/ m^3
Estándar o valores de referencia
No se define un estándar para este indicador. Se busca minimizar las emisiones tanto como sea posible, de manera costo efectiva
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población que habita en el proyecto de vivienda de estudio
Método de medición/estimación
No aplica
Formulación
$Emisiones\ CO_2\text{-eq} = \frac{fe_S * fc_S * V_S + e_{e_S}}{V_S} + \frac{fe_E * fc_E * V_E + e_{e_E}}{V_E} + \frac{\sum fe_{TAR} * fc_{TAR} * V_{TAR} + e_{e_{TAR}}}{V_{TAR}}$
<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $Emisiones\ CO_2\text{-eq}$: Emisiones de CO_2-eq anuales por la gestión del agua (ton CO_2-eq per cápita) - fe_S: Factor de emisión asociado al suministro de agua (ton CO_2-eq/kW) - fc_S: Factor de energía consumida por volumen de agua suministrado (kW/m^3) - V_S: Volumen de agua suministrado (m^3) - fe_E: Factor de emisión asociado al bombeo de la escorrentía (ton CO_2-eq/kW) - fc_E: Factor de energía consumida por volumen de escorrentía (kW/m^3) - V_E: Volumen de escorrentía bombeado (m^3)

<ul style="list-style-type: none"> - $f_{e_{TAR}}$: Factor de emisión asociado al tratamiento del agua (ton CO₂-eq/kW o ton CO₂-eq/Kg) - $f_{e_{TAR}}$: Factor de energía o combustible consumido por volumen de agua residual (kW/m³ o Kg/m³) - V_E: Volumen de agua residual tratado (m³) - e_{e_s}: Emisiones embebidas materiales del sistema de suministro de agua (m³) - e_{e_E}: Emisiones embebidas materiales del sistema de drenaje pluvial (m³) - $e_{e_{TAR}}$: Emisiones embebidas materiales del sistema de drenaje sanitario (m³)
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Volumen de agua potable consumida</i>: Empresa de Servicios Públicos de Agua - <i>Factores de emisión</i>: Literatura - <i>Factores de consumo de energía o combustible</i>: Literatura - <i>Habitantes del proyecto de vivienda</i>: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) o Departamento de Planeación de la ciudad
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Este indicador calcula las emisiones de CO ₂ -eq asociadas a la gestión del agua urbana. Así pues, el método de estimación adoptado utiliza factores de emisión de CO ₂ asociados al consumo de energía eléctrica y combustibles, así como al tratamiento del agua. El cálculo de estas emisiones está influenciado por la disponibilidad de información.

Tabla 33. Indicador de conciencia pública

Nombre del indicador
Conciencia pública
Categorización
Agua/Suministro de Agua; Manejo del agua residual; Manejo de la escorrentía/Conservación de cuerpos de agua
Descripción
Evalúa la conciencia pública de la población entorno a los temas asociados al manejo del agua
Objetivo
Este indicador pretende cuantificar la conciencia pública cuantificada como la responsabilidad que sienten los habitantes por participar en la toma de decisiones locales sobre el agua y en la conservación del recurso. Esto con el fin de establecer si es necesaria la aplicación de campañas educativas u otros mecanismos para incrementar la conciencia y la comprensión del valor del agua por parte de la población
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje (%)
Estándar o valores de referencia
100 %
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población que habita en el proyecto de vivienda de estudio
Método de medición/estimación
La medición de este indicador se realiza mediante entrevistas y/o encuestas a la población del desarrollo urbano. Se debe seleccionar una muestra representativa de habitantes del proyecto de vivienda para calcular el indicador de forma adecuada. Previo a la realización de la entrevista y/o encuesta, es necesario definir qué se entiende por conciencia pública asociada a la gestión del agua. Se pueden realizar preguntas acerca del conocimiento de los habitantes en el manejo del agua de la zona, su entendimiento del valor del agua y la responsabilidad que sienten los habitantes por participar en la toma de decisiones locales sobre el agua y en la conservación del recurso
Formulación
$Cp = \frac{N_{cp}}{H_e} * 100\%$
<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cp: Conciencia pública (%) - N_{cp}: Número de habitantes con conciencia pública de acuerdo con encuestas (-) - H_e: Total de habitantes encuestados (-)

Fuentes de información
- <i>Número de habitantes con conciencia pública:</i> Encuesta a los habitantes
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
No se puede desconocer que los resultados de este indicador están sujetos a la percepción de los habitantes. Por otro lado, el estándar se define considerando que, si todos los habitantes poseen una alta conciencia pública sobre el recurso, lo utilizan de manera sostenible en el área

Tabla 34. Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento

Nombre del indicador																																									
Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento																																									
Categorización																																									
Agua/Suministro de Agua/Conservación de cuerpos de agua																																									
Descripción																																									
Este indicador busca cuantificar la vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico de un área que, por el uso y la regulación del agua, presenta mayor o menor fragilidad ante diversas condiciones (p.ej., variabilidad climática, incremento de las amenazas, aumento de la demanda de agua o degradación de la calidad del agua).																																									
Objetivo																																									
El indicador permite identificar el grado de fragilidad del sistema hídrico para cumplir con la demanda hídrica para el abastecimiento del agua. Así pues, se estima para establecer si es necesario el uso de fuentes alternativas de agua																																									
Tipo de indicador																																									
Cualitativo																																									
Unidad de medida																																									
No aplica																																									
Estándar o valores de referencia																																									
Muy bajo																																									
Frecuencia de reporte																																									
Estimación anual																																									
Ámbito de aplicación																																									
Sistema de suministro de agua																																									
Método de medición/estimación																																									
Este indicador corresponde a una adaptación de un indicador de riesgo definido por el IDEAM [61]. Se establece a partir de una matriz que relaciona el índice de uso de agua para año seco (IUA) y el índice de regulación hídrica (IRH) [62]. Incluye cinco categorías que califican el grado de fragilidad del sistema hídrico, correspondientes a: muy alta, alta, media, baja, y muy baja. El índice de regulación hídrica se basa en la curva de caudales medios diarios para calificar la capacidad de retención y regulación hídrica de una cuenca [61]. El índice de uso de agua corresponde a una relación entre la demanda total de agua para condiciones de año seco y la oferta hídrica superficial. Para determinar la oferta hídrica se debe considerar el caudal ambiental, el cual se obtiene a partir de la curva de duración de caudales diarios, y el índice de regulación hídrica. Si el índice de regulación hídrica indica que hay alta retención y regulación, es decir es mayor o igual a 0.70, el caudal ambiental corresponde al caudal que es igualado o excedido el 85% del tiempo. En caso contrario, el caudal ambiental se determina a partir del caudal que es igualado o excedido el 75% del tiempo [62]. Adicionalmente, la oferta hídrica total se calcula a partir de los caudales mínimos mensuales de la serie de caudales medios diarios, lo cual corresponde al año típico seco [63].																																									
Formulación																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (-)</th> </tr> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: center;">Índice de uso de agua año seco (IUA) (%)</th> <th colspan="5" style="text-align: center;">Índice de regulación (IRH)</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">IRH > 0.85</th> <th style="text-align: center;">0.75 < IRH ≤ 0.85</th> <th style="text-align: center;">0.65 < IRH ≤ 0.75</th> <th style="text-align: center;">0.50 < IRH ≤ 0.65</th> <th style="text-align: center;">IRH ≤ 0.50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"><1</td> <td style="text-align: center;">Muy bajo</td> <td style="text-align: center;">Muy bajo</td> <td style="text-align: center;">Bajo</td> <td style="text-align: center;">Medio</td> <td style="text-align: center;">Medio</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1-10</td> <td style="text-align: center;">Bajo</td> <td style="text-align: center;">Bajo</td> <td style="text-align: center;">Bajo</td> <td style="text-align: center;">Medio</td> <td style="text-align: center;">Medio</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10-20</td> <td style="text-align: center;">Medio</td> <td style="text-align: center;">Medio</td> <td style="text-align: center;">Medio</td> <td style="text-align: center;">Alto</td> <td style="text-align: center;">Alto</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">20-50</td> <td style="text-align: center;">Medio</td> <td style="text-align: center;">Medio</td> <td style="text-align: center;">Alto</td> <td style="text-align: center;">Alto</td> <td style="text-align: center;">Muy alto</td> </tr> </tbody> </table>	Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (-)						Índice de uso de agua año seco (IUA) (%)	Índice de regulación (IRH)					IRH > 0.85	0.75 < IRH ≤ 0.85	0.65 < IRH ≤ 0.75	0.50 < IRH ≤ 0.65	IRH ≤ 0.50	<1	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio	1-10	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	10-20	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	20-50	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy alto
Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (-)																																									
Índice de uso de agua año seco (IUA) (%)	Índice de regulación (IRH)																																								
	IRH > 0.85	0.75 < IRH ≤ 0.85	0.65 < IRH ≤ 0.75	0.50 < IRH ≤ 0.65	IRH ≤ 0.50																																				
<1	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio																																				
1-10	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio																																				
10-20	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto																																				
20-50	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy alto																																				

50-100	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy alto
>100	Muy alto				

$$IUA_{año\ seco} = \frac{DH_j}{OH_t - O_{qamb}} * 100\%$$

$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$

Donde:

- $IUA_{año\ seco}$: Índice de uso de agua para año seco (%)
- DH_j : Demanda hídrica (m³/año)
- OH_t : Oferta hídrica superficial total considerando los promedios mensuales diarios más bajos del periodo analizado (m³/año)
- O_{qamb} : Volumen correspondiente al caudal ambiental (m³/año)
- IRH : Índice de regulación hídrica (-)
- V_p : Volumen parcial equivalente al área bajo la línea del caudal medio en la curva de duración de caudales medios diarios (m³)
- V_t : Volumen total equivalente al área bajo la curva de duración de caudales medios diarios (m³)

Fuentes de información

- *Demanda hídrica*: Empresa de Servicios Públicos de Agua
- *Oferta hídrica*: Estaciones meteorológicas de la empresa de Servicios Públicos de Agua, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) o de la corporación autónoma regional
- *Caudales medios diarios*: Estaciones limnimétricas o limnigráficas de la empresa de Servicios Públicos de Agua, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) o de la corporación autónoma regional

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

La estimación del indicador depende de la disponibilidad de información relacionada con la demanda y la oferta de agua. Así pues, la exactitud en la estimación depende de la calidad de dicha información. El índice puede tener algunos sesgos en zonas con limitaciones en el monitoreo de la oferta de agua. El IDEAM recomienda análisis más detallados en categorías críticas o en zonas donde se proyecten desarrollos socioeconómicos

Tabla 35. Calidad del cuerpo de agua receptor

Nombre del indicador
Calidad del cuerpo de agua receptor
Categorización
Agua/Suministro de Agua/Conservación de cuerpos de agua
Descripción
Este indicador califica la calidad del agua del cuerpo de agua receptor (i.e., cuerpo de agua donde se descargan las aguas residuales y la escorrentía con o sin algún tipo de tratamiento) con base en mediciones de diferentes parámetros de calidad
Objetivo
Su cuantificación permite identificar problemas de contaminación del agua en el cuerpo de agua receptor, con el fin de establecer limitaciones del uso del mismo aguas abajo de las descargas y responsabilidades de diferentes actores su protección y conservación.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje (%)
Estándar o valores de referencia
100 %
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Cuerpo de agua receptor del desarrollo urbano
Método de medición/estimación

Este indicador se adaptó de la lista del sistema de indicadores ambientales de Colombia [64]. La medición de este se realiza considerando la toma de muestra en el cuerpo de agua, en las estaciones de monitoreo, y el procesamiento de las mismas en el laboratorio. De esta manera, para su cuantificación se emplean los valores medidos de los parámetros de calidad del agua presentados en seguida. Estos parámetros y su peso relativo se establecen según lo recomendado por el IDEAM [65]. Mediante las curvas funcionales¹ planteadas para cada parámetro, se calculan los valores respectivos de calidad del agua entre 0 y 1. Es importante aclarar que, si no se cuenta con la medición del total de parámetros, los pesos relativos pueden ser ajustados a la información que se tenga disponible.

Parámetro	Unidad de medida	Peso relativo
Oxígeno disuelto (OD)	% de saturación	0.17
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	0.17
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	0.17
Nitrógeno total/Fósforo total	-	0.17
Conductividad eléctrica	μS/cm	0.17
pH	Unidades de pH	0.15

Finalmente, la calidad del cuerpo de agua se califica de acuerdo con los valores presentados a continuación.

Categorías	Calificación de la calidad
0 - 25%	Muy mala
25 - 50%	Mala
50 - 70%	Aceptable
70 - 90%	Regular
90 - 100%	Buena

Formulación

$$ICA = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n W_i I)}{m} * 100\%$$

Donde:

- *ICA*: Calidad en el cuerpo de agua receptor (-)
- *W_i*: Peso relativo asignado al parámetro de calidad del agua *i* (-)
- *I*: Valor calculado del parámetro de calidad del agua *i* (-)
- *m*: Número de muestras en las cuales se midieron los parámetros de calidad del agua para el cuerpo de agua receptor (-)

Fuentes de información

- *Parámetros de calidad del agua*: Redes de monitoreo de calidad del agua del IDEAM, Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) o campañas de muestreo propias

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Los cuerpos de agua receptores con diferentes tipos de contaminación pueden quedar clasificados en la misma categoría de calidad. Por otro lado, el número y tipo de parámetros incluidos en la cuantificación y la construcción de las curvas funcionales depende del conocimiento técnico sobre los valores de los parámetros considerados [65]

Tabla 36. Uso multifuncional de la infraestructura verde para el manejo de la escorrentía

Nombre del indicador
Uso multifuncional de la infraestructura verde para el manejo de la escorrentía
Categorización
Agua/Manejo de la escorrentía/Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible
Descripción
El indicador se establece para calificar el uso multifuncional de la infraestructura verde empleada para el manejo de escorrentía
Objetivo

¹ Las curvas funcionales relacionan la calidad del agua respecto a la medición de cada contaminante. De esta forma, en las ordenadas se presenta el nivel de calidad entre 0 y 1, en las abscisas, el nivel o valor medido para cada parámetro.

Este indicador pretende evaluar la integración de la infraestructura verde empleada para el manejo de la escorrentía en otros usos (i.e. por parte de la población y para el sustento de la vida silvestre) para establecer si el uso multifuncional en estas áreas es alto, medio o bajo.					
Tipo de indicador					
Cualitativo					
Unidad de medida					
No aplica					
Estándar o valores de referencia					
Alto					
Frecuencia de reporte					
Estimación anual					
Ámbito de aplicación					
Espacio público					
Método de medición/estimación					
El indicador se establece para calificar el uso multifuncional de la infraestructura verde empleada para el manejo de escorrentía a partir de su relación con los habitantes del área y el soporte de ecosistemas. Por lo tanto, se determina a partir de una matriz que relaciona la calificación dada a estos aspectos para un desarrollo que implemente tipologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como parte del esquema de gestión de la escorrentía. Para cada aspecto se establece un puntaje a partir del análisis de criterios específicos y este puntaje se clasifica en alto, medio y bajo.					
El uso de la población se evalúa mediante de criterios asociados con las características de las tipologías, las áreas circundantes y el uso que le dan los habitantes a los SUDS. En la siguiente tabla se presentan criterios para la fase de diseño y para la fase de operación.					
Uso población: Criterios evaluación					
			Etapa	Diseño	Operación
Uso recreativo	Área circundante	Se disponen espacios de recreación pasiva o activa alrededor de todas las tipologías correspondientes a pondajes húmedos, humedales construidos, cuencas secas de drenaje extendido y cuencas de infiltración	3	3	
		Se disponen espacios de recreación pasiva o activa alrededor del 50% de las tipologías correspondientes a pondajes húmedos, humedales construidos, cuencas secas de drenaje extendido y cuencas de infiltración	2	2	
		Se disponen espacios de recreación pasiva o activa alrededor del 20% de las tipologías correspondientes a pondajes húmedos, humedales construidos, cuencas secas de drenaje extendido y cuencas de infiltración	1	1	
		No se disponen espacios de recreación pasiva o activa alrededor de ninguna tipología	0	0	
	Uso seco (tipologías)	Se emplean tipologías que sirven como espacio de recreación en tiempo seco: (p. ej., cuenca seca de drenaje extendido)	3	3	
		No se emplean tipologías que sirven como espacio de recreación en tiempo seco	0	0	
Otros usos	Control tráfico	Se ubican tipologías de SUDS provistas de vegetación en separadores	3	3	
		No se ubican tipologías de SUDS provistas de vegetación en separadores	0	0	
	Parqueo	Se ubican tipologías de SUDS en parqueaderos o bahías	3	3	
		No se ubican tipologías de SUDS en parqueaderos o bahías	0	0	

Relación con el agua	Posible*	Se generan condiciones para interactuar con los SUDS de manera directa (p. ej., estanques superficiales o poco profundos) e indirecta (p. ej., puentes y plataformas)	3*	3
		Se generan condiciones para interactuar con los SUDS de manera indirecta (p. ej., puentes y plataformas)	2*	2
		Se disponen vallas y carteles informativos que permiten entender la función de los SUDS y el ciclo del agua	1*	1
		No se generan condiciones para interactuar con los SUDS	0*	0
	Segura	Se controla la calidad del agua almacenada en los SUDS a partir de estrategias como control en la fuente, pretratamiento y trenes de tratamiento	3	3
		Se controla la calidad del agua almacenada en todos los SUDS a partir de estructuras de pretratamiento	2	2
		Se controla la calidad del agua almacenada en menos de la mitad de los SUDS a partir de estructuras de pretratamiento	1	1
		No hay medidas adicionales para mejorar la calidad del agua pluvial con la que las personas pueden entrar en contacto	0	0
	Visitas	El porcentaje de la población del proyecto que visita tipologías como pondajes húmedos, humedales construidos, cuencas secas de drenaje extendido y cuencas de infiltración es mayor al 80%	NA	3
		El porcentaje de la población del proyecto que visita tipologías como pondajes húmedos, humedales construidos, cuencas secas de drenaje extendido y cuencas de infiltración es mayor al 20%	NA	2
		El porcentaje de la población del proyecto que visita tipologías como pondajes húmedos, humedales construidos, cuencas secas de drenaje extendido y cuencas de infiltración es menor o igual 20% y mayor a 5%	NA	1
		El porcentaje de la población proyecto que visita tipologías como pondajes húmedos, humedales construidos, cuencas secas de drenaje extendido y cuencas de infiltración es menor o igual 5%	NA	0

* Este ítem se evalúa si se cuenta con diseño detalle, de lo contrario no aplica.

NA: No aplica

Después de analizar cada criterio se suman las calificaciones establecidas para definir un puntaje total. Este puntaje permite clasificar el uso de SUDS por parte de la población a partir de los rangos presentados a continuación:

Uso población: Calificación			
Categorías	Etapa		
	Diseño	Diseño detalle	Operación
Alta	12-15	15-18	18-21
Media	6-11	7-13	9-17
Baja	0-5	0-6	0-8

Respecto al componente de biodiversidad, se propone la evaluación para cada tipología de SUDS empleada a partir de tres criterios: (1) potencial de creación de hábitat, (2) conectividad, y (3) restauración. Estos criterios se basan en las características descritas en el manual de CIRIA [66] para crear espacios multifuncionales y la contribuir a la biodiversidad.

Biodiversidad: Criterios evaluación		
Criterio	Evaluación	Puntaje
Creación de hábitat**	La tipología de SUDS tiene un potencial alto para la creación de hábitats	3
	La tipología de SUDS tiene un potencial medio para creación de hábitats	2
	La tipología de SUDS tiene un potencial bajo para creación de hábitats	1
	La tipología de SUDS no contribuye a la creación de hábitats	0
Conectividad	La tipología de SUDS permite conectar corredores verdes y verde azules del área o permite la conexión de hábitats existentes	3
	La tipología de SUDS permite conectar corredores verde azules del área	2
	La tipología de SUDS permite conectar corredores verdes del área	1
	La tipología de SUDS no contribuye a la conectividad de áreas verdes o cuerpos de agua	0
Restauración	La tipología contribuye a la restauración de hábitats a partir de la mejora de la calidad de la escorrentía y la recreación de las propiedades de hábitats preexistentes	3
	La tipología contribuye a la restauración de hábitats a partir de la mejora de la calidad de la escorrentía y la generación de una zona de amortiguación entre el área urbanizada y los hábitats naturales	2
	La tipología contribuye a la restauración de hábitats a partir de la mejora de la calidad de la escorrentía	1
	La tipología de SUDS no contribuye a la restauración de hábitats preexistentes	0

** Creación de hábitat se analiza a partir de la siguiente tabla

Creación de hábitats	
Tipología de SUDS	Potencial
Cunetas verdes	Medio
Zonas de bioretención	Alto
Alcorques inundables	Medio
Cuenca seca de drenaje extendido	Medio
Zanjas de infiltración	Bajo
Pavimentos permeables	Bajo
Pondajes húmedos	Alto
Humedales construidos	Alto
Cuencas de infiltración	Medio
Techos verdes	Alto

Una vez se ha establecido el puntaje para cada tipología de SUDS se define una calificación para biodiversidad a partir de la tabla presentada a continuación. En este caso se analiza el puntaje promedio de las tipologías analizadas.

Biodiversidad: Calificación	
Categorías	Puntaje promedio
Alta	7-9
Media	5-6
Baja	0-4

Formulación

Uso multifuncional de la infraestructura verde para el manejo del agua pluvial (-)			
Uso población	Biodiversidad		
	Alto	Medio	Bajo
Alto	Muy alto	Alto	Medio
Medio	Alto	Medio	Bajo
Bajo	Medio	Bajo	Muy bajo

Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Características de los SUDS</i>: Instituto de desarrollo urbano. - <i>Uso de los SUDS (visitas)</i>: Encuestas a la población. - <i>Características del espacio público</i>: Departamento de planeación de la ciudad.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
La estimación de este indicador depende de la percepción de la persona que esté realizando la calificación de los criterios anteriormente mencionados

Tabla 37. Confiabilidad del sistema de drenaje

Nombre del indicador
Confiabilidad del sistema de drenaje
Categorización
Agua/Manejo de la escorrentía/Desempeño del sistema
Descripción
Evalúa la confiabilidad del sistema de drenaje en el manejo de la escorrentía
Objetivo
Este indicador pretende cuantificar el desempeño del sistema de drenaje en términos de su confiabilidad ² . Así pues, representa la cantidad de tiempo en la que el sistema permanece en un estado satisfactorio (i.e., no hay sobrecarga en las estructuras) considerando un horizonte de tiempo definido
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje (%)
Estándar o valores de referencia
100 %
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Sistema de drenaje, el cual puede incluir estructuras convencionales (p.ej., tuberías y canales artificiales) y no convencionales (p.ej., SUDS)
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador se puede realizar a partir del monitoreo de fallas en el sistema de drenaje pluvial. Cuando no se tienen registros de monitoreo de fallas, la evaluación del desempeño del sistema de drenaje se puede realizar mediante el programa SWMM u otro software hidráulico. En particular, SWMM permite la modelación de estructuras convencionales (p.ej., tuberías y canales abiertos) y no convencionales (p.ej., estructuras de SUDS como cunetas verdes y zonas de bioretención) para la obtención del desempeño del sistema. La información requerida para realizar las simulaciones en SWMM corresponde a la precipitación, las características de la cuenca y los parámetros de diseño de las estructuras de drenaje. Entre los resultados obtenidos se incluye el tiempo de sobrecarga de cada una de las estructuras modeladas
Formulación
$HRI = \left(1 - \left(\frac{1}{T} \sum_{j=1}^M T_j \right) \right) * 100\%$
Donde:
<ul style="list-style-type: none"> - <i>HRI</i>: Confiabilidad del sistema de drenaje (-) - <i>M</i>: Número de fallas del sistema (p.ej., número de veces que el sistema se sobrecargó) (-) - <i>T</i>: Tiempo de operación del sistema (horas)

² La confiabilidad se define como el grado en el que un sistema minimiza el nivel de frecuencia de eventos de falla durante su vida útil cuando está sujeto a condiciones normales de operación

- T_j : Duración del estado de falla del sistema (horas)
Fuentes de información
- <i>Fallas en el sistema de drenaje</i> : Empresa de Servicios Públicos de Agua o modelos hidráulicos
- <i>Información de las estructuras de drenaje convencional y no convencional</i> : Empresa de Servicios Públicos de Agua
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Este indicador permite calcular la confiabilidad del sistema mediante el análisis de fallas relacionadas con la sobrecarga hidráulica del mismo. Debido a que la confiabilidad está relacionada con la resiliencia del sistema, el indicador permite evaluar indirectamente la adaptación de las estructuras drenaje a diversos eventos de precipitación

Tabla 38. Cobertura del servicio de alcantarillado sanitario

Nombre del indicador
Cobertura del servicio de alcantarillado sanitario
Categorización
Agua/Manejo del agua residual/Conservación de cuerpos de agua
Descripción
Evalúa la cobertura del servicio de alcantarillado sanitario en las zonas urbanas
Objetivo
Este indicador pretende cuantificar el porcentaje de la población con acceso al servicio de alcantarillado sanitario (i.e., recolección y transporte de las aguas residuales), con el fin de establecer si existe un déficit en la prestación del servicio
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje (%)
Estándar o valores de referencia
100 %
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Sistema de alcantarillado sanitario
Método de medición/estimación
La cobertura del alcantarillado sanitario se puede estimar considerando la información consignada en el catastro de redes. Particularmente, se puede consultar en el “Reporte de estratificación y coberturas” de las diferentes ciudades, dispuesto en el Sistema Único de Información (SUI)
Formulación
$HRIAlc_s = \frac{UV_s}{UV_t} * 100\%$
Donde:
- Alc_s : Cobertura de alcantarillado sanitario (%)
- UV_s : Unidades de vivienda conectadas al servicio de alcantarillado (#)
- UV_t : Unidades de vivienda en el área (#)
Fuentes de información
- <i>Unidades de viviendas conectadas al sistema de alcantarillado</i> : Empresa de Servicios Públicos de Agua y Alcantarillado
- <i>Unidades de vivienda en el área</i> : Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) o Departamento de Planeación de la ciudad
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Una cobertura de alcantarillado sanitario de 100% corresponde a una condición que debe garantizarse para nuevos desarrollos urbanos. En esta medida, este indicador se incluye para permitir el análisis de áreas con urbanizaciones informales en las que la recolección y transporte de aguas residuales domésticas puede ser menor al 100%. En estos casos el análisis del indicador es relevante puesto que el acceso a servicios básicos como acueducto y alcantarillado puede estar limitado

Tabla 39. Cobertura del servicio de alcantarillado pluvial

Nombre del indicador
Cobertura del servicio de alcantarillado pluvial
Categorización
Agua/Manejo de la escorrentía/Conservación de cuerpos de agua
Descripción
Evalúa la cobertura del servicio de alcantarillado pluvial en las zonas urbanas
Objetivo
Este indicador busca cuantificar el porcentaje del área en la que la escorrentía generada es manejada mediante sistemas de drenaje convencionales para establecer si existe déficit en la infraestructura
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje (%)
Estándar o valores de referencia
100 %
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Sistema de alcantarillado pluvial
Método de medición/estimación
La cobertura del alcantarillado pluvial se puede estimar considerando la información consignada en el catastro de redes. Particularmente, se puede consultar en el “Reporte de estratificación y coberturas” de las diferentes ciudades, dispuesto en el Sistema Único de Información (SUI)
Formulación
$Alc_p = \frac{AU_p}{AU_t} * 100\%$
Donde:
- Alc_p : Cobertura de alcantarillado pluvial (%)
- AU_p : Área urbanizada cuya escorrentía es manejada por un sistema de drenaje (m ²)
- AU_t : Área urbanizada total (m ²)
Fuentes de información
- <i>Área urbanizada cuya escorrentía es manejada por un sistema de drenaje</i> : Empresa de Servicios Públicos de Agua y Alcantarillado
- <i>Área urbanizada total</i> : Departamento de Planeación de la ciudad
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Si bien el manejo de la escorrentía debe garantizarse en nuevos desarrollos urbanos, este indicador se incluye para permitir el análisis de áreas con urbanizaciones informales en las que los procesos de construcción no consideraron la gestión de aguas pluviales. Por esta razón el análisis del indicador es relevante para estos casos, ya que generalmente el acceso a servicios básicos como acueducto y alcantarillado puede estar limitado

A.2.3. Fichas indicadores sector suministro y uso de energía

Tabla 40. Indicador Accesibilidad al servicio de electricidad

Nombre del indicador
Accesibilidad al servicio de electricidad
Categorización
Energía/Accesibilidad a recursos energéticos
Descripción
Proporción de usuarios que cuentan con acceso legal al servicio de electricidad
Objetivo
Permite realizar el diagnóstico del estado del acceso del servicio energético esencial de la electricidad, de tal manera que se determine si es necesario realizar acciones para garantizar el acceso a este servicio a todos los hogares en el área de interés.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
100%
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Edificios residenciales del macroproyecto o ciudad.
Método de medición/estimación
El indicador se estima a través de datos reportados desde la empresa proveedora del servicio de electricidad, la alcaldía de la ciudad, o la constructora gerente del macroproyecto en cuestión en los cuales se reporta el número de hogares que cuentan y no cuentan con el servicio, y el total de hogares. En caso de no contar con estos datos, se puede realizar una estimación a través de una encuesta.
Formulación
<p>Porcentaje de accesibilidad al servicio de electricidad</p> $\%Acc_{ELE} = \frac{N_{HC,ELE}}{N_H} * 100$ <p>En donde: $N_{HC,ELE}$: Número de hogares que cuentan con una conexión legal N_H: Número de hogares en el área de análisis</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Empresas proveedoras de electricidad (Enel-Codensa)</i>: Las empresas suministradoras del servicio de electricidad pueden proveer información acerca del estado de conexión de usuarios, y si esta conexión es legal. - <i>Alcaldías locales</i>: las alcaldías pueden proveer información acerca del estado de conexión de los hogares en el área de análisis. - <i>Constructora gestora del macroproyecto</i>: en caso de tratarse de un macroproyecto, la constructora gestora del proyecto puede proveer el estado de conexión de las edificaciones.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Un macroproyecto de vivienda necesariamente debe garantizar un 100% de accesibilidad al servicio de electricidad. Sin embargo, este no necesariamente será el caso en ciudades.

Tabla 41. Indicador Accesibilidad al servicio de gas natural

Nombre del indicador
Accesibilidad al servicio de gas natural/GLP
Categorización

Energía/Accesibilidad a recursos energéticos
Descripción
Proporción de usuarios que cuentan con acceso legal al servicio de gas natural o GLP
Objetivo
Permite realizar el diagnóstico del estado del acceso del servicio energético esencial del gas natural o GLP, de tal manera que se determine si es necesario realizar acciones para garantizar el acceso a este servicio a todos los hogares en el área de interés.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
100%
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Edificios residenciales del macroproyecto o ciudad.
Método de medición/estimación
El indicador se estima a través de datos reportados desde la empresa proveedora del servicio de gas natural, la alcaldía de la ciudad, o la constructora gerente del macroproyecto en cuestión en los cuales se reporta el número de hogares que cuentan y no cuentan con el servicio, y el total de hogares. En caso de no contar con estos datos, se puede realizar una estimación a través de una encuesta.
Formulación
<p>Porcentaje de accesibilidad al servicio de gas natural</p> $\%Acc_{GAS} = \frac{N_{HC,GAS}}{N_H} * 100$ <p>En donde: $N_{HC,GAS}$: Número de hogares que cuentan con una conexión a gas natural N_H: Número de hogares en el área de análisis</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Empresas proveedoras de gas natural (Gas Natural Vanti)</i>: Las empresas suministradoras del servicio de gas natural pueden proveer información acerca del estado de conexión de usuarios, y si esta conexión es legal. - <i>Alcaldías locales</i>: las alcaldías pueden proveer información acerca del estado de conexión de los hogares en el área de análisis. - <i>Constructora gestora del macroproyecto</i>: en caso de tratarse de un macroproyecto, la constructora gestora del proyecto puede proveer el estado de conexión de las edificaciones.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Un macroproyecto de vivienda necesariamente debe garantizar un 100% de accesibilidad al servicio de gas natural/GLP. Sin embargo, este no necesariamente será el caso en ciudades.

Tabla 42. Indicador Asequibilidad al servicio de electricidad

Nombre del indicador
Asequibilidad al servicio de electricidad
Categorización
Energía/Accesibilidad a recursos energéticos
Descripción
Cuantifica la asequibilidad de los habitantes del caso de estudio al servicio de electricidad
Objetivo
Permite realizar el diagnóstico del nivel de acceso al servicio de electricidad desde el punto de vista de los costos con respecto a los ingresos de los hogares. El resultado de este indicador permitirá hacer un análisis de qué tanto destinan los usuarios para suplir sus necesidades energéticas respecto a sus ingresos mensuales y el efecto que este tiene en sus hábitos de consumo y qué

tan asequible es el servicio, de tal manera que se pueda concluir acerca de la necesidad de promover programas de consumo racional de energía o promover estrategias para ajustar el cobro del servicio.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
10%
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Hogares en el macroproyecto de estudio
Método de medición/estimación
El indicador se estima a partir de los costos del servicio de electricidad, así como los ingresos y los gastos esenciales de los hogares. El costo puede ser estimado a partir de la tarifa de electricidad y el consumo promedio del servicio en los hogares. Por otro lado, el ingreso disponible depende de los ingresos por hogar y de los gastos esenciales (por ejemplo, víveres, vivienda, atención médica, otros servicios públicos, etc.)
Formulación
Asequibilidad al servicio de electricidad
$\%A_{ELE} = \frac{C_{ELE}}{(I_c - G_c)} * 100$
En donde:
- $\%A_{ELE}$: Asequibilidad al servicio de electricidad (%)
- C_{ELE} : Costo mensual de la electricidad promedio por hogar (pesos)
- I_c : Ingresos mensuales promedio por hogar (pesos)
- G_c : Gastos esenciales mensuales promedio por hogar (pesos)
Fuentes de información
- <i>Empresas proveedoras de electricidad</i> : Las empresas suministradoras del servicio de electricidad pueden proveer información acerca del estado de conexión de usuarios, y si esta conexión es legal.
- <i>Encuestas DANE</i> : a través de encuestas hechas por el DANE tales como la encuesta multipropósito o la encuesta nacional de hogares es posible conseguir datos del ingreso, gastos esenciales, y gasto por servicios energéticos
- <i>Encuestas</i> : a través de una encuesta orientada hacia el pago, calidad y uso de la electricidad es posible conseguir datos del pago y de los ingresos de los hogares.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
- Un macroproyecto de vivienda necesariamente debe garantizar un 100% de accesibilidad al servicio de electricidad. Sin embargo, este no necesariamente será el caso en ciudades.
- Este indicador es usualmente referido como una medida de equidad, enmarcado el objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible donde una de sus metas es lograr que la energía sea asequible para todos. Su medición proveerá una señal de qué tanto comprometen los usuarios en el acceso a recursos energéticos en los diferentes estratos presentes en un macroproyecto de vivienda o ciudad. Sin embargo, esto no es lo único que se puede concluir de este indicador. Acoplado con el indicador de consumo energético, es posible realizar conclusiones respecto al efecto del cobro de energía respecto al consumo. Puede darse casos como que el usuario perciba que tiene una mayor disponibilidad para el pago de electricidad y gas y con ello aumente su consumo, o el caso contrario en el cual al percibir que el servicio es costoso, compromete sus bienes y servicios para consumir menos. Es decir, puede llegarse a ver comprometida la eficiencia energética. Entonces, surge la necesidad de estrategias de educación en consumo racional de la energía, o estrategias de gestión de la demanda basadas en precio el cual en Colombia es tarifa fija a partir de una fórmula provista por la CREG para usuarios regulados.

Tabla 43. Indicador Asequibilidad al servicio de gas natural

Nombre del indicador
Asequibilidad al servicio de natural
Categorización
Energía/Accesibilidad a recursos energéticos
Descripción

Cuantifica la asequibilidad de los habitantes del caso de estudio al servicio de gas natural
Objetivo
Permite realizar el diagnóstico del nivel de acceso al servicio de gas natural desde el punto de vista de los costos con respecto a los ingresos de los hogares. El resultado de este indicador permitirá hacer un análisis de qué tanto destinan los usuarios para suplir sus necesidades energéticas respecto a sus ingresos mensuales y el efecto que este tiene en sus hábitos de consumo y qué tan asequible es el servicio, de tal manera que se pueda concluir acerca de la necesidad de promover programas de consumo racional de gas o promover estrategias para ajustar el cobro del servicio.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
5%
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Hogares en el macroproyecto de estudio
Método de medición/estimación
El indicador se estima a partir de los costos del servicio de gas natural, así como los ingresos y los gastos esenciales de los hogares. El costo puede ser estimado a partir de la tarifa de electricidad y el consumo promedio del servicio en los hogares. Por otro lado, el ingreso disponible depende de los ingresos por hogar y de los gastos esenciales (por ejemplo, víveres, vivienda, atención médica, otros servicios públicos, etc.)
Formulación
Asequibilidad al servicio de gas natural
$\%A_{GAS} = \frac{c_{GAS}}{(I_c - G_c)} * 100$
En donde:
- $\%A_{GAS}$: Asequibilidad al servicio de gas natural (%)
- c_{GAS} : Costo mensual del gas natural promedio por hogar (pesos)
- I_c : Ingresos mensuales promedio por hogar (pesos)
- G_c : Gastos esenciales mensuales promedio por hogar (pesos)
Fuentes de información
- <i>Empresas proveedoras de gas natural</i> : Las empresas suministradoras del servicio de gas natural pueden proveer información acerca del estado de conexión de usuarios, y si esta conexión es legal.
- <i>Encuestas DANE</i> : a través de encuestas hechas por el DANE tales como la encuesta multipropósito o la encuesta nacional de hogares es posible conseguir datos del ingreso, gastos esenciales, y gasto por servicios energéticos
- <i>Encuestas</i> : a través de una encuesta orientada hacia el pago, y uso del gas natural es posible conseguir datos del pago y de los ingresos de los hogares.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
- Un macroproyecto de vivienda necesariamente debe garantizar un 100% de accesibilidad al servicio de gas natural. Sin embargo, este no necesariamente será el caso en ciudades.
- Este indicador es usualmente referido como una medida de equidad, enmarcado el objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible donde una de sus metas es lograr que la energía sea asequible para todos. Su medición proveerá una señal de qué tanto comprometen los usuarios en el acceso a recursos energéticos en los diferentes estratos presentes en un macroproyecto de vivienda o ciudad. Sin embargo, esto no es lo único que se puede concluir de este indicador. Acoplado con el indicador de consumo energético, es posible realizar conclusiones respecto al efecto del cobro de energía respecto al consumo. Puede darse casos como que el usuario perciba que tiene una mayor disponibilidad para el pago de electricidad y gas y con ello aumente su consumo, o el caso contrario en el cual al percibir que el servicio es costoso, compromete sus bienes y servicios para consumir menos. Es decir, puede llegarse a ver comprometida la eficiencia energética. Entonces, surge la necesidad de estrategias de educación en consumo racional de la energía, o estrategias de gestión de la demanda basadas en precio el cual en Colombia es tarifa fija a partir de una fórmula provista por la CREG para usuarios regulados.

Tabla 44. Indicador Emisiones de CO_{2eq} por consumo de energía por hogar

Nombre del indicador
Emisiones de CO _{2eq} por consumo de energía por hogar
Categorización
Energía/Accesibilidad a recursos energéticos
Descripción
Emisiones anuales de gases de efecto invernadero (integradas como CO _{2eq}) comprendidas por el consumo de recursos energéticos (electricidad y gas natural) por hogar
Objetivo
Permite realizar el diagnóstico y seguimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en usuarios residenciales causadas por el consumo energético. Este indicador permite de forma integral monitorear los esfuerzos de mitigación de emisiones a nivel residencial en las diferentes etapas de una ciudad sensible a la energía, los cuales se pueden manifestar ya sea desde estrategias orientadas a la demanda tales como gestión de demanda o eficiencia energética, o estrategias orientadas a la generación de energía a través de recursos de energía distribuidos. El efecto conjunto de estas estrategias se verá reflejado en la evolución de este indicador.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
tCO _{2eq} /hogar
Estándar o valores de referencia
0.3
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Edificaciones residenciales
Método de medición/estimación
El indicador se estima a partir de información del consumo de diferentes energéticos usados, el factor de emisión asociado a la fuente de la cual estos recursos fueron generados, y el número de hogares en el área de análisis. En el caso de electricidad y gas natural, esta primera información puede ser obtenida de las empresas que suministran el servicio. En caso de no contar con esta información, se puede partir de modelos de estimación de demanda como el desarrollado en este proyecto. Los factores de emisiones pueden obtenerse en la literatura (FECOC, UPME, recibos). Por último, información relacionada al número de hogares suscritos a cada servicio puede ser obtenida de las empresas proveedoras de los servicios energéticos.
Formulación
<p>Emisiones de CO_{2eq} por consumo de energía por hogar</p> $EmEn CO_{2eq} = \sum_i \frac{FE_{RE_i} D_{RE_i}}{N_{H_i}}$ <p>En donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>EmEn CO_{2eq}</i>: emisiones por consumo energético por hogar (tCO_{2eq}/hogar) - <i>FE_{RE_i}</i>: Factor de emisión asociado al recurso energético <i>i</i> (tCO_{2eq}/MWh) - <i>D_{RE_i}</i>: Consumo anual del recurso energético <i>i</i> para los usuarios asociados a este (MWh) - <i>N_{H_i}</i>: Número de hogares que consumen el recurso energético <i>i</i>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Empresas proveedoras recurso energético</i>: Las empresas suministradoras del servicio de gas natural pueden proveer información acerca del consumo de cierto recurso energético y el número de usuarios conectados a cada recurso - <i>Prosumidores o generadores distribuidos</i>: en caso de que el recurso sea generado distribuidamente, los gestores del respectivo generador pueden proveer información respecto al consumo y los usuarios asociados - <i>Alcaldías locales</i>: las alcaldías pueden proveer información acerca del estado de conexión de los hogares en el área de análisis.

<ul style="list-style-type: none"> - <i>Constructora gestora del macroproyecto</i>: en caso de tratarse de un macroproyecto, la constructora gestora del proyecto puede proveer el estado de conexión de las edificaciones. - <i>Factores de emisión</i>: literatura
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Los resultados de este indicador están sujetos a la información disponible y como resultado de esta qué tanta información debió ser estimada a través de modelos. Esto puede resultar en resultados poco precisos si los modelos utilizados presentan suposiciones fuertes. - La mitigación de las emisiones asociadas con este indicador no necesariamente es asociada a una reducción en el consumo, sino son un resultado de diferentes esfuerzos asociados tanto a estrategias orientadas a oferta como demanda.

Tabla 45. Indicador Frecuencia promedio de interrupciones en el servicio de electricidad

Nombre del indicador
Frecuencia promedio de interrupciones en el servicio de electricidad
Categorización
Energía/Calidad de energía
Descripción
Frecuencia de interrupciones del servicio del cual la empresa de suministro es directamente responsable. Indica que tan frecuente el consumidor es sometido a una interrupción durante un periodo de tiempo definido.
Objetivo
Este indicador corresponde a uno de los dos ámbitos estándar para la medición de la calidad del servicio de electricidad, correspondiente a la frecuencia de interrupciones del servicio del cual la empresa de suministro es directamente responsable. Indica que tan frecuente el consumidor promedio es sometido a una interrupción sobre un periodo de tiempo definido. Permite realizar un diagnóstico del estado de la red de suministro con el fin de proponer soluciones a contingencias frecuentes que se presenten en dicha red.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
2
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Red de suministro de electricidad
Método de medición/estimación
El indicador se estima a partir de información provista por los operadores de red/empresas de suministro de electricidad, quienes tienen un monitoreo constante del estado de la red y de las interrupciones causadas ya sea por contingencias o por labores de mantenimiento. Se puede realizar a su vez una encuesta a los usuarios con el fin de evaluar su percepción del servicio en este ámbito.
Formulación
<p>Número de interrupciones promedio del servicio de electricidad por hogar</p> $SAIFI = \frac{1}{N_{SE}} \sum_{i=1}^I n_i$ <p>En donde: <i>SAIFI</i>: System Average Interruption Frequency Index. <i>n_i</i>: Usuarios interrumpidos durante la interrupción <i>i</i>. <i>I</i>: Total de interrupciones registradas durante el periodo de tiempo. <i>N_{SE}</i>: Número de suscriptores al servicio de electricidad.</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Empresas proveedoras de energía y gas (Enel-Codensa, Gas Natural Vanti)</i>: Las empresas suministradoras del servicio de electricidad y gas natural pueden proveer una información precisa acerca de la demanda de electricidad y gas de la población

- Encuesta a ciudadanos en el área de análisis: <i>Encuestas</i> : a través de una encuesta orientada hacia el pago, calidad y uso de la electricidad es posible conseguir datos del pago y de los ingresos de los hogares.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Tabla 46. Frecuencia promedio de interrupciones en el servicio de electricidad

Nombre del indicador
Frecuencia promedio de interrupciones en el servicio de electricidad
Categorización
Energía/Calidad de energía
Descripción
Frecuencia de interrupciones del servicio del cual la empresa de suministro es directamente responsable. Indica que tan frecuente el consumidor es sometido a una interrupción durante un periodo de tiempo definido.
Objetivo
Este indicador corresponde a uno de los dos ámbitos estándar para la medición de la calidad del servicio de electricidad, correspondiente a la duración de las interrupciones del servicio de las cuales la empresa de suministro es directamente responsable. Indica que tan frecuente el consumidor promedio es sometido a una interrupción sobre un periodo de tiempo definido. Permite realizar un diagnóstico del estado de la red de suministro con el fin de proponer soluciones a contingencias frecuentes que se presenten en dicha red.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
4
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Red de suministro de electricidad
Método de medición/estimación
El indicador se estima a partir de información provista por los operadores de red/empresas de suministro de electricidad, quienes tienen un monitoreo constante del estado de la red y de las interrupciones causadas ya sea por contingencias o por labores de mantenimiento. Se puede realizar a su vez una encuesta a los usuarios con el fin de evaluar su percepción del servicio en este ámbito.
Formulación
Número de interrupciones promedio del servicio de electricidad por hogar
$SAIFI = \frac{1}{N_{SE}} \sum_{i=1}^I n_i$
En donde:
<i>SAIFI</i> : System Average Interruption Frequency Index.
n_i : Usuarios interrumpidos durante la interrupción i .
I : Total de interrupciones registradas durante el periodo de tiempo.
N_{SE} : Número de suscriptores al servicio de electricidad.
Fuentes de información
- <i>Empresas proveedoras de energía y gas (Enel-Codensa, Gas Natural Vanti)</i> : Las empresas suministradoras del servicio de electricidad y gas natural pueden proveer una información precisa acerca de la demanda de electricidad y gas de la población
- Encuesta a ciudadanos en el área de análisis: <i>Encuestas</i> : a través de una encuesta orientada hacia el pago, calidad y uso de la electricidad es posible conseguir datos del pago y de los ingresos de los hogares.

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
--

Tabla 47. Indicador Accesibilidad a medición inteligente

Nombre del indicador
Accesibilidad a medición inteligente
Categorización
Energía/Gestión de demanda
Descripción
Porcentaje de hogares en el caso de estudio que han hecho la transición de medición de consumo eléctrico tradicional a medición prepago o inteligente.
Objetivo
Este indicador busca hacer un diagnóstico y seguimiento del estado de implementación de medidores inteligentes a lo largo del macroproyecto de vivienda como una de las herramientas fundamentales tanto para el usuario como para la empresa prestadora de servicio de energía en términos de un mejor seguimiento del consumo de energía y con ello construir en conjunto estrategias de eficiencia energética y gestión de demanda. El efecto sobre la eficiencia energética de este indicador se espera que sea positivo a lo largo del tiempo, por lo tanto, se espera que este porcentaje crezca con el paso de los años hasta lograr una cobertura completa.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
75%
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Edificaciones residenciales/Usuarios residenciales
Método de medición/estimación
El indicador se estima a partir de información provista por los operadores de red/empresas de suministro de electricidad, quienes están a cargo de promover la implementación de este tipo de tecnologías acorde a las condiciones impuestas por la regulación que actualmente se encuentra en desarrollo. Estos a su vez tendrán información acerca del estado de despliegue de esta tecnología en los usuarios del área de análisis.
Formulación
Porcentaje de usuarios que cuentan con medición inteligente o prepago En donde: Porcentaje (proporción) de usuarios que cuentan con medición avanzada o inteligente (%). Usuarios que cuentan con medición inteligente (-) Número de suscriptores al servicio de electricidad (-)
Fuentes de información
· <i>Empresas proveedoras de energía y gas (Enel-Codensa, Gas Natural Vanti):</i> Las empresas suministradoras del servicio de electricidad y gas natural pueden proveer una información precisa acerca del estado de implementación de este tipo de tecnologías
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

En Cundinamarca y Bogotá, en 2017 CODENSA reporta haber implementado 42.000 medidores entre 2016 y 2017 [16], y a 2018 haber incrementado esta cantidad a alrededor de 80 mil. La selección de los lugares de implementación se llevó a cabo a partir de una estrategia de viabilidad social, a través de la cual se informó a los usuarios las características de la medición. En este proyecto piloto, CODENSA asumió los costos del medidor y su instalación. Sin embargo, no es posible consultar qué municipios fueron beneficiados de este proyecto.

En el contexto nacional, la CREG expide la resolución 40072 de 2018 en la cual se establecen los mecanismos para implementar la infraestructura de Medición Avanzada en el servicio público de energía eléctrica. En esta se destaca como meta que el 95% de los usuarios urbanos debe contar con medición inteligente a 2030.

Tabla 48. Indicador Grado de adopción de medición inteligente por parte de hogares

Nombre del indicador
Grado de adopción de medición inteligente por parte de hogares
Categorización
Energía/Gestión de demanda
Descripción
Evaluación del nivel de adopción de los hogares con respecto a la medición inteligente instalada analizando la percepción de los usuarios respecto a la tecnología y el impacto que generó en sus patrones de consumo
Objetivo
Este indicador busca hacer un diagnóstico y seguimiento del estado de la percepción y adopción de la medición inteligente por parte de los usuarios residenciales (hogares) de una manera cualitativa. Uno de los retos más importantes que afrontará el despliegue de la medición inteligente será la adaptación de este tipo de tecnologías a los patrones de consumo por parte de los usuarios y la percepción acerca de su utilidad respecto a la toma de decisiones de consumo de energía. Con el fin de obtener los mejores resultados, es necesario por parte de las empresas de suministro encargadas de su instalación que realicen una capacitación apropiada de los usuarios en los cuales se divulgue los posibles beneficios que estas tecnologías pueden traer para estos y como pueden explotar dichos beneficios para tomar decisiones respecto a cómo consumen la energía.
Tipo de indicador
Cualitativo
Unidad de medida
<p>Muy malo: existe una percepción negativa de la medición inteligente implementada y su utilidad por parte es nula en más del 85% de la población.</p> <p>Malo: existe una percepción negativa de la medición inteligente implementada y no existe utilidad, su utilidad por parte es nula en más del 60% de la población.</p> <p>Normal: la percepción respecto a la medición inteligente es neutra y su utilidad por parte de los usuarios es baja con oportunidad de mejora.</p> <p>Bueno: la percepción respecto a la medición inteligente es buena y se encuentran aplicaciones que muestran adopción de esta tecnología sin generar un impacto positivo en el consumo en más del 60% de la población.</p> <p>Muy bueno: la percepción respecto a la medición inteligente es buena y se encuentran aplicaciones que muestran adopción de esta tecnología con impactos positivos en el consumo de electricidad en más del 85% de la población.</p>
Estándar o valores de referencia
Bueno
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Usuarios residenciales
Método de medición/estimación
El indicador se estima a partir de encuestas desarrolladas por algún ente designado por el gobierno local y/o la empresa suministradora del servicio encargada de la instalación de este tipo de dispositivos. Dicha encuesta debe ser aplicada para usuarios que cuentan con el dispositivo instalado por un periodo de entre 6 meses y 1 año. Esta encuesta debe contemplar preguntas que permitan evaluar la percepción por parte de los usuarios acerca de la medición inteligente en cuanto a su utilidad y los beneficios que ha traído esta para sus hábitos de consumo. Por otro lado, es importante encontrar en qué formas han adoptado los usuarios la información provista por la medición inteligente en su toma de decisiones y su vida cotidiana y si en efecto ha generado algún impacto en su consumo. Por último, es importante recoger un historial del consumo del usuario desde

el momento en el que se realizó la instalación con el fin de encontrar tendencias, ya sean positivas o negativas, en el consumo de todos los usuarios. De acuerdo con los resultados de la encuesta de cada usuario se hace una valoración acerca del grado de adopción y percepción de la medición inteligente desde los siguientes ámbitos: percepción, adopción a hábitos de consumo y toma de decisiones, impacto en el consumo mensual.
Formulación
Depende de la encuesta propuesta y cómo se integren los resultados de esta misma
Fuentes de información
· <i>Empresas proveedoras de energía y gas (Enel-Codensa, Gas Natural Vanti):</i> Las empresas suministradoras del servicio de electricidad y gas natural estarán a cargo de evaluar su labor de capacitación y adopción de estas tecnologías antes sus usuarios y reportar públicamente los resultados.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Es de importancia considerar los ámbitos de percepción, adopción a ámbitos de consumo y toma de decisiones, e impacto en el consumo mensual en la evaluación de este indicador con el fin de tener una visión integral de la medición inteligente en usuarios residenciales. - El diseño de una encuesta aplicable para los diferentes contextos posibles del país es necesario con el fin de que la evaluación de este indicador sea universal para cualquier macroproyecto/ciudad a la cual aplicar este indicador.

Tabla 49. Indicador Políticas locales orientadas a programas de eficiencia energética y gestión de la demanda

Nombre del indicador
Políticas locales orientadas a programas de eficiencia energética y gestión de la demanda
Categorización
Energía/Gestión de demanda
Descripción
Valoración de las políticas, regulaciones y/o campañas orientadas a la eficiencia energética y gestión de la demanda en el caso de estudio y su impacto de la demanda de energía
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico de la promoción de la eficiencia energética y gestión de la demanda para los diferentes sectores de consumo energético desde el punto de vista de las gobernaciones locales de cada ciudad. En la mayoría de los bancos indicadores presentados en literatura y formulados por ciudades alrededor del mundo este indicador se limita a cuantificar el número de políticas o regulaciones que existen en cada ciudad. Sin embargo, se considera que es a su vez importante considerar el impacto que dichas políticas ha generado alrededor de estos objetivos y evaluar si es necesario llevar a cabo un replanteamiento de estas.
Tipo de indicador
Cualitativo
Unidad de medida
<p>Muy malo: no existen políticas, regulaciones o campañas orientadas a eficiencia energética y/o gestión de la demanda, y no hay iniciativas para desarrollarlas.</p> <p>Malo: no existen políticas, regulaciones o campañas orientadas a eficiencia energética y/o gestión de la demanda, pero existen iniciativas para su desarrollo. Existen políticas, pero su impacto evaluado es contrario a sus objetivos o no existe respuesta por parte de la población objetivo.</p> <p>Normal: existen políticas, regulaciones o compañías orientadas a eficiencia energética y/o gestión de la demanda, pero no es claro cómo evaluar su impacto</p> <p>Bueno: existen políticas, regulaciones o compañías orientadas a eficiencia energética y/o gestión de la demanda y existe una metodología para evaluar su impacto. Se produce un impacto favorable en la aplicación de estas iniciativas.</p> <p>Muy bueno: existen políticas, regulaciones o compañías orientadas a eficiencia energética y/o gestión de la demanda y existe una metodología para evaluar su impacto. Se produce un impacto altamente favorable en la aplicación de estas iniciativas.</p>
Estándar o valores de referencia
Bueno
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación

Gobiernos locales.
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador
Formulación
Depende de la encuesta propuesta y cómo se integren los resultados de esta misma
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> · <i>Gobiernos locales:</i> proveen información respecto políticas, regulaciones y/o campañas orientadas a eficiencia energética que se encuentran vigentes y de expresar posibles iniciativas alrededor de estos tópicos. El monitoreo del impacto de esta política estará a cargo de este mismo ente o de algún ente interventor.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Este indicador está orientado más que todo a ciudades, mas no a macroproyectos a menos de que exista una clase de gobierno local en el macroproyecto que este en la capacidad de expedir este tipo de iniciativas.

Tabla 50. Indicador Autosuficiencia de energía eléctrica a través de recursos de energía distribuidos

Nombre del indicador
Autosuficiencia de energía eléctrica a través de recursos de energía distribuidos
Categorización
Energía/Recursos de energía distribuidos
Descripción
Fracción de los ingresos del hogar destinada al pago del servicio de aseo.
Objetivo
Proporción del consumo de energía eléctrica suministrado mediante recursos de energía distribuidos (generación fotovoltaica, eólica, cogeneración, almacenamiento, entre otros) localizados en el caso de estudio. Este indicador busca realizar un diagnóstico de la capacidad del macroproyecto de vivienda de suministrar sus propias necesidades energéticas de electricidad a través de recursos de energía distribuidos (DERs por sus siglas en inglés). Idealmente, se buscaría que estos recursos fueran renovables (fotovoltaico, cogeneración basada en biomasa) o no renovables pero limpios y altamente eficientes (cogeneración basada en gas natural).
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
30%
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Edificios residenciales del macroproyecto o ciudad
Método de medición/estimación
El indicador se estima midiendo la electricidad producida por todos los sistemas de generación de energía renovables/limpios que se encuentran dentro del perímetro del macroproyecto o ciudad en cuestión y dividiendo este valor por la medición de la demanda de electricidad en el macroproyecto. Estos dos datos medidos a lo largo de un año. En caso de que no existan medios para la medición de alguna de estas variables, es necesario estimarlas a través de una modelación energética tanto para la generación como para la demanda.
Formulación
Porcentaje de autosuministro eléctrico mediante recursos de energía distribuidos
$\%AS_{ELE,DER} = \frac{G_{ELE,DER}}{D_{ELE}} * 100$
En donde:
G_{DER} : Generación de energía eléctrica derivada de DERs en el área de análisis (kWh).

D_{ELE} : Demanda de electricidad en el área de análisis (kWh).
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Empresas proveedoras de energía</i>: Enel-Codensa. Los operadores de red pueden proveer una información precisa acerca de la demanda de electricidad para el área de análisis. - <i>Propietarios de los sistemas de los recursos de energía distribuidos</i>. Consulta de la generación de electricidad derivada de recursos de energía distribuidos a propietarios de estos sistemas, o información sobre el sistema para posterior modelación. - <i>Encuesta a ciudadanos en el área de análisis</i>: Consulta del consumo de electricidad a partir de los recibos como insumo para la modelación de la demanda en caso de que no se cuente con valores de medición
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Este indicador pertenece a una etapa avanzada de una ciudad sensible a la energía. Debido a ello, y considerando el estado de despliegue de generación renovable a nivel urbano en Colombia, se espera que la evaluación de este indicador sea baja. Sin embargo, considerando que los costos de capital, y operación y mantenimiento de recursos de energía distribuidos disminuirá a lo largo de los años, se espera un crecimiento de este indicador.

Tabla 51. Indicador Autosuficiencia de energía térmica a través de recursos de energía distribuidos

Nombre del indicador
Autosuficiencia de energía térmica a través de recursos de energía distribuidos
Categorización
Energía/Recursos de energía distribuidos
Descripción
Proporción del consumo de energía térmica suministrada mediante recursos de energía distribuidos (colectores solares, cogeneración, biomasa) localizados en el caso de estudio.
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico de la capacidad del macroproyecto de vivienda de suministrar sus propias necesidades energéticas térmicas a través de recursos de energía distribuidos (DERs por sus siglas en inglés). Idealmente, se buscaría que estos recursos fueran renovables o no renovables pero limpios y altamente eficientes.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
30%
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Edificios residenciales del macroproyecto o ciudad.
Método de medición/estimación
El indicador se estima midiendo la electricidad producida por todos los sistemas de generación de energía renovables/limpios que se encuentran dentro del perímetro del macroproyecto o ciudad en cuestión y dividiendo este valor por la medición de la demanda térmica en el macroproyecto. Dentro de las necesidades térmicas pueden considerarse aseo personal y cocción. Estos dos datos medidos a lo largo de un año. En caso de que no existan medios para la medición de alguna de estas variables, es necesario estimarlas a través de una modelación energética tanto para la generación como para la demanda.
Formulación
Porcentaje de autosuministro térmico mediante recursos de energía distribuidos
$\%AS_{TER,DER} = \frac{G_{TER,DER}}{D_{TER}} * 100$
En donde:
G_{DER} : Generación de energía térmica derivada de DERs en el área de análisis (kWh).
D_{TER} : Demanda de electricidad en el área de análisis (kWh).

Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Empresas proveedoras de energía y gas (Enel-Codensa, Gas Natural Vanti):</i> Las empresas suministradoras del servicio de electricidad y gas natural pueden proveer una información precisa acerca de la demanda de electricidad y gas de la población - <i>Propietarios de los sistemas de los recursos de energía distribuidos.</i> Consulta de la generación de electricidad derivada de recursos de energía distribuidos a propietarios de estos sistemas, o información sobre el sistema para posterior modelación. - <i>Encuesta a ciudadanos en el área de análisis:</i> Consulta del consumo de electricidad y gas a partir de los recibos como insumo para la modelación de la demanda en caso de que no se cuente con valores de medición. A su vez, a través de estas encuestas se pueden caracterizar los patrones de consumo de energía térmica a través del uso de electrodomésticos destinados a cocción y calentamiento de agua. -
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Este indicador pertenece a una etapa avanzada de una ciudad sensible a la energía. Debido a ello, y considerando el estado de despliegue de generación renovable a nivel urbano en Colombia, se espera que la evaluación de este indicador sea baja. Sin embargo, considerando que los costos de capital, y operación y mantenimiento de recursos de energía distribuidos disminuirá a lo largo de los años, se espera un crecimiento de este indicador.

Tabla 52. Indicador Porcentaje de sistemas de gestión de energía inteligente en prosumidores

Nombre del indicador
Porcentaje de sistemas de gestión de energía inteligente en prosumidores
Categorización
Energía/Gestión inteligente de energía
Descripción
Proporción de agentes definidos como prosumidores que cuentan con un sistema de gestión de energía a través del cual se puede establecer un canal de comunicación con el operador de red y otros prosumidores
Objetivo
Este indicador busca realizar un seguimiento de los sistemas de gestión de energía (EMS por sus siglas en inglés) con los que cuenta los prosumidores que se encuentran en el área de análisis. Para una ciudad sensible a la energía es fundamental contar con este tipo de sistemas de tal manera que se garantice un monitoreo permanente del estado de generación de cada DER así como el consumo de energía que tenga cada prosumidor. A su vez, al contar con un EMS, es posible garantizar la operación óptima de cada uno de los DERs asociados a cada prosumidor. Es importante que dicho DERs cuente con la capacidad de comunicarse con el operador de red y otros prosumidores de tal manera que se permita el intercambio de información entre estos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
50%
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Prosumidores en el área de análisis
Método de medición/estimación
<p>El indicador se estima recolectando información sobre los prosumidores y/o generadores distribuidos que se encuentran desplegados en el área de análisis. Sobre cada uno de estos se evaluará si cuentan con un sistema de gestión de energía que cumpla con las siguientes características</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo del estado de los diferentes dispositivos que componen el sistema de generación de energía y el estado de los consumidores. - Monitoreo y almacenamiento de la generación de DERs y el consumo de energía de consumidores conectados asociados al prosumidor. - Gestión óptima de los recursos disponibles por parte de los DERs asociados al prosumidor. - Capacidad de consultar información relacionada con los dos ítems anteriores de manera remota

- Capacidad de comunicación con otros agentes, ya sea con la operación de red y otros prosumidores, para el intercambio de información.
Formulación
<p>Porcentaje de EMS en prosumidores</p> $\%EMS = \frac{N_{EMS}}{N_{pros}} * 100$ <p>En donde: $\%EMS$: Porcentaje de sistemas de gestión de energía en prosumidores N_{EMS}: Número de prosumidores que cuentan con sistemas de gestión de energía N_{pros}: Número total de prosumidores en el área de análisis</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Operador de la red de distribución</i>: El operador de red puede proveer información acerca de los prosumidores y/o generadores distribuidos presentes en el área de análisis - <i>Prosumidores y/o generadores distribuidos</i>: a través de los prosumidores es posible evaluar sus sistemas de gestión de energía y evaluar los requerimientos necesarios para ser contabilizados en el indicador. -
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Este indicador requiere la existencia de generadores distribuidos de energía y/o prosumidores en el macroproyecto o ciudad que se esté evaluando. Si el caso de estudio no cuenta con este tipo de agentes, entonces toma un valor de 0%.

Tabla 53. Indicador Interconectividad de sistemas de energía

Nombre del indicador
Interconectividad de sistemas de energía
Categorización
Energía/Gestión inteligente de energía
Descripción
Nivel de interconectividad entre los diferentes sistemas de energía en el área de análisis definidos por prosumidores, generadores distribuidos y operador de red a través del cual una coordinación de la generación y consumo de energía a nivel de caso de estudio sea posible.
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico y seguimiento de la interconectividad de los diferentes sistemas de energía presentes en el área de análisis, específicamente aquellos agentes que tienen capacidades de generar y/o suministrar energía. La interconectividad se entiende como la existencia de una canal de comunicación a través del cual cada uno de los agentes puedan intercambiar información en tiempo real. Es a través de estos canales de comunicación a través de los cuales se pueden plantear estrategias de coordinación a través de las cuales se logre una gestión más eficiente de la energía a nivel global del caso de estudio.
Tipo de indicador
Cualitativo
Unidad de medida
<p>Muy malo: no existe nivel de interconectividad alguno entre sistemas de energía (operador de red, generadores distribuidos, prosumidores)</p> <p>Malo: existe interconectividad inferior al 50% entre agentes generadores distribuidos de energía (generadores distribuidos y prosumidores) y el operador de red. No existe interconectividad entre agentes generadores distribuidos de energía</p> <p>Normal: existe interconectividad superior al 50% entre agentes generadores distribuidos de energía y el operador de red. Existe interconectividad en un rango de 0% a 25% entre agentes generadores distribuidos de energía.</p> <p>Bueno: existe interconectividad superior al 75% entre agentes generadores distribuidos de energía y el operador de red. Existe interconectividad en un rango de 25% a 50% entre agentes generadores distribuidos de energía</p> <p>Muy bueno: existe interconectividad superior al 75% entre agentes generadores distribuidos de energía y el operador de red. Existe interconectividad superior al 50% entre agentes generadores distribuidos de energía.</p>
Estándar o valores de referencia
Normal

Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Generadores distribuidos y prosumidores
Método de medición/estimación
El indicador se estima realizando un censo a través de los diferentes agentes de generación distribuida (generadores distribuidos y prosumidores) presentes en el área de análisis. El objetivo de este censo es el de recolectar información acerca de si cuentan con algún canal de comunicación con el operador de red y/u otro prosumidor a través del cual exista un intercambio de información.
Formulación
<p>Porcentaje de interconectividad con el operador de red</p> <p>Se dice que existe interconectividad entre un prosumidor/generador distribuido y el operador de red si existe un canal de comunicación entre estos agentes a través del cual se intercambie información ya sea el estado de generación de los prosumidores/generadores o la energía exportable al operador de red.</p> $\%IC_{GD,OR} = \frac{N_{GD,OR}}{N_{GD}} * 100$ <p>En donde: $\%IC_{GD,OR}$: Porcentaje de interconectividad de agentes generadores distribuidos de energía con operador de red. $N_{GD,OR}$: Número de agentes generadores distribuidos de energía que cuentan con un canal de comunicación con el operador de red. N_{pros}: Número de agentes generadores distribuidos de energía.</p> <p>Porcentaje de interconectividad entre agentes distribuidos de energía</p> <p>Se dice que existe interconectividad entre prosumidores y/o generadores distribuidos si existe un canal de comunicación entre estos agentes a través del cual se intercambie información ya sea el estado de generación de los prosumidores/generadores o la energía exportable al operador de red. El nivel de interconectividad entre estos agentes se define como el número máximo de agentes que pueden ser interconectados entre sí en red, independiente de su interconexión con el operador de red.</p> $\%IC_{GD,INT} = \frac{N_{GD,INT}}{N_{GD}} * 100$ <p>En donde: $\%IC_{GD,INT}$: Porcentaje de interconectividad de agentes entre generadores distribuidos de energía. $N_{GD,OR}$: Número máximo de agentes que pueden ser interconectados en red a través de la interconectividad existente entre ellos. N_{pros}: Número de agentes generadores distribuidos de energía.</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Operador de la red de distribución</i>: El operador de red puede proveer información acerca de los prosumidores y/o generadores distribuidos presentes en el área de análisis - <i>Prosumidores y/o generadores distribuidos</i>: a través de los prosumidores es posible evaluar su nivel de interconectividad con el operador de red y/o el operador de red
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Este indicador corresponde requiere la existencia de generadores distribuidos de energía y/o prosumidores en el macroproyecto o ciudad que se esté evaluando. Si el caso de estudio no cuenta con este tipo de agentes, entonces toma un valor de Muy Malo. - Este indicador corresponde a una etapa avanzada de una ciudad sensible a la energía y ha sido propuesto bajo el contexto de una ciudad y redes inteligentes. A su vez se encuentra inspirado en el trabajo realizado por los <i>lighthouse projects</i> en ciudades europeas cuyo enfoque está orientado hacia los sistemas de energía, movilidad y telecomunicaciones para los cuales se han planteado indicadores similares a este. El planeamiento de la formulación y evaluación de este indicador son propuestos por el equipo de este proyecto; sin embargo, debido a que es un indicador inspirado en casos de éxito de otros proyectos como los previamente mencionados, su formulación y unidad de medida están abiertos a retroalimentación,

Tabla 54. Indicador Interoperabilidad

Nombre del indicador
Interoperabilidad
Categorización
Energía/Gestión inteligente de energía
Descripción
Nivel de interoperabilidad entre los sistemas de energía (o productos) con otros sistemas (o productos) correspondientes a otros sectores de la microciudad. Interoperabilidad entendida como el intercambio de servicios entre los sistemas de energía y sistemas de otros sectores tal que se permita una operación conjunta más eficiente
Objetivo
Este indicador busca evaluar el nivel de interoperabilidad existente entre el sector energía con otros sectores presentes en este proyecto, en el área de análisis. Interoperabilidad se entiende como la capacidad de un sistema de cooperar con otros sistemas para compartir recursos o mejorar la eficiencia en operación de dichos sistemas. Interoperabilidad puede verse desde diversos niveles en un macroproyecto de vivienda o en una ciudad. Puede encontrarse interoperabilidad desde el nivel del usuario hasta la planeación y la operación misma de los sistemas de cada sector.
Tipo de indicador
Cualitativo
Unidad de medida
<p>Muy malo: no se identifica interoperabilidad alguna del sector energía con otros sectores.</p> <p>Malo: existen propuestas orientadas a promover la interoperabilidad, o proyectos enfocados a establecer interoperabilidad del sector energía con otros sectores.</p> <p>Normal: se identifica interoperabilidad del sector energía con al menos un sector, pero no se identifican de manera cualitativa ni cuantitativa los beneficios que surgen de esta.</p> <p>Bueno: se identifica interoperabilidad del sector energía con al menos un sector y es posible demostrar de manera cuantitativa los beneficios que surgen de esta.</p> <p>Muy bueno: se identifica interoperabilidad del sector energía con múltiples sectores y es posible demostrar de manera cuantitativa los beneficios que surgen de esta.</p>
Estándar o valores de referencia
Normal
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Caso de estudio (macroproyecto, ciudad)
Método de medición/estimación
El indicador se estima a través de un censo a los diferentes actores relacionados con el sector energía a través del cual se busca identificar la existencia de interoperabilidad del sector energía con otros sectores y la posibilidad de identificar los beneficios que esta trae de manera cuantitativa y cualitativa. A su vez, se pueden identificar actores de otros sectores a través de los cuales se puede identificar interoperabilidad con el sector energía.
Formulación
No aplica
Fuentes de información
No aplica
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
- Este indicador inspirado en el trabajo realizado por los <i>lighthouse projects</i> en ciudades europeas cuyo enfoque está orientado hacia los sistemas de energía, movilidad y telecomunicaciones para los cuales se han planteado indicadores similares a este. El planeamiento de la formulación y evaluación de este indicador son propuestos por el equipo de este proyecto; sin embargo, la metodología propuesta está abierta a retroalimentación.

A.2.4. Fichas indicadores sector gestión de residuos

Tabla 55. Asequibilidad del servicio de aseo

Nombre del indicador
Asequibilidad del servicio de aseo
Categorización
Residuos/Gestión de residuos
Descripción
Fracción de los ingresos del hogar destinada al pago del servicio de aseo.
Objetivo
Busca medir el porcentaje de los ingresos de un hogar que se ocupan en el pago de la gestión de los residuos generados, la limpieza de vías, barrido y poda y corte de césped.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Entre 1 y 1.5% de los ingresos del hogar [67].
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Hogares del proyecto de vivienda estudiado.
Método de medición/estimación
El indicador se estima dividiendo el valor promedio de tarifa mensual pagada por suscriptor por el servicio de aseo sobre el ingreso mensual promedio del hogar.
Formulación
$\text{Asequibilidad (\%)} = \frac{\text{Tarifa mensual del servicio de aseo por hogar (\$)}}{\text{Ingreso mensual del hogar (\$)}} * 100$
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Tarifa mensual del servicio de aseo por hogar:</i> Recibos de pago del servicio de aseo de los habitantes, información de la empresa de aseo que cubre el proyecto de vivienda de interés. - <i>Ingreso mensual del hogar:</i> Información primaria recolectada con los habitantes del proyecto de vivienda o estimación mediante datos de encuestas de gastos e ingresos para el municipio.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - La medición de asequibilidad respecto al ingreso total puede complementarse con la comparación del gasto en el servicio de aseo comparado con el ingreso libre de hogares descontando el pago de gastos básicos. Los gastos básicos de los hogares se definieron para este estudio como los correspondientes a arriendo, electricidad, gas, telefonía, alimentos y bebidas no alcohólicas, vestuario, salud, transporte, educación y acueducto y alcantarillado. - Los valores de ingreso y de pago por el servicio de aseo son promediados, lo que puede ocultar diferencias en la asequibilidad si existen, por ejemplo, diversos estratos económicos dentro del proyecto de vivienda estudiado [68].

Tabla 56. Nivel de cumplimiento de derechos laborales

Nombre del indicador
Nivel de cumplimiento de los derechos laborales
Categorización
Residuos/Gestión de residuos
Descripción
Porcentaje de trabajadores de todas las etapas de la gestión de residuos que cuentan con afiliación a Aseguradora de Riesgos Laborales (ARL).
Objetivo

Busca cuantificar el cumplimiento de los derechos laborales, representado en la afiliación a Aseguradora de Riesgos Laborales (ARL), como una medida de las condiciones mínimas que garantizan el bienestar de los trabajadores en todas las etapas de la gestión de residuos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Meta nacional a 2030 para el total de la población ocupada: 48% [69]
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población trabajadora en todas las etapas de gestión de los residuos generados en el proyecto de vivienda de estudio.
Método de medición/estimación
El indicador debe estimarse a partir de información sobre los trabajadores participantes en todas las etapas de la gestión de todos los tipos de residuos generados en el proyecto de estudio, especialmente en las fases de recolección, reutilización del producto, aprovechamiento material, valorización energética, pre-tratamiento y disposición final. Esta información se obtiene de los registros de las empresas involucradas y censos realizados por la administración local.
Formulación
$\% \text{ Trabajadores afiliados ARL} = \frac{\# \text{ trabajadores afiliados ARL}}{\# \text{ Total trabajadores gestión de residuos}} * 100$
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Trabajadores afiliados a ARL:</i> Censo de recicladores del lugar de ubicación del proyecto de estudio, empresas prestadoras de servicios de recolección, empresas operadoras de sitios de disposición final, empresas de aprovechamiento material, térmico y biológico. - <i>Total trabajadores gestión de residuos:</i> Censo de recicladores del lugar de ubicación del proyecto de estudio, empresas prestadoras de servicios de recolección, empresas operadoras de sitios de disposición final., empresas de aprovechamiento material, térmico y biológico.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - La medición del nivel de cumplimiento de derechos laborales, a través del porcentaje de trabajadores afiliados a ARL, es una aproximación MÍNIMA a las condiciones de empleo que garanticen el bienestar de los participantes de la gestión de residuos en los proyectos de vivienda. De acuerdo con GRI y UN Global Compact [70], la medición de la meta 8.8 del ODS 8 (<i>Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y sin riesgos para todos los trabajadores</i>) puede realizarse a través de indicadores relacionados con salud ocupacional (i.e. tasas de frecuencia de lesiones ocupacionales), libertad de asociación y negociación colectiva, entre otros. - El carácter informal de algunas de las actividades de la gestión de residuos dificulta la consecución de la información de afiliación a ARL de los trabajadores, por lo que algunos actores pueden resultar siendo excluidos en la estimación.

Tabla 57. Cobertura de recolección domiciliaria de residuos sólidos

Nombre del indicador
Cobertura de recolección domiciliaria de residuos sólidos
Categorización
Residuos/Gestión de residuos/Recolección de residuos
Descripción
Porcentaje de hogares con servicio de recolección de residuos sólidos domiciliarios.
Objetivo
Medir la cantidad de hogares cubiertos por el servicio de recolección de residuos, en este caso de origen domiciliario, considerando la recolección como factor determinante para la gestión de los residuos ya sea mediante algún tipo de aprovechamiento o disposición final.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida

Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Meta nacional a 2022: 99.9% de hogares en zona urbana[71]
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Unidades de vivienda del proyecto estudiado.
Método de medición/estimación
A través de información de la empresa de aseo del municipio donde se encuentre el proyecto en estudio puede estimarse las zonas, conjuntos residenciales o unidades de vivienda que se encuentran cubiertas por el servicio de recolección de residuos de origen domiciliario.
Formulación
$\% \text{ Cobertura de recolección domiciliaria} = \frac{\# \text{ Viviendas con recolección de residuos}}{\# \text{ Viviendas caso de estudio}} * 100$
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Viviendas con recolección de residuos domiciliarios</i>: Empresa de aseo del municipio, Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio donde se encuentre el proyecto de interés. - <i>Viviendas caso de estudio</i>: Información aportada por constructores, censos de población y vivienda.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Este indicador incluye la recolección realizada por empresas recolectoras de residuos y también por población que realiza la actividad de recolección de manera informal. La recolección puede realizarse puerta a puerta en las viviendas o también por medio de contenedores comunitarios [72]. La evaluación de este indicador cobra mayor importancia en casos de estudio con zonas de difícil acceso en las que la ausencia de recolección puede provocar prácticas como la quema a cielo abierto de residuos o la disposición en fuentes de agua. - El indicador planteado contempla la cobertura de recolección de residuos solamente de tipo domiciliario, sin embargo, podría evaluarse la cobertura de recolección de otros tipos de residuos, por ejemplo, residuos peligrosos o residuos de construcción y demolición.

Tabla 58. Porcentaje de residuos dispuestos adecuadamente

Nombre del indicador
Porcentaje de residuos dispuestos adecuadamente
Categorización
Residuos/Gestión de residuos/Disposición final
Descripción
Fracción de los residuos generados en el proyecto de estudio que se disponen adecuadamente, Se considera como disposición final <i>adecuada</i> la realizada en rellenos sanitarios, planta integral o celda de contingencia. Por el contrario, la disposición en celda transitoria, botadero, enterramiento, vertimiento a cuerpos de agua y quema de los residuos sólidos no se considera adecuada[73]. En el caso de los rellenos sanitarios, estos deben contar con sistemas de recolección y tratamiento de lixiviados y quema de gas residual [74].
Objetivo
Este indicador busca medir el porcentaje de residuos de todos los tipos con disposición final adecuada con respecto al total de los residuos generados.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Meta nacional a 2030: 100% [69].
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Residuos generados por los habitantes del proyecto de vivienda de estudio

Método de medición/estimación
Se estima el indicador de acuerdo con la información acerca de sitios de disposición final de residuos reportada por la empresa prestadora de servicio de aseo o por el municipio donde se encuentra el proyecto de interés.
Formulación
$\% RDFA = \frac{R DFA}{RG} * 100$
$R DFA: Residuos con Disposición Final Adecuada \left(\frac{t}{año} \right); RG: Residuos Generados \left(\frac{t}{año} \right)$
Fuentes de información
- <i>Residuos con Disposición Final Adecuada y Residuos Generados:</i> Sistema Único de Información de Servicios Públicos SUI, PGIRS actualizado del municipio donde está ubicado el proyecto de estudio, información empresa prestadora de servicio de aseo.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - A pesar de que este indicador evidencia la cantidad de residuos que son dispuestos en sitios <i>adecuados</i>, omite la calidad de los sitios de disposición final y también la cantidad de residuos potencialmente aprovechable que es enviada a disposición final sin ningún tipo de aprovechamiento ni valorización previa. - Para la cuantificación de este indicador se debe tener en cuenta la cobertura de recolección de residuos; si la cobertura en el sitio de interés no es total, es necesario considerar los residuos generados que no son objeto del servicio de recolección y su forma disposición. - Para la expresión de este indicador en términos de emisiones de CO_{2eq}, se debe recordar que, aunque el aporte de emisiones de GEI de algunos materiales dispuestos en los rellenos es muy bajo (i.e. Residuos de Construcción y Demolición no reciclados ni reutilizados), el impacto se atribuye principalmente al transporte al sitio de disposición y a la necesidad de extraer nuevos materiales[75].

Tabla 59. Cobertura de recolección diferenciada de residuos sólidos

Nombre del indicador
Cobertura de recolección diferenciada de residuos sólidos
Categorización
Residuos/Gestión de residuos/Recolección de residuos
Descripción
Porcentaje de hogares con servicio de recolección diferenciada de residuos sólidos domiciliarios.
Objetivo
Medir la cantidad de hogares cubiertos por el servicio de recolección diferenciada de residuos en la que se recolecte de manera separada el material aprovechable y el que será llevado a disposición final.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
100%
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Unidades de vivienda del proyecto estudiado.
Método de medición/estimación
A través de información de la empresa de aseo del municipio donde se encuentre el proyecto en estudio puede estimarse las zonas, conjuntos residenciales o unidades de vivienda que se encuentran cubiertas por el servicio de recolección diferenciada de residuos de origen domiciliario.
Formulación
$\% Cobertura de recolección diferenciada = \frac{\# Viviendas con recolección diferenciada de residuos}{\# Viviendas caso de estudio} * 100$
Fuentes de información

- <i>Viviendas con recolección diferenciada de residuos:</i> Empresa de aseo del municipio, Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio donde se encuentre el proyecto de interés.
- <i>Viviendas caso de estudio:</i> Información aportada por constructores, censos de población y vivienda.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
- La medición de cobertura de recolección diferenciada como estrategia para incrementar el aprovechamiento de residuos puede complementarse a través de la estimación de otros indicadores como la cantidad de fracciones de residuos recolectadas separadamente, la tasa de captura mediante recolección diferenciada de diferentes materiales (i.e. vidrio, papel, plástico, metal, residuos rápidamente putrescibles), implementación de sistema de tarifa pay-as-you-throw (PAYT), entre otros [76]

Tabla 60. Porcentaje de residuos aprovechados

Nombre del indicador
Porcentaje de residuos aprovechados
Categorización
Residuos/Gestión de residuos/Aprovechamiento de residuos
Descripción
Fracción aprovechada de los residuos potencialmente aprovechables que son generados en el proyecto de interés.
Objetivo
El indicador busca medir el porcentaje de residuos aprovechados con respecto al total de residuos potencialmente aprovechables por cada tipo de residuo generado en el proyecto de estudio. Este valor puede evidenciar la necesidad de intervención para aumentar el aprovechamiento de determinado tipo de residuo potencialmente aprovechable.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Meta Unión Europea para antes de 2025: 60% en peso para todos los residuos mencionados excluyendo RESPEL, todos de PTAR y RCD [77]. Meta Unión Europea para antes de 2020: 70% en peso para los RCD no peligrosos [77].
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Residuos generados por los habitantes del proyecto de vivienda en estudio
Método de medición/estimación
Mediante recolección de información primaria o a partir de datos tomados para el municipio, se determina la cantidad de residuos potencialmente aprovechables que dentro del proyecto de vivienda de interés. Por otro lado, se emplean datos de residuos aprovechados mediante todas las alternativas existentes para el aprovechamiento de los residuos generados en el sitio de interés.
Formulación
$\% RSU_A = \frac{RSU_A}{RSU_{PA}} * 100 \quad \% RESPEL_A = \frac{RESPEL_A}{RESPEL_{PA}} * 100 \quad \% RM_A = \frac{RM_A}{RM_{PA}} * 100$ $\% RGE_A = \frac{RGE_A}{RGE_{PA}} * 100 \quad \% RCD_A = \frac{RCD_A}{RCD_{PA}} * 100$
Donde:
<i>Subíndice A: Se refiere a los residuos APROVECHADOS;</i>
<i>Subíndice PA: Se refiere a los residuos POTENCIALMENTE APROVECHABLES.</i>
<i>RSU: Residuos Sólidos Urbanos(t); RESPEL: Residuos Peligrosos(t);</i>
<i>RM: Residuos Municipales(t);</i>
<i>RGE: Residuos de Gestión Especial (t); RCD: Residuos de Construcción y Demolición(t).</i>
Fuentes de información

<ul style="list-style-type: none"> - <i>Residuos Sólidos Urbanos Aprovechados y Potencialmente Aprovechables</i>: Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) actualizados de cada municipio. Censo de recicladores, información de bodegas, centros de acopio y estaciones de clasificación y aprovechamiento, Sistema Único de Información de Servicios Públicos SUI. - <i>Residuos Peligrosos Aprovechados y Potencialmente Aprovechables</i>: Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos a nivel nacional. - <i>Residuos Municipales Aprovechados y Potencialmente Aprovechables</i>: PGIRS actualizado de cada municipio. Información Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) receptora del agua residual generada por el proyecto de estudio. - <i>Residuos de Gestión Especial Aprovechados y Potencialmente Aprovechables</i>: Información programas posconsumo Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI). - <i>Residuos de Construcción y Demolición Aprovechados y Potencialmente Aprovechables</i>: PGIRS actualizado de cada municipio, información de empresas constructoras y empresa de aseo del municipio.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - El aprovechamiento de los residuos mencionados puede ser de tipo térmico, biológico, de material o mediante reutilización. - Los Residuos Municipales (RM) incluyen los residuos generados por la prestación de servicios municipales como el tratamiento de agua residual y la poda de árboles y césped. Los Residuos de Gestión Especial (RGE) incluye residuos que, por sus características, requieren un manejo diferenciado al de los residuos sólidos urbanos, como las llantas usadas, colchones y residuos voluminosos. - Los Residuos Peligrosos Potencialmente Aprovechables se cuantificarán de acuerdo con las <i>Principales corrientes de residuos peligrosos que son gestionadas por medio del aprovechamiento y/o valorización por el generador y por terceros determinadas por el IDEAM</i>[78].

Tabla 61. Generación de residuos domiciliarios per cápita

Nombre del indicador
Generación de residuos domiciliarios per cápita
Categorización
Residuos/Gestión de residuos/Reducción en la fuente
Descripción
Cantidad de residuos domiciliarios generados por persona al año en el proyecto de estudio.
Objetivo
Cuantificar la cantidad de residuos generados por habitantes del proyecto para identificar requerimientos de intervención y monitorear los resultados de medidas enfocadas a la disminución de residuos desde la fuente.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
kg/persona/año
Estándar o valores de referencia
Menos de 360 kg/habitante/año [79].
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Habitantes del proyecto de vivienda de estudio.
Método de medición/estimación
El indicador requiere la medición de la generación de residuos en las viviendas del proyecto de interés. En el marco de la formulación del PGRIS para los municipios se realiza esta medición, por lo que, en caso de no contar con datos específicos de generación para el proyecto de vivienda analizado, puede emplearse la información recolectada para el municipio.
Formulación
$\text{Generación de residuos} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab} * \text{año}} \right) = \frac{\text{Generación total de residuos} \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)}{\text{Número de habitantes}}$
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Generación total de residuos</i>: PGIRS actualizado del municipio. - <i>Número de habitantes</i>: Censos de población DANE, información DANE o constructores sobre tamaño del hogar y viviendas construidas en el proyecto de interés.

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Para la formulación de alternativas para la gestión de residuos, la medición de la cantidad de residuos per cápita puede complementarse con la estimación de la composición de los residuos generados, identificando oportunidades para la reducción de generación de ciertos materiales o el potencial aprovechamiento de otros. - En caso de estudiar proyectos de vivienda, al basar el resultado del indicador en las mediciones y caracterizaciones realizadas para los residuos del municipio en el que se encuentra el proyecto de interés, es posible que los valores para el municipio presenten diferencias respecto a las características específicas del proyecto de vivienda analizado. - Cuando no se cuente con mediciones de residuos generados, puede realizarse una aproximación con datos de residuos recolectados, sin embargo, debe tenerse en cuenta que en muchos casos no todos los residuos generados son recolectados por la empresa de aseo encargada, por lo que debe informarse claramente esta limitación al realizar de esta forma la estimación del indicador[68].

Tabla 62. Compras sostenibles en entidades públicas

Nombre del indicador
Compras sostenibles en entidades públicas
Categorización
Residuos/Gestión de residuos/Reducción en la fuente
Descripción
Porcentaje de entidades públicas con participan dentro del proyecto de interés que implementan dentro de sus procesos de compra y contratación criterios de sostenibilidad.
Objetivo
El indicador busca cuantificar el porcentaje de entidades públicas que adoptan políticas de sostenibilidad, ambientales y de consumo responsable en sus procesos de compras y contratación de bienes y servicios, que sirvan como catalizador de negocios verdes y de desarrollo de productos con menor impacto ambiental.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
%
Estándar o valores de referencia
Para 2020, 80% de las entidades públicas (Ministerios Nacionales y Autoridades Ambientales regionales y urbanas) utilizan los pasos de la guía para la implementación de las Compras Públicas Sostenibles[78]. Meta nacional de compras verdes para 2019: 30% del costo total de las compras estatales de orden nacional y regional [80].
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Entidades públicas con participación en el proyecto de estudio
Método de medición/estimación
La estimación del indicador requiere información sobre las entidades públicas con participación dentro del proyecto de vivienda en estudio y sobre si estas entidades adoptan políticas de sostenibilidad, ambientales y de consumo responsable en sus procesos de compras y contratación. Dependiendo la disponibilidad de información, es deseable complementar el indicador con el porcentaje de compras públicas sostenibles en términos monetarios sobre el valor total de compras de entidades estatales que intervienen en el proyecto de estudio.
Formulación
$\% \text{ Compras Sostenibles en Entidades Públicas} = \frac{\# \text{ ECS}}{\# \text{ Total entidades públicas}} * 100$ <p style="text-align: center;"><i>ECS = Entidades con Compras Sostenibles</i></p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Información Sistema de Compra Pública de Colombia – Colombia Compra Eficiente - Informe <i>Consumo Sostenible</i> enviado semestralmente por las entidades públicas distritales a la Secretaría de Ambiente de Bogotá a través de la plataforma STORM.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

- En el marco colombiano, una compra sostenible de bienes y servicios considera aspectos ambientales (uso eficiente de recursos naturales a lo largo del ciclo de vida del producto), aspectos económicos (principios de eficacia, eficiencia, oportunidad y transparencia), y aspectos sociales (vanguardia en procesos de producción y/o suministro)[78].
- Para el caso de Bogotá, la información disponible en el Observatorio Ambiental de Bogotá corresponde al “número de entidades públicas distritales que han incluido cláusulas ambientales más allá del cumplimiento normativo en sus procesos de compras y contratación para los bienes y/o servicios transversales a todas las entidades”[81]. Sin embargo, esta cuantificación omite el tamaño del gasto en bienes y servicios de la entidad. Un indicador que muestra de forma ponderada las compras verdes en las entidades públicas es el porcentaje de compras sostenibles en entidades públicas del total del gasto público en términos de valor monetario[82]. Para esta estimación, se requiere información para cuantificar el costo de las compras verdes por cada entidad pública con participación en el proyecto de estudio.
- Las compras públicas sostenibles constituyen una medida de prevención y reducción de residuos desde la fuente, debido al alto nivel de consumo del Estado: en el caso de Colombia, fue el responsable del 15.28% de las adquisiciones en el país en 2018[83]. La implementación de criterios ambientales para la compra pública de bienes y servicios contribuye al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad a nivel internacional, nacional, regional y local; además, las compras públicas sostenibles promueven la innovación en los productores e industria para que desarrollen bienes y servicios con menor impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida[84].

Tabla 63. Desperdicio evitable de alimentos per cápita

Nombre del indicador
Desperdicio evitable de alimentos per cápita
Categorización
Residuos/Gestión de residuos/Reducción en la fuente
Descripción
Cantidad de alimentos desperdiciados que fueron comestibles (desperdicio evitable) en las etapas de distribución y consumo normalizado por persona.
Objetivo
Cuantificar el desperdicio evitable de alimento per cápita atribuido a la etapa de distribución y en el consumo, lo que permitiría identificar los puntos críticos en la generación de residuos de alimentos y formular estrategias para la reducción del desperdicio.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
kg/persona/año
Estándar o valores de referencia
Meta nacional para 2030: Reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita en la venta al por menor y a nivel de los consumidores [85] [69], es decir, 16 kg per cápita/año para consumo en hogares (basado en valores de desperdicio de alimento para Colombia en 2016[86]).
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Centrales de abastecimiento, pequeños distribuidores que proveen alimento a los habitantes y hogares del proyecto de vivienda de estudio.
Método de medición/estimación
Existen varias formas de estimación del indicador dependiendo la información y recursos disponibles. Pueden emplearse métodos de análisis de composición de residuos generados, balance de masas, diarios o bitácoras, medición directa de los alimentos desechados, encuestas o encuestas, entre otros[87]. Para el caso de la estimación del desperdicio en fase de distribución, se propone realizar el cálculo de la cantidad de alimento mediante datos de porcentaje de desperdicio a partir de entrevistas en centrales de abastecimiento y pequeños distribuidores de alimentos. Para normalizar este valor por el número de compradores, se emplea datos de cantidad de alimentos vendidos sobre cantidad de alimentos comprados por persona (con información de gasto mensual en diferentes tipos de alimentos). Para la estimación del desperdicio en la etapa de consumo se propone la cuantificación a partir de porcentajes medidos de alimento comestible y la generación de residuos domiciliarios per cápita.
Formulación

$$DD = \sum \frac{DCD_{i,t}}{\# \text{compradores}_{i,t}}$$

$$\# \text{compradores}_{i,t} = \frac{\text{Cantidad vendida}_{i,t}}{\text{Gasto mensual per cápita}_{i,t} * \frac{12}{\text{Precio por kg}_{i,t}}}$$

$$DC = \% RSD_{\text{alimento},t} * \text{generación RSD per cápita}_t$$

Donde:

$$DD: \text{Desperdicio en Distribución} \left(\frac{\text{kg}}{\text{persona} * \text{año}} \right),$$

$$DC: \text{Desperdicio en Consumo} \left(\frac{\text{kg}}{\text{persona} * \text{año}} \right), DCD: \text{Desperdicio Centros de Distribución} \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)$$

RSD: Residuos Sólidos Domiciliarios; RSD_{alimento}: Residuos Sólidos Domiciliarios provenientes de alimentos aptos para el consumo; i: tipo de alimento; t: año de estudio

Fuentes de información

- *Desperdicio en Centros de Distribución de alimento tipo i en el año t (DCD_{i,t}); Cantidad Vendida de alimento tipo i en el año t (Cantidad vendida_{i,t}) y Precio por kg de alimento tipo i en el año t (Precio por kg_{i,t}):* Entrevistas en centrales de abastecimiento y pequeños distribuidores de alimentos.
- *Gasto mensual per cápita en la compra del alimento tipo i en el año t:* Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos – DANE.
- *Porcentaje de Residuos Sólidos Domiciliarios provenientes de alimentos comestibles y Generación Residuos Sólidos Domiciliarios per cápita:* Caracterización de residuos sólidos domiciliarios provista por alcaldías o autoridades ambientales del sitio de ubicación del proyecto de estudio. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) actualizado del municipio.

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

- El impacto ambiental asociado con la pérdida y desperdicio de alimentos está comprendido en todas las etapas de la producción y consumo (pérdidas en la producción agropecuaria, en la poscosecha y almacenamiento y en el procesamiento industrial y desperdicios en distribución y del consumidor)[86]. Para fines del presente estudio, enfocado en macroproyectos de vivienda o microciudades, y, asumiendo que la producción y procesamiento de alimentos ocurre fuera de los proyectos de vivienda, el indicador propuesto sólo tendrá en cuenta el desperdicio de alimento generado en la etapa de distribución y en el consumo en hogares.
- En la mayoría de estudios, el indicador de desperdicio de alimento tiene en cuenta, por un lado, la comida que fue apta para el consumo humano en algún momento antes de la disposición final y, por otro lado, la comida que no fue comestible en ningún punto y que se obtiene como residuo de la preparación (como huesos, cáscaras de huevo, vainas, etc.). La gestión de residuos puede apuntar a la disminución del desperdicio de alimentos comestibles, sin embargo, los residuos de la preparación de comida seguirán generándose inevitablemente, por lo que el presente indicador mide el desperdicio de alimento EVITABLE, o comida que fue apta para consumo[88].
- La Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos del DANE, fuente de información para el cálculo del desperdicio per cápita en etapa de distribución, presenta valores de gastos mensuales por persona en las diferentes clases de alimento a nivel nacional y también discriminados a nivel de cabecera municipal y a nivel del resto del país. Por lo anterior, los valores de la encuesta pueden no estar completamente ajustados al consumo real de los habitantes del proyecto en estudio; de igual forma, la última encuesta disponible es de los años 2006-2007, por lo que se requeriría valores actualizados para la estimación de los gastos con menor incertidumbre.
- El desperdicio de alimento puede expresarse, además de en unidades de peso, en términos de uso de energía y emisiones de GEI. Para esta cuantificación se tiene en cuenta, por un lado, las emisiones de CH₄ provenientes de la agricultura y de la descomposición de los alimentos desperdiciado. Por otro lado, se considera las fuentes de combustión, como el CO₂, generados por la combustión de combustibles para la generación de energía durante todo el ciclo de vida del producto desperdiciado[89].
- A pesar de requerir bajo nivel de recursos, los balances de masa como método para estimar el desperdicio de alimento tienen niveles de precisión menores que métodos como la medición directa o el análisis de la composición de los residuos [87].

Tabla 64. Emisiones de CO₂-eq por gestión de residuos

Nombre del indicador
Emisiones de CO ₂ -eq por gestión de residuos
Categorización
Residuos/Gestión de residuos
Descripción
Cantidad de GEI por habitante emitidos por la gestión de residuos generados en el proyecto de interés.
Objetivo
Cuantificar las emisiones per cápita de GEI generadas por la gestión de residuos del proyecto de interés, teniendo en cuenta todos los flujos de residuos y fuentes de emisión asociadas.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
t CO ₂ -eq /persona/año
Estándar o valores de referencia
-
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Instalaciones de gestión de residuos generados en el proyecto de estudio.
Método de medición/estimación
La estimación del indicador depende de las fuentes de emisión consideradas dentro del cálculo. En la sección de Formulación se muestra el cálculo de las emisiones por la descomposición anaerobia en el relleno sanitario y por la quema de combustibles en el transporte de los residuos.
Formulación
<p>Emisiones por descomposición de residuos en el relleno sanitario:</p> $DDOC_m = W * DOC * DOC_f * MCF$ <p><i>Siendo:</i> DDOC: carbono orgánico degradable disuelto; DDOC_m: Masa de DDOC dispuesto en el relleno (t); W: masa de residuos dispuestos (t); DOC: Fracción de carbono orgánico degradable (t de C/ t de residuo); DOC_f: Fracción de DOC que puede descomponerse (%); MCF: Factor de corrección de CH₄ por descomposición aeróbica (%).</p> $DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} * e^{-k})$ $DDOCm_{descomp_T} = DDOCma_{T-1} * (1 - e^{-k})$ <p><i>Donde:</i> T: año de inventario; DDOCma_T: Masa de DDOC acumulado en el relleno al final del año T (t); DDOCma_{T-1}: Masa de DDOC acumulado en el relleno al final del año T-1 (t); DDOCmd_T: Masa de DDOC dispuesta en el relleno durante el año T (t); DDOCm_{descomp_T}: Masa de DDOC degradado en el relleno durante el año T (t); k: constante de reacción.</p> $CH_4generado_T = DDOCm_{descomp_T} * F * \frac{16}{12}$ <p><i>Donde:</i> CH₄generador: CH₄ generado por la degradación de material; DDOCm_{descomp_T}: Masa de DDOC degradado en el año T (t); F: Fracción volumétrica de CH₄ en el gas generado por el relleno; 16/12: cociente de pesos moleculares CH₄/C.</p> $Emisiones\ CH_4 = \left(\sum CH_4\ generado_{x,T} - R_T \right) * (1 - OX_T)$ <p><i>Siendo:</i> Emisiones de CH₄: CH₄ emitido durante el año; T (t); T: año del inventario; x: tipo de residuo; R_T: CH₄ recuperado en el año T (t); OX_T: factor de oxidación durante el año T (%).</p> <p>Emisiones por transporte de residuos:</p> $\frac{Emisiones\ GEI}{año} = \sum \left(\frac{RS}{u_{cap} * C_m} * (d_{int} + 2 * d_{ext}) * \frac{1}{RCP} * \frac{3.78\ L}{gal} * \rho_c * LHV \right) * \frac{FE_i * GWP_i}{10^{12}}$

i corresponde a cada uno de los GEI emitidos

Donde: C_m: Capacidad promedio camiones en masa (ton); d_{int}: Recorrido interno aproximado (km); d_{ext}: Distancia desde la fuente de generación hasta el sitio de tratamiento (km); RCP: Rendimiento combustible promedio (km/gal); RS: Residuos transportados en el año base (ton/año); u_{cap}: Uso capacidad de camiones (%); P_c: Densidad combustible (kg/L); LHV: Poder Calorífico Inferior combustible (kJ/kg); FE_i: Factor de emisión del gas i del combustible (kg/TJ); GWP_i: Potencial calentamiento global del gas i.

Fuentes de información

- *Información cálculo de emisiones relleno sanitario:* *DOC, DOC_rMCF, F, OX: Valores estándar IPCC [90] o información específica para el caso de estudio si existen mediciones. *Constante de reacción k: Valores del IPCC [90] de acuerdo a condiciones meteorológicas del sitio de estudio reportadas por el IDEAM.*R_r: Información sobre metano recuperado en el sitio de disposición final de los residuos generados en el caso de estudio.
- *Información cálculo de emisiones por transporte:* *Tipo de combustible, capacidad del vehículo, rendimiento de combustible: Datos de vehículos utilizados para la recolección y transporte de los residuos obtenidos de la empresa de aseo del municipio o a partir de información del fabricante de los vehículos. *Densidad, poder calorífico inferior y factores de emisión del combustible empleados: FECOC [91]. *Potencial de calentamiento global: Datos del IPCC.

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

- El cálculo de las emisiones en el relleno en este caso se basa en el método para inventarios nacionales, en el que se reportan las emisiones en el año en que están siendo liberadas a la atmósfera. Sin embargo, la aproximación de las emisiones puede realizarse con un enfoque de análisis de ciclo de vida, en el que las emisiones atribuidas a un año son las producidas durante todo el periodo de descomposición de los residuos dispuestos en ese año de estudio.
- La normalización del indicador respecto al número de habitantes presenta limitaciones frente a algunos de los flujos de residuos tenidos en cuenta para el cálculo del indicador pues no dependen directamente de la cantidad de habitantes del proyecto sino de otros factores como el área, por ejemplo, la cantidad de residuos de construcción de las viviendas (t RCD/m² construidos) o los residuos de poda y corte de césped (t residuos/m² de área verde – t residuos/árbol podado).
- El indicador de emisiones por la gestión de residuos podría normalizarse también por cantidad de residuos gestionados. Dado que la generación de GEI depende de la composición de los residuos analizados, se sugiere aclarar el tipo de residuos tenidos en cuenta en el cálculo del indicador y las fuentes de emisión analizadas.

A.2.5. Fichas indicadores sector movilidad sostenible

Tabla 65. Accesibilidad a equipamientos (salud)

Nombre del indicador
Accesibilidad a equipamientos (salud).
Categorización
Movilidad sostenible.
Descripción
Porcentaje de equipamientos de salud existentes en un radio inferior a 5km respecto al total de equipamientos de salud en la región.
Objetivo
Establecer el porcentaje de equipamientos de salud en un radio inferior a 5 km, considerando como punto de referencia el centroide del área de estudio. El porcentaje de equipamientos se hace tomando como referencia los equipamientos totales de la región.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 30
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación

Área geográfica de la zona de análisis y su relación con la región.
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador se hace a través de software de análisis geográfico (GIS). Tomando como fuente de información geográfica los centros de salud de la región y el centroide del área de estudio, se genera un análisis con la herramienta del toolbox <i>Network analysis</i> . A través del uso de esta herramienta y del comando <i>Service área</i> se genera una cobertura (radio) en red con una distancia máxima de 5 km desde el centroide. Al trasponer la cobertura de 5 km con los centros de salud de la región se selecciona cuales están dentro del radio de 5 km y se establece la relación porcentual respecto a los centros de salud de la región.
Formulación
$P_i = \frac{CS_{5km,i}}{CS_{R,i}}$
En donde: <i>P_i</i> : es la proporción de los centros de salud en el radio de 5 km y los centros de salud de la región, para un año de referencia i. <i>CS_{5km,i}</i> : número de centros de salud que se encuentran dentro del radio de 5km, para un año de referencia i. <i>CS_{R,i}</i> : número de centros de salud que se encuentran en la región, para un año de referencia i.
Fuentes de información
- <i>Fuente de información geográfica del área de estudio y/o la región evaluada</i> : Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales y/o distritales.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
- Es recomendable complementar con información sobre la capacidad de los centros de salud (número de camas), para definir no solo la accesibilidad en términos geográficos, si no también establecer si las unidades de salud cercanas son suficientes para cubrir las necesidades de la población.

Tabla 66. Accesibilidad a equipamientos (colegios)

Nombre del indicador
Accesibilidad a equipamientos (colegios).
Categorización
Movilidad sostenible.
Descripción
Porcentaje de la población que puede acceder a equipamientos de educación (colegios) en un tiempo de viaje inferior a 15 minutos.
Objetivo
Establecer el porcentaje de la población del área de estudio que puede acceder a un equipamiento de educación (colegio), en un tiempo de caminata inferior a 15 minutos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 100
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
Área geográfica de la zona de análisis.
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador se hace a través de software de análisis geográfico (GIS). Tomando como fuente de información geográfica los centros de educación (colegios) del área de estudio y a través de la herramienta <i>Network analysis</i> y del comando <i>Service area</i> se generan isócronas de diferentes unidades de tiempo (5 min, 10 min, 15 min y 20 min). Las isócronas se generan con base en información de la velocidad de caminata de la población en estudio. A partir de esto se estima el tiempo de viaje para cada uno de los enlaces de la red vial y se generan las isócronas. Al trasponer la cobertura de las isócronas y la población del área de estudio se establece el porcentaje de la población que se encuentra a diferentes tiempos de caminata, para caso específico de este indicador a un tiempo inferior de 15 minutos.

Formulación
$P_i = \frac{Pob_{15min,i}}{Pob_{Tot,i}}$
<p>En donde:</p> <p>P_i: es la proporción de habitantes que se encuentran a una distancia inferior de 15 min a un equipamiento de educación (colegio), para un año de referencia i.</p> <p>$Pob_{15m,i}$: número de habitantes que se encuentran a una distancia inferior de 15 min a un equipamiento de educación (colegio), para un año de referencia i.</p> <p>$Pob_{Tot,i}$: número total de habitantes dentro del área de estudio, para un año de referencia i.</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Fuente de información geográfica del área de estudio:</i> Levantamiento en terreno o información proveniente de Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales y/o distritales. - <i>Información de población:</i> Información censal a nivel del área de estudio.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<p>Es recomendable complementar con información sobre la capacidad de los colegios (cupos), para definir no solo la accesibilidad en términos geográficos, si no también establecer si los cupos son suficientes para cubrir las necesidades de la población.</p>

Tabla 67. Accesibilidad a equipamientos (universidades)

Nombre del indicador
Accesibilidad a equipamientos (universidades).
Categorización
Movilidad sostenible.
Descripción
Porcentaje de equipamientos de educación (universidades) existentes en un radio inferior a 5km respecto al total de equipamientos de educación (universidades) en la región.
Objetivo
Establecer el porcentaje de equipamientos de educación (universidades) en un radio inferior a 5 km, considerando como punto de referencia el centroide del área de estudio. El porcentaje de equipamientos se hace tomando como referencia los equipamientos totales de la región.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 30
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
Área geográfica de la zona de análisis y su relación con la región
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador se hace a través de software de análisis geográfico (GIS). Tomando como fuente de información geográfica de los equipamientos de educación (universidades) de la región y el centroide del área de estudio, se genera un análisis con la herramienta del toolbox <i>Network analysis</i> . A través del uso de esta herramienta y del comando <i>Service area</i> se genera una cobertura (radio) en red con una distancia máxima de 5 km desde el centroide. Al trasponer la cobertura de 5 km con los equipamientos de educación (universidades) de la región se selecciona cuales están dentro del radio de 5 km y se establece la relación porcentual respecto a los equipamientos de educación (universidades) de la región.
Formulación
$P_i = \frac{U_{5km,i}}{U_{R,i}}$
En donde:

<p>P_i: es la proporción de los equipamientos de educación (universidades) en un radio de 5 km y los equipamientos de educación (universidades) de la región, para un año de referencia i.</p> <p>$U_{5km,i}$: número de equipamientos de educación (universidades) que se encuentran dentro del radio de 5km, para un año de referencia i.</p> <p>$U_{R,i}$: número de equipamientos de educación (universidades) que se encuentran en la región, para un año de referencia i.</p>
Fuentes de información
- Fuente de información geográfica del área de estudio y/o la región evaluada: Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales y/o distritales.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
- Es recomendable complementar con información sobre la capacidad de las universidades (cupos), para definir no solo la accesibilidad en términos geográficos, si no también establecer si los cupos son suficientes para cubrir las necesidades de la población.

Tabla 68. Autocontención

Nombre del indicador
Autocontención
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Proporción de habitantes que trabajan dentro del área de estudio, respecto al total de habitantes trabajadores.
Objetivo
<p>Medir la oferta de trabajo en el área de estudio para sus habitantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para proyectos en fase de planeación, este indicador se puede estimar con base en información sobre el uso del suelo. El indicador daría información sobre la oferta potencial de trabajo en el área de estudio. - Si es un proyecto en fase de operación, el indicador se refiere a la cantidad de población que vive en el área de estudio y efectivamente trabaja en la misma área. <p>La oferta de trabajo en el área de vivienda es relevante en términos de la generación de viajes, su longitud y en el potencial uso de modos de transporte sostenibles.</p>
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 100
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
La población que habita el área de estudio.
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador se realiza a partir de información socioeconómica y geográfica del área de estudio. La información requerida se basa principalmente en la población que trabaja, el lugar donde desarrolla la ocupación y la población en edad de trabajo. Se plantea como la relación entre la población que trabaja en el área de estudio y el total de población que trabaja.
Formulación
$P_i = \frac{P_{TAE,i}}{P_{TT,i}}$
<p>En donde:</p> <p>P_i: es la proporción de la población que trabaja dentro del área de estudio respecto al total de población que trabaja, para un año de referencia i.</p> <p>$P_{TAE,i}$: número de personas que trabajan dentro del área de estudio, para un año de referencia i.</p> <p>$P_{TT,i}$: número de personas que trabajan en el área de estudio, para un año de referencia i.</p>
Fuentes de información

- <i>Información de población:</i> Información censal a nivel del área de estudio o encuestas propias.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Tabla 69. Tasa de movilidad

Nombre del indicador
Tasa de movilidad
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Número de viajes diarios por habitante.
Objetivo
Establecer el número de viajes que realiza en promedio un habitante al día con base en las características geográficas, sociales y económicas de la población.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Número de viajes diarios por habitante
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0.1 Máximo: 2.5
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
La población que habita el área de estudio.
Método de medición/estimación
La medición de este indicador puede llevarse a cabo en dos procesos diferentes acorde con la disponibilidad de información: i) tasa de movilidad a partir de información primaria y; ii) tasa de movilidad a partir de información secundaria.
Tasa de movilidad a partir de información primaria: Con información primaria recolectada a través de encuestas se establece el tamaño promedio del hogar. Con base en encuestas de movilidad de la región se puede establecer la tasa de viajes del hogar para la región de estudio. Con el tamaño promedio del hogar para el área de estudio se normaliza la tasa de viajes respecto al valor de la tasa de viajes de la región, y con la información de hogar del área de estudio se establece los viajes diarios en la zona de estudio. El total de viajes diarios se divide entre la población total y se obtiene la tasa de viajes diarios por habitante.
Tasa de movilidad a partir de información secundaria: Con base en encuestas de movilidad de la región se puede establecer la tasa de viajes del hogar para la región de estudio y a su vez la tasa de viajes diaria por individuo.
Formulación
$TM_i = \frac{V_{T,i}}{P_{T,i}}$
En donde:
TM_i : tasa de movilidad de la zona de estudio, para un año de referencia i.
$V_{T,i}$: viajes totales diarios del área de estudio, para un año de referencia i.
$P_{T,i}$: población total en el área de estudio, para un año de referencia i.
Fuentes de información
- <i>Información de población:</i> Información censal a nivel del área de estudio o encuestas propias. - <i>Información sobre patrones de viajes:</i> Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales, distritales y/o encuestas propias.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Tabla 70. Accesibilidad al transporte público local (oferta)

Nombre del indicador
Accesibilidad al transporte público local (oferta)
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Porcentaje de área cubierta por los paraderos de transporte público.
Objetivo
Establecer el radio de cobertura de los paraderos de transporte público dentro del área de estudio. El objetivo, acorde con literatura, es que este radio de cobertura no sea mayor a los 500 metros, distancias por encima de este valor desincentivarían el uso de transporte público.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 100
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
Área geográfica del área de estudio
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador se hace a través de software de análisis geográfico (GIS). Tomando como fuente de información geográfica los paraderos de transporte público del área de estudio se genera un análisis con la herramienta del toolbox <i>Network analysis</i> . A través del uso de esta herramienta y del comando <i>Service area</i> se genera una cobertura (radio) en red con una distancia máxima de 500 m desde cada paradero. Al trasponer la cobertura de 500 m con el área de estudio se obtiene la cobertura de los paraderos de transporte público del área de estudio.
Formulación
$P_i = \frac{A_{PTP,i}}{A_{T,i}}$ <p>En donde: P_i: es la proporción de área que se encuentra cubierta por los paraderos de transporte público dentro de la zona de estudio, para un año de referencia i. $A_{PTP,i}$: área cubierta por los paraderos de transporte público, para un año de referencia i. $A_{T,i}$: área total de la zona de estudio, para un año de referencia i.</p>
Fuentes de información
- Fuente de información geográfica del área de estudio: Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales y/o distritales.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Tabla 71. Accesibilidad al transporte (demanda)

Nombre del indicador
Accesibilidad al transporte (demanda)
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Distancia promedio que caminan los habitantes para tomar el primer modo de transporte.
Objetivo

Como se explicó en el indicador anterior, la longitud de caminata para tomar el transporte público puede desincentivar el uso de este modo. La diferencia de este indicador con el indicador de la Tabla 70, es que este indicador mide el promedio de caminata desde el origen (casa) hasta el destino (lugar donde toma el primer modo de transporte), el modo de transporte puede ser o no parte de un sistema integrado de transporte.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Metros
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 10 Máximo: 2500
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
La población que habita el área de estudio.
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador se hace a través de software de análisis geográfico (GIS). Tomando como fuente de información geográfica la ruta entre el punto de origen (casa) y destino (lugar donde toma el primer modo de transporte), se estima el promedio de la longitud de la ruta. Este promedio se puede zonificar acorde con el nivel de detalle del estudio (etapas, barrios, zat, upz y/o localidad).
Formulación
$\overline{DC}_j = \frac{\sum_{i=1}^n dc_{ij}}{n_j}$
En donde: \overline{DC}_j : distancia promedio de caminata hasta el primer modo para cada zona j. dc_{ij} : distancia de caminata hasta el primero modo de cada individuo en la zona j. n_j : número de individuos evaluados en la zona j.
Fuentes de información
- Fuente de información geográfica del área de estudio: Encuestas geográficas de rutas realizadas en el área de estudio.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Este indicador además de dar la distancia promedio de caminata, al mapearlo puede dar una primera idea de la línea de trazado para futuras rutas alimentadoras. - Es recomendable complementar con información sobre la capacidad de los sistemas para atender la demanda a través de otros indicadores como por ejemplo tiempo de espera en los paraderos para abordar el servicio de transporte.

Tabla 72. Accesibilidad al transporte público masivo (oferta)

Nombre del indicador
Accesibilidad al transporte público masivo (oferta)
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Porcentaje del área de estudio con cobertura de paraderos de transporte público masivo. Se considera una distancia en red de 500 m alrededor de cada paradero.
Objetivo
Como se explicó en el indicador anterior, la longitud de caminata para tomar el transporte público puede desincentivar el uso de este modo. La diferencia de este indicador con el indicador de la Tabla 70, es que este indicador mide la cobertura de estaciones del sistema integrado de transporte masivo.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje

Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 100
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
Área geográfica del área de estudio
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador se hace a través de software de análisis geográfico (GIS). Tomando como fuente de información geográfica las estaciones del sistema integrado de transporte masivo se realiza un análisis con la herramienta del toolbox <i>Network analysis</i> . A través del uso de esta herramienta y del comando <i>Service area</i> se genera una cobertura (radio) en red con una distancia máxima de 500 m desde cada estación. Al trasponer la cobertura de 500 m con el área de estudio se obtiene la cobertura de los paraderos de transporte público del área de estudio.
Formulación
$P_i = \frac{A_{ETM,i}}{A_{T,i}}$ <p>En donde: <i>P_i</i>: es la proporción de área que se encuentra cubierta por las estaciones de estaciones del sistema integrado de transporte masivo, para un año de referencia <i>i</i>. <i>A_{ETM,i}</i>: área de la zona de estudio cubierta por las estaciones del sistema integrado de transporte masivo, para un año de referencia <i>i</i>. <i>A_{T,i}</i>: área total de la zona de estudio, para un año de referencia <i>i</i>.</p>
Fuentes de información
<i>Fuente de información geográfica del área de estudio</i> : Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales y/o distritales.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
– Es recomendable complementar con información sobre la capacidad de los sistemas para atender la demanda a través de otros indicadores como por ejemplo tiempo de espera en los paraderos para abordar el servicio de transporte.

Tabla 73. Asequibilidad al transporte

Nombre del indicador
Accesibilidad al transporte público masivo (oferta)
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Costos del transporte respecto al ingreso del hogar.
Objetivo
Establecer el porcentaje de ingresos del hogar que los habitantes del área de estudio destinan para desarrollar sus actividades de transporte. Este indicador permite hacer una lectura de la calidad de vida de la zona de estudio, ya que a menor porcentaje de ingresos invertidos en esta actividad, pueden invertir en actividades de esparcimiento.
Este indicador permite hacer seguimiento a proyectos en fase de operación.
Su uso en fase de planeación es posible, pero es necesario realizar estimaciones con base en factores como la oferta de transporte público e información de la ciudad sobre orígenes y destinos.
La literatura muestra que el ingreso medio de la población que se esté analizando, es uno de los factores que afecta en mayor medida el valor del indicador. El valor del indicador está inversamente relacionado con el ingreso medio.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia

Mínimo: 0 Máximo: 0.3
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
Los hogares que habitan el área de estudio.
Método de medición/estimación
El cálculo de este indicador parte de la repartición modal de los viajes y el ingreso promedio del hogar en la zona de estudio. Ahora bien, acorde con la información disponible sobre el gasto promedio de viaje por modo y los días promedio de viajes al mes, se lleva a cabo un promedio ponderado entre el costo promedio de viajes mensuales por modo y la distribución modal de la zona de estudio. Esta relación permite obtener el costo ponderado de viajes mensuales por hogar. La relación entre este valor y el ingreso promedio del hogar es el porcentaje de gasto de transporte respecto al ingreso en el hogar.
Formulación
$P_i = \frac{G_{T,i}}{I_i}$
En donde: <i>P_i</i> : es la proporción del ingreso mensual familiar que se gasta en transporte, para un año de referencia i. <i>G_{T,i}</i> : es el gasto total mensual de un hogar para cubrir sus costos asociados al transporte. Es la sumatoria del gasto de todos los miembros del hogar, considerando todos los medios de transporte que utilizan. <i>I_{T,i}</i> : es el ingreso mensual promedio del hogar, para un año de referencia i.
Fuentes de información
- Fuente de información geográfica del área de estudio: Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales y/o distritales.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
El índice debería ser analizado para diferentes grupos específicos de la población. Es decir, tener en cuenta la distribución del valor. Utilizar un solo valor para representar la microciudad (v.g., promedio del indicador) no permite ver las diferentes dinámicas, como por ejemplo cómo varía según la composición del hogar, según el rango de ingreso medio o según la composición por grupos de edad.

Tabla 74. Participación del transporte público en los viajes totales

Nombre del indicador
Participación del transporte público en los viajes totales.
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Participación del transporte público en los viajes totales.
Objetivo
Establecer el porcentaje de los viajes realizados en el sistema integrado de transporte en cualquiera de sus componentes: troncal, zonal y complementario, respecto a los viajes totales de la zona de estudio. Para el caso de Colombia este indicador está fuertemente relacionado con el ingreso per cápita de la población. En diferentes ciudades del país se observa que los modos sostenibles son los predominantes en los estratos más bajos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 1
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación

Población que habita el proyecto de vivienda que se esté evaluando.
Método de medición/estimación
Acorde con información de los patrones de movilidad y el número de viajes por modo en el área de estudio, este indicador se establece como la relación entre los viajes realizados en transporte público y el total de viajes realizados por la población analizada.
Formulación
$R_{TS,i} = \frac{\sum v_m}{V_T}$
En donde: $R_{TS,i}$: proporción de viajes diarios que se realizan en transporte público en un día típico hábil. $v_{T,i}$: viajes totales realizados en transporte público por los habitantes del área de estudio, en un día típico hábil. $V_{T,i}$: viajes totales realizados por los habitantes de la microciudad de interés, en un día típico hábil.
Fuentes de información
- <i>Información sobre patrones de viajes</i> : Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales, distritales y/o encuestas propias.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Tabla 75. Nivel de emisiones de material particulado fino por viaje

Nombre del indicador
Nivel de emisiones de material particulado fino por viaje.
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Nivel de emisiones de PM2.5 por viaje.
Objetivo
Estimar las emisiones de PM2.5 generadas por un viaje tipo/representativo de la población que habita el área de estudio.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Gramos de PM2.5 por viaje
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 0.29
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
El indicador se estima tomando como base los viajes que realizan los habitantes del área de estudio. El indicador se puede estimar para un día hábil o para un año típico.
Método de medición/estimación
Para el caso de estudio de Ciudad Verde, este indicador se estimará teniendo en cuenta los resultados de la encuesta en cuanto a los patrones de los viajes. La información sobre características de la flota se aproximará teniendo en cuenta la información de la base de datos del RUNT para diferentes categorías vehiculares. Los factores de emisión de PM2.5 se seleccionarán según las características de la flota de las diferentes categorías.
Formulación
$I_{j,i} = \frac{E_{i,j}}{VT_i}$
$E_{i,j} = \sum_l A_{j,l} \cdot FE_{i,l} \quad \text{Ec.1}$
En donde:

<p>$I_{j,i}$: son las emisiones del contaminante j, en este caso material particulado fino, normalizadas por el número total de viaje en un periodo de referencia i.</p> <p>$E_{j,i}$: son las emisiones del contaminante j en el periodo i.</p> <p>VT_i: es el número total de viajes, estimado en un periodo de referencia i.</p> <p>$A_{l,i}$: es la actividad de la flota en cada caso de estudio l.</p> <p>$FE_{l,i}$: es el factor de emisión específico del contaminante j, representativos de la flota local durante el periodo de análisis i.</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Información sobre patrones de viajes</i>: Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales, distritales y/o encuestas propias. - <i>Factores de emisión de PM2.5</i>: son función principalmente de las características de la flota que opere en el área de estudio. Diferentes ciudades de Colombia cuentan con análisis sobre factores de emisión de PM2.5 que se pueden usar como una aproximación para este término de la ecuación. - <i>Actividad de la flota</i>: Estimación a partir de información sobre la longitud promedio de los viajes que se realizan en cada modo en el área de estudio. Para esto se requiere información adicional relacionada con las condiciones de operación de la flota, como por ejemplo información sobre la ocupación promedio de los vehículos.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Este indicador integra múltiples aspectos relacionados con la reducción de emisiones. Más allá de la tecnología de la flota, considera la partición modal, la longitud de los viajes y la ocupación promedio de los diferentes vehículos. - El indicador es ponderado por el número de viajes, porque el propósito no es reducir los viajes per sé, sino que los viajes se realicen de manera más sostenible. - El indicador podría ser estimado para diferentes grupos de interés, o podría ser estimado un solo valor que represente a toda la población que residen en el área de estudio.

Tabla 76. Tiempo de viaje en viajes obligatorios

Nombre del indicador
Tiempo de viaje en viajes obligatorios.
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Tiempo de viaje en viajes obligatorios.
Objetivo
Medir el tiempo promedio de los viajes obligatorios* que realizan los habitantes del área de estudio. *Viajes obligatorios: se entiendo como viajes obligatorios aquellos que tienen como actividad a desarrollar trabajo y/o estudio.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Minutos
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 117
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
El indicador se estima con base en los patrones de movilidad de los habitantes del área de estudio.
Método de medición/estimación
Acorde con información de los patrones de movilidad, el número de viajes por modo y el tiempo invertido para realizar los viajes obligatorios en el área de estudio, este indicador se establece como la relación entre el tiempo de viaje de los viajes obligatorios y el total de viajes realizados por la población analizada.
Formulación
$TV_i = \frac{\sum tv_i}{VT_i}$
En donde: TV_i : es el tiempo promedio que emplea una persona al día en los viajes obligatorios, estimado en un año de referencia i.

VT_i : es el número total de viajes que hace una persona al día los viajes obligatorios, estimado en un año de referencia i .
Fuentes de información
- <i>Información sobre patrones de viajes</i> : Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales, distritales y/o encuestas propias.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
El valor del indicador varía ampliamente dentro de una misma ciudad y entre ciudades. Se deberá analizar la mejor manera de presentarlo para que cumpla su propósito en diferentes contextos del país.

Tabla 77. Calidad del transporte público

Nombre del indicador
Calidad del transporte público
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Percepción de la población sobre la calidad del servicio de transporte público.
Objetivo
Establecer cuál es la percepción de la población respecto al servicio de transporte público que es usado en el área de estudio.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Número (Calificación 1-5).
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 5
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
El indicador se estima con base en la percepción de los habitantes del servicio transporte público en el área de estudio.
Método de medición/estimación
Este indicador se estima como la relación entre la calificación dada por cada habitante del área de estudio con base en la percepción del servicio y el número de calificaciones obtenidas.
Formulación
$CTP_j = \frac{\sum_{i=1}^n ctp_{ij}}{n}$
En donde: CTP_j : calificación promedio del servicio de transporte público en el área de estudio, para un año de referencia j . ctp_{ij} : calificación del servicio de transporte público de cada individuo en el área de estudio, para un año de referencia j . n : número de individuos evaluados.
Fuentes de información
- <i>Encuestas de percepción sobre el servicio de transporte público del área de estudio</i> : Encuestas propias
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
- En la encuesta desarrollada establecer diferentes categorías de calificación como: ocupación, confort, tiempo, distancia. Para poder definir de mejor manera que componente incide en la calificación del servicio.

Tabla 78. Calidad del entorno urbano

Nombre del indicador
Calidad del entorno urbano.
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Percepción de la población sobre la calidad entorno urbano
Objetivo
Establecer cuál es la percepción de la población respecto calidad del entorno urbano en el área de estudio. El entorno urbano fue clasificado en los siguientes factores: estado del pavimento, ancho del andén, señalización vial, bici parqueaderos, semáforos, alumbrado público, árboles, canecas de basura, bancas y vigilancia.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Número (Calificación 1-5).
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 5
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
El indicador se estima con base en la percepción de los habitantes del entorno público en el área de estudio.
Método de medición/estimación
Este indicador se estima como la relación entre la calificación dada por cada habitante del área de estudio con base en la percepción del entorno urbano y el número de calificaciones obtenidas.
Formulación
$CEU_j = \frac{\sum_{i=1}^n ceu_{ij}}{n}$ <p>En donde: <i>CEU_j</i>: calificación promedio del entorno urbano en el área de estudio, para un año de referencia j. <i>ceu_{ij}</i>: calificación del entorno urbano de cada individuo en el área de estudio, para un año de referencia j. <i>n</i>: número de individuos evaluados.</p>
Fuentes de información
- Encuestas de percepción sobre entorno urbano del área de estudio: Encuestas propias
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
- Es deseable utilizar fuentes de información complementarias que permitan entender mejor cómo las características del entorno determinan aspectos como el uso de modos no motorizados de transporte. Adicionalmente, que permitan entender cuáles son más relevantes para la población y así poder enfocar mejor las intervenciones para mejorar los espacios.

Tabla 79. Infraestructura para uso de bicicleta

Nombre del indicador
Infraestructura para uso de bicicleta.
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Kilómetros de vía destinada para transporte en bicicleta.
Objetivo
Establecer cuál es el número de kilómetros de vía dedicada a la bicicleta para cada 100,000 habitantes.
Tipo de indicador

Cuantitativo
Unidad de medida
Kilómetros por cada 100,000 habitantes
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 100
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación
El indicador se estima con base la disponibilidad de kilómetros de vía para bicicleta en el área estudio.
Método de medición/estimación
La estimación de este indicador se hace a través de software de análisis geográfico (GIS). Tomando como fuente de información geográfica las ciclo rutas del área de estudio, se determina la longitud total de las ciclo rutas. La relación entre el número de kilómetro de vía para bicicleta y la población determina el indicador.
Formulación
$km/hab_{VB-i} = \frac{km_{VB-i}}{n_i} \times 100,000$
En donde: km/hab_{VB-i} : kilómetros de vía para bicicleta por cada 100,000 habitantes, para un año de referencia i en el área de estudio. km_{VB-i} : kilómetros de vía para bicicleta, para un año de referencia i en el área de estudio. n: población total para un año de referencia i en el área de estudio.
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Fuente de información geográfica del área de estudio: Levantamiento en terreno o información proveniente de Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales y/o distritales. - Información de población: Información censal a nivel del área de estudio.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Tabla 80. Participación de modos no motorizados en los viajes totales

Nombre del indicador
Participación de modos no motorizados en los viajes totales.
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Participación del transporte no motorizado en los viajes totales.
Objetivo
Establecer el porcentaje de los viajes realizados en modos no motorizados (bicicleta y caminata), respecto a los viajes totales de la zona de estudio. Para el caso de Colombia este indicador está fuertemente relacionado con el ingreso per cápita de la población. En diferentes ciudades del país se observa que los modos sostenibles son los predominantes en los estratos más bajos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 1
Frecuencia de reporte
Anual
Ámbito de aplicación

Población que habita el área de estudio que se esté evaluando.
Método de medición/estimación
Acorde con información de los patrones de movilidad y el número de viajes por modo en el área de estudio, este indicador se establece como la relación entre los viajes realizados en modos no motorizados y el total de viajes realizados por la población analizada.
Formulación
$R_{TS,i} = \frac{\sum v_m}{V_T}$
En donde: $R_{TS,i}$: proporción de viajes diarios que se realizan en modos no motorizados en un día típico hábil. $v_{T,i}$: viajes totales realizados en modos no motorizados por los habitantes del área de estudio, en un día típico hábil. $V_{T,i}$: viajes totales realizados por los habitantes del área de estudio, en un día típico hábil.
Fuentes de información
- <i>Información sobre patrones de viajes</i> : Entidades públicas nacionales, regionales, departamentales, municipales, distritales y/o encuestas propias.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Tabla 81. Exposición personal a material particulado fino en transporte

Nombre del indicador
Exposición personal a material particulado fino en transporte
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Nivel de exposición personal a material particulado fino (PM2.5) por viaje.
Objetivo
Determinar el impacto de los modos de transporte en la exposición personal ante contaminación por material particulado fino.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Microgramos de PM2.5 por viaje
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 429
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Viajes realizados por la población que habita el área de estudio que se esté evaluando.
Método de medición/estimación
Este indicador se calcula en función de los niveles de contaminación por PM2.5 en los microambientes relacionados con el transporte, la distribución de los viajes por modo y el tiempo de viaje en cada uno de los modos. Se puede estimar por modo, para diferentes grupos de población o agregado (para un viaje representativo).
Formulación
$E_i = \sum_m k_{m,i} \cdot C_{m,i} \cdot t_{m,i}$
En donde: E_i : es la exposición personal a PM2.5 para un viaje representativo de la población en el año i. m : son los modos de transporte que utiliza la población para sus viajes en el año i. $k_{m,i}$: proporción de los viajes totales que se realizan en el modo m en el año i. $C_{m,i}$: concentración promedio de PM2.5 en el modo de transporte m en el año i.

$t_{m,i}$: tiempos de viaje promedio en el modo de transporte m en el año i.
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Información sobre la contaminación por PM2.5 en los medios de transporte</i>: Estudios locales sobre medición de niveles de contaminación al interior de la cabina de los vehículos para diferentes modos. - <i>Información sobre partición modal y tiempos de viaje por modo</i>: encuestas a la población que habite en el área de interés.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Es recomendable contar con mediciones al interior de la cabina de la flota de diferentes modos. Esta información permite priorizar los esfuerzos en reducción de la contaminación local y reducir los niveles de contaminación ante los cuales se expone la población asociados al transporte.

Tabla 82. Nivel de emisiones de dióxido de carbono equivalente por viaje

Nombre del indicador
Nivel de emisiones de dióxido de carbono equivalente por viaje
Categorización
Movilidad sostenible
Descripción
Nivel de emisiones de CO2e por viaje.
Objetivo
Estimar las emisiones de CO2e generadas por el transporte urbano en el área de análisis. Este indicador depende de la distribución modal, del tipo de flota de transporte disponible para la población del área de estudio, de la longitud de los viajes y de las condiciones de operación de los sistemas de transporte público.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Gramos de CO2e por viaje.
Estándar o valores de referencia
Mínimo: 0 Máximo: 5,390
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
El indicador se estima tomando como base los viajes que realizan los habitantes del área de estudio. El indicador se puede estimar para un día hábil o para un año típico.
Método de medición/estimación
Se estima el CO2e según los patrones de viajes del área de estudio y la caracterización de la flota vehicular por modo.
Formulación
$I_{j,i} = \frac{E_{i,j}}{VT_i}$ $E_{CO2e,i} = \sum_k F_{i,k} \cdot FE_k$ $F_{j,k} = \sum_l A_{j,l} \cdot c_{k,l}$
<p>En donde:</p> <p>$I_{j,i}$: son las emisiones del contaminante j, en este caso dióxido de carbono equivalente, normalizadas por el número total de viaje en un periodo de referencia i.</p> <p>$E_{j,i}$: son las emisiones del contaminante j en el periodo i.</p> <p>VT_i: es el número total de viajes, estimado en un periodo de referencia i.</p> <p>$F_{j,k}$: es la demanda de energía por tipo de combustible k en el periodo i.</p> <p>FE_k: es el factor de emisión de CO2e para cada tipo de combustible.</p> <p>$A_{l,i}$: es la actividad de la flota por categoría vehicular l ($A_{l,j}$; l=buses, automóviles, etc.).</p>

$c_{k,l}$: es el factor de rendimiento de combustible por categoría vehicular.
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Información de patrones de movilidad o encuesta de movilidad para el área de análisis. - Factores de emisión de CO₂e por tipo de combustible: según FECOC de la UPME. - Factores de rendimiento de combustible de la flota: se obtienen de estudios de caracterización nacional o local* de la flota para diferentes modos de transporte.
* Es necesario hacer supuestos para la flota de ciudades que no cuenten con dicha caracterización del consumo de combustible por categorías vehiculares.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

A.2.6. Fichas indicadores sector edificaciones e infraestructura urbana

Tabla 83. Porcentaje de viviendas con carácter de desarrollo formal

Nombre del indicador
Porcentaje de viviendas con carácter de desarrollo formal
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/
Descripción
Define el porcentaje de viviendas que cumplen con la aprobación, por parte de entidades gubernamentales, de la normatividad urbana y especificaciones sismo-resistentes.
Objetivo
Este indicador pretender realizar un diagnóstico de los desarrollos residenciales en lo que respecta a requisitos de legalidad conforme a la normatividad urbana establecida en cuanto a la gestión del riesgo ante amenazas naturales y especificaciones asociadas al diseño y construcción sismo-resistente.
Tipo de indicador
Cualitativo
Unidad de medida
Porcentaje; %
Estándar o valores de referencia
Mínimo Muy Malo; Máximo Muy Bueno
Frecuencia de reporte
Estimación única (al terminar la etapa de estructuración)
Ámbito de aplicación
Documentación que hace parte de la evaluación del indicador (Sistema de análisis)
Método de medición/estimación
Este indicador debe ser estimado con base en la documentación técnica presentada por los desarrolladores/construtores a la hora de solicitar las licencias de urbanismo y/o construcción ante las curadurías urbanas. Entre la información solicitada se encuentran: planos topográficos que indiquen las reservas, afectaciones y limitaciones urbanísticas; proyecto urbanístico total, certificación de disponibilidad de servicios públicos domiciliarios, estudios detallados de amenaza y fenómenos naturales, cálculos y diseños estructurales y geotécnicos, planos arquitectónicos, cesiones de área para espacio público, vial o de equipamientos; entre otros.
Formulación
Porcentaje de viviendas desarrolladas formalmente
$\%_{Form} = \frac{n}{N}$
En donde:
$\%_{Form}$: Porcentaje de viviendas desarrolladas formalmente (%)

<p><i>n</i>: Número de viviendas que cumplen los requisitos de legalidad (-) <i>N</i>: Número total de viviendas en el desarrollo urbanístico (-)</p> <p>Si el indicador obtiene una evaluación de 100%, su clasificación pasa a ser Muy Bueno.</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Consulta a Curadurías Urbanas</i> - <i>Consulta a las empresas constructoras</i>
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Además de evaluar el cumplimiento de las normas técnicas, deberían considerarse aspectos como el déficit de vivienda en términos cualitativos y cuantitativos. Así mismo, se sugiere discutir la vivienda informal.

Tabla 84. Porcentaje del tiempo en condiciones de confort de las edificaciones residenciales

Nombre del indicador
Porcentaje del tiempo en condiciones de confort de las edificaciones residenciales
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Consumo de energía/ Eficiencia energética
Descripción
Define el número de horas (como porcentaje del total de horas al año) en el que las edificaciones residenciales cumplen con las condiciones de confort térmico especificadas en el ASHRAE 55.
Objetivo
Este indicador pretende realizar un diagnóstico del confort térmico al interior de las unidades de vivienda. El modelo de confort seleccionado para residencias define dos rangos de aceptabilidad de confort (80 y 90%), cada uno con sus respectivas temperaturas operativas límite. Estos rangos dependen de la temperatura promedio exterior del aire. El indicador plantea entonces, cuantificar el número de horas en un año en el que la temperatura interior de la vivienda se encuentra dentro de los rangos de confort del modelo.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Porcentaje; %
Estándar o valores de referencia
Mínimo 0 %; Máximo 100 %
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población y/o área que hace parte de la evaluación del indicador (Sistema de análisis)
Método de medición/estimación
<p>En principio, este indicador debe ser estimado partiendo del estándar ASHRAE 55 donde se propone el modelo adaptativo para determinar los requerimientos de confort térmico en edificaciones ventiladas naturalmente. Este modelo se utiliza generalmente en situaciones donde las condiciones climáticas exteriores afectan en gran medida las condiciones interiores de las unidades. Se supone igualmente que los ocupantes de estos espacios pueden tolerar una variedad amplia de temperaturas como resultado de ajustes psicológicos o comportamentales.</p> <p>Ahora bien, en términos prácticos, la información de temperaturas necesaria para el modelo adaptativo se obtuvo mediante simulaciones energéticas de los prototipos de edificaciones residenciales. Estas simulaciones deben alimentarse con información arquitectónica, estructural y tecnológica de los espacios. De igual forma, es indispensable caracterizar los equipos de iluminación y electrodomésticos de una vivienda prototipo, así como los perfiles de uso y ocupación de los ocupantes. Es importante aclarar también que las simulaciones se desarrollaron teniendo en cuenta la forma urbana de los proyectos de estudio, con el objetivo de capturar los efectos de sombra y reflectancia de edificaciones vecinas. Una vez obtenidas las temperaturas interiores en formato horario, se recurre a la herramienta de confort térmico del CBE para revisar el cumplimiento de los rangos de aceptabilidad.</p>

Formulación
Temperatura interior promedio de una unidad de vivienda
$T_{sup_{90}} > T_{int_j} > T_{inf_{90}}$
En donde:
T_{int_j} : Temperatura interior promedio de una unidad de vivienda en la hora j del año (°C)
$T_{sup_{90}}$: Temperatura interior superior del rango de aceptabilidad del 90% (°C)
$T_{inf_{90}}$: Temperatura interior inferior del rango de aceptabilidad del 90% (°C)
Una vez obtenidas las horas del año que cumplen con los límites del rango de aceptabilidad, se procede a calcular el porcentaje del tiempo en condiciones de confort.
Porcentaje del tiempo en condiciones de confort
$\%_{Conf} = \frac{n}{8760}$
En donde:
$\%_{Conf}$: Porcentaje del tiempo en condiciones de confort (%)
n : Número de horas que cumplen los límites de aceptabilidad (-)
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Encuestas a ocupantes de las viviendas residenciales - Consulta a la Unidad de Planeación Minero Energética - Consulta a las empresas constructoras del proyecto
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Pensando en la evolución del indicador, podría utilizarse el rango de aceptabilidad de confort térmico del 80% en un primer momento, para luego aumentar la exigencia de confort empleando el rango de aceptabilidad del 90%.

Tabla 85. Accesibilidad a edificaciones de servicio educativo

Nombre del indicador
Accesibilidad a edificaciones de servicio (Educación)
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Infraestructura urbana/ Acceso a servicios
Descripción
Define la proximidad de las agrupaciones de vivienda existentes en el caso de estudio a los equipamientos de uso educativo (colegios y jardines infantiles) que operan dentro del área de estudio.
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico de la facilidad que tienen los habitantes del proyecto de acceder a servicios básicos, mediante la medición de distancia desde las agrupaciones de vivienda hacia las edificaciones construidas para este uso que se encuentran en operación.
Tipo de indicador
Cuantitativo.
Unidad de medida
Distancia; metros.
Estándar o valores de referencia
Para la evaluación de Ciudad verde, se encontró que: El valor mínimo que puede tomar este indicador (para edificaciones contiguas a un equipamiento educativo) es de 18 m El valor máximo que puede tomar este indicador (dentro de los límites del macroproyecto) es de 1181 m.

Para considerar que se tienen buenas condiciones de accesibilidad se considera que el valor de este indicador debería ser menor o igual a 500 m [92], [93]
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Se evalúa para el territorio que comprende el caso analizado. En este escenario corresponde al área en la que se desarrolla el macroproyecto de vivienda Ciudad Verde, con base en los edificios existentes en operación.
Método de medición/estimación
<p>Este indicador fue estimado mediante la evaluación de la distancia euclidiana existente desde los conjuntos de vivienda existentes hacia el edificio de servicios educativos más cercano. Este cálculo se ejecutó en una herramienta de sistemas de información geográfica, en la que se representa la ubicación de los edificios de diferentes usos en el caso de estudio. Este indicador también puede ser evaluado con otras métricas de distancia, como la distancia en red a través de un sistema de infraestructura de transporte (vías, andenes, caminos).</p> <p>De esta forma es posible obtener una estimación de la proximidad a equipamientos de educación para cada una de las agrupaciones de vivienda, e incluso de cada edificio construido; esto depende de la cantidad y el nivel de detalle de la información que se tenga del proyecto. Esta evaluación también depende de la escala del estudio sobre la cual se desea evaluar el indicador. Para la visión general de Ciudad Verde, se utilizó la media de las estimaciones del indicador para cada agrupación de vivienda.</p>
Formulación
<p style="text-align: center;">$Ac_s = \overline{D_{ev-es}}$</p> <p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ac_s = Accesibilidad al servicio para el caso de estudio - $\overline{D_{ev-es}}$ = Media de la distancia entre los edificios de vivienda y los equipamientos de educación <p>Así:</p> <ul style="list-style-type: none"> - D_{ev_i-es} = Distancia euclidiana hacia el equipamiento de educación más cercano para cada edificio de vivienda (i) <p>El cálculo de las distancias se obtiene mediante una evaluación del caso en un software de información geográfica. De esta forma se obtiene una superficie de distancias a las edificaciones de servicio en el área de estudio. También es posible calcular este indicador al conocer las coordenadas de los edificios de vivienda y los equipamientos mediante la evaluación de la distancia entre dos puntos. De esta forma se obtendría la distancia desde cada edificio de vivienda hacia cada uno de los equipamientos con el servicio de interés, y el valor del indicador estimado con el promedio de los valores mínimos de cada una de las distancias calculadas para cada edificio de vivienda.</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Planos de urbanismo del proyecto analizado (planos y usos del suelo). - Planos de las huellas de los edificios construidos en el caso de estudio - Información de los flujos de construcción y/o entregas de edificaciones para el proyecto analizado. <p>Para Ciudad Verde esta información fue provista por la empresa gestora del macroproyecto.</p>
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<p>La evaluación de proximidad a equipamientos como métrica de accesibilidad representa una facilidad de cálculo puesto que computacionalmente la estimación de distancia euclidiana para un área de interés es de baja complejidad. Sin embargo, al considerar el factor espacial como única variable para evaluar accesibilidad a un servicio, se evalúa la posibilidad de acceder al lugar en el que se presta dicho servicio, mas no hay forma de garantizar que se accede al servicio como tal, puesto que no se evalúa la capacidad de dichas edificaciones para suplir con la potencial demanda del servicio prestado.</p>

Tabla 86. Accesibilidad a edificaciones de servicios de salud

Nombre del indicador
Accesibilidad a edificaciones de servicio (Salud)
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Infraestructura urbana/ Acceso a servicios
Descripción
Define la proximidad de las agrupaciones de vivienda existentes en el caso de estudio a las edificaciones que prestan servicios de salud.
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico de la facilidad que tienen los habitantes del proyecto de acceder a servicios básicos, mediante la medición de distancia desde las agrupaciones de vivienda hacia las edificaciones construidas para este uso que se encuentran en operación.
Tipo de indicador
Cuantitativo.
Unidad de medida
Distancia; metros.
Estándar o valores de referencia
Para la evaluación de Ciudad verde, se encontró que dentro de los límites del macroproyecto no se cuenta con equipamientos de salud. Para considerar que se tienen buenas condiciones de accesibilidad se considera que el valor de este indicador debería ser menor o igual a 500 m [92], [93] pues es una distancia de caminabilidad. De no ser así, por la naturaleza del servicio, se esperaría que se pudiera acceder a este a menos de 2000 metros [92].
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Se evalúa para el territorio que comprende el caso analizado. En este escenario corresponde al área en la que se desarrolla el macroproyecto de vivienda Ciudad Verde, con base en los edificios existentes en operación.
Método de medición/estimación
<p>Este indicador se estima con la cuantificación de la distancia euclidiana entre los conjuntos de vivienda existentes hacia el equipamiento de salud más cercano. Este cálculo se ejecutó en una herramienta de sistemas de información geográfica, en la que se representa la ubicación de los edificios de diferentes usos en el caso de estudio. Este indicador también puede ser evaluado con otras métricas de distancia, como la distancia en red a través de un sistema de infraestructura de transporte (vías, andenes, caminos).</p> <p>Dado que aún no se cuenta con un equipamiento que preste este servicio en el caso de estudio, se extendió la frontera de análisis fuera de los límites del macroproyecto, con el fin de evaluar las condiciones en las que se encuentra el acceso a este servicio.</p> <p>De esta forma es posible obtener una estimación de la proximidad a servicios de salud para cada una de las agrupaciones de vivienda, e incluso de cada edificio construido; esto depende de la cantidad y el nivel de detalle de la información que se tenga del proyecto. Esta evaluación también depende de la escala del estudio sobre la cual se desea evaluar el indicador. Para la visión general de Ciudad Verde, se tomó la media de las estimaciones del indicador para cada agrupación de vivienda.</p>
Formulación
$Ac_s = \overline{D_{ev-es}}$ <p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ac_s = Accesibilidad al servicio para el caso de estudio - $\overline{D_{ev-es}}$ = Media de la distancia entre los edificios de vivienda y los equipamientos de educación <p>Así:</p> <ul style="list-style-type: none"> - D_{ev-es} = Distancia euclidiana hacia el equipamiento de educación más cercano para cada edificio de vivienda (i) <p>El cálculo de las distancias se obtiene mediante una evaluación del caso en un software de información geográfica. De esta forma se obtiene una superficie de distancias a las edificaciones de servicio en el área de estudio.</p>

También es posible calcular este indicador al conocer las coordenadas de los edificios de vivienda y los equipamientos mediante la evaluación de la distancia entre dos puntos. De esta forma se obtendría la distancia desde cada edificio de vivienda hacia cada uno de los equipamientos con el servicio de interés, y el valor del indicador estimado con el promedio de los valores mínimos de cada una de las distancias calculadas para cada edificio de vivienda.
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Planos de urbanismo del proyecto analizado (planos y usos del suelo). - Planos de las huellas de los edificios construidos en el caso de estudio - Flujos de construcción y/o entregas de edificaciones para el proyecto analizado. <p>Para Ciudad Verde esta información fue provista por la empresa gestora del macroproyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ubicación de equipamientos de salud en Bogotá y Soacha <p>Esta información fue obtenida del IDECA, entidad de Bogotá, y el marco geoestadístico nacional gestionado por el DANE.</p>
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<p>La evaluación de proximidad a equipamientos como métrica de accesibilidad representa una facilidad de cálculo puesto que computacionalmente la estimación de distancia euclidiana para un área de interés es de baja complejidad. Sin embargo, al considerar el factor espacial como única variable para evaluar accesibilidad a un servicio, se evalúa la posibilidad de acceder al lugar en el que se presta dicho servicio, mas no hay forma de garantizar que se accede al servicio como tal, puesto que no se evalúa la capacidad de dichas edificaciones para suplir con la potencial demanda del servicio prestado.</p>

Tabla 87. Accesibilidad a edificaciones de servicios de seguridad

Nombre del indicador
Accesibilidad a edificaciones de servicio (Seguridad)
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Infraestructura urbana/ Acceso a servicios
Descripción
Define la proximidad de las agrupaciones de vivienda existentes en el caso de estudio a las edificaciones que prestan servicios de seguridad.
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico de la facilidad que tienen los habitantes del proyecto de acceder a servicios básicos, mediante la medición de distancia desde las agrupaciones de vivienda hacia las edificaciones en operación que prestan el servicio en cuestión.
Tipo de indicador
Cuantitativo.
Unidad de medida
Distancia; metros.
Estándar o valores de referencia
<p>Para la evaluación de Ciudad verde, se encontró que:</p> <p>El valor mínimo que puede tomar este indicador (para edificaciones contiguas a un equipamiento de seguridad) es de 21 m</p> <p>El valor máximo que puede tomar este indicador (dentro de los límites del macroproyecto) es de 1311 m.</p> <p>Para considerar que se tienen buenas condiciones de accesibilidad se considera que el valor de este indicador debería ser menor o igual a 500 m [92], [93] pues es una distancia caminable estándar.</p>
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Se evalúa para el territorio que comprende el caso analizado. En este escenario corresponde al área en la que se desarrolla el macroproyecto de vivienda Ciudad Verde, con base en los edificios existentes en operación.
Método de medición/estimación
Este indicador se estima con la cuantificación de la distancia euclidiana entre los conjuntos de vivienda existentes hacia el equipamiento de seguridad más cercano. Este cálculo se ejecutó en una herramienta de sistemas de información geográfica, en la que se representa la ubicación de los edificios de diferentes usos en el caso de estudio. El indicador también puede ser evaluado con otras métricas de distancia, como la distancia en red a través de un sistema de infraestructura de transporte (vías, andenes, caminos).

De esta forma es posible obtener una estimación de la proximidad a servicios de seguridad para cada una de las agrupaciones de vivienda, e incluso de cada edificio construido; esto depende de la cantidad y el nivel de detalle de la información que se tenga del proyecto. Esta evaluación también depende de la escala del estudio sobre la cual se desea evaluar el indicador. Para la visión general de Ciudad Verde, se tomó la media de las estimaciones del indicador para cada agrupación de vivienda.

Formulación

$$Ac_s = \overline{D_{ev-es}}$$

Dónde:

- Ac_s = Accesibilidad al servicio para el caso de estudio
- $\overline{D_{ev-es}}$ = Media de la distancia entre los edificios de vivienda y los equipamientos de educación

Así:

- D_{ev_i-es} = Distancia euclidiana hacia el equipamiento de educación más cercano para cada edificio de vivienda (*i*)

El cálculo de las distancias se obtiene mediante una evaluación del caso en un software de información geográfica. De esta forma se obtiene una superficie de distancias a las edificaciones de servicio en el área de estudio.

También es posible calcular este indicador al conocer las coordenadas de los edificios de vivienda y los equipamientos mediante la evaluación de la distancia entre dos puntos. De esta forma se obtendría la distancia desde cada edificio de vivienda hacia cada uno de los equipamientos con el servicio de interés, y el valor del indicador estimado con el promedio de los valores mínimos de cada una de las distancias calculadas para cada edificio de vivienda.

Fuentes de información

- Planos de urbanismo del proyecto analizado (planos y usos del suelo).
- Planos de las huellas de los edificios construidos en el caso de estudio
- Flujos de construcción y/o entregas de edificaciones para el proyecto analizado.

Para Ciudad Verde esta información fue provista por la empresa gestora del macroproyecto.

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

La evaluación de proximidad a equipamientos como métrica de accesibilidad representa una facilidad de cálculo puesto que computacionalmente la estimación de distancia euclidiana para un área de interés es de baja complejidad.

Sin embargo, al considerar el factor espacial como única variable para evaluar accesibilidad a un servicio, se evalúa la posibilidad de acceder al lugar en el que se presta dicho servicio, mas no hay forma de garantizar que se accede al servicio como tal, puesto que no se evalúa la capacidad de dichas edificaciones para suplir con la potencial demanda del servicio ofrecido.

Tabla 88. Accesibilidad a centros comerciales

Nombre del indicador
Accesibilidad a edificaciones de servicio (Centros comerciales)
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Infraestructura urbana/ Acceso a servicios
Descripción
Define la proximidad de las agrupaciones de vivienda existentes en el caso de estudio a los centros comerciales
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico de la facilidad que tienen los habitantes del proyecto de acceder a servicios básicos, mediante la medición de distancia desde las agrupaciones de vivienda hacia las edificaciones en operación que prestan el servicio en cuestión.
Tipo de indicador
Cuantitativo.
Unidad de medida
Distancia; metros.
Estándar o valores de referencia
Para la evaluación de Ciudad verde, se encontró que: El valor mínimo que puede tomar este indicador (para edificaciones contiguas a centros comerciales) es de 49 m El valor máximo que puede tomar este indicador (dentro de los límites del macroproyecto) es de 1082 m.

Para considerar que se tienen buenas condiciones de accesibilidad se considera que el valor de este indicador debería ser menor o igual a 500 m [92], [93] pues es una distancia caminable estándar.
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Se evalúa para el territorio que comprende el caso analizado. En este escenario corresponde al área en la que se desarrolla el macroproyecto de vivienda Ciudad Verde, con base en los edificios existentes en operación.
Método de medición/estimación
<p>Este indicador se estima con la cuantificación de la distancia euclidiana entre los conjuntos de vivienda existentes hacia el centro comercial en operación más cercano. Este cálculo se ejecutó en una herramienta de sistemas de información geográfica, en la que se representa la ubicación de los edificios de diferentes usos en el caso de estudio. El indicador también puede ser evaluado con otras métricas de distancia, como la distancia en red a través de un sistema de infraestructura de transporte (vías, andenes, caminos).</p> <p>De esta forma es posible obtener una estimación de la proximidad a comercio formal para cada una de las agrupaciones de vivienda, e incluso de cada edificio construido; esto depende de la cantidad y el nivel de detalle de la información que se tenga del proyecto. Esta evaluación también depende de la escala del estudio sobre la cual se desea evaluar el indicador. Para la visión general de Ciudad Verde, se tomó la media de las estimaciones del indicador para cada agrupación de vivienda.</p>
Formulación
$Ac_s = \overline{D_{ev-es}}$
<p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ac_s = Accesibilidad al servicio para el caso de estudio - $\overline{D_{ev-es}}$ = Media de la distancia entre los edificios de vivienda y los equipamientos de educación <p>Así:</p> <ul style="list-style-type: none"> - D_{evi-es} = Distancia euclidiana hacia el equipamiento de educación más cercano para cada edificio de vivienda (<i>i</i>) <p>El cálculo de las distancias se obtiene mediante una evaluación del caso en un software de información geográfica. De esta forma se obtiene una superficie de distancias a las edificaciones de servicio en el área de estudio. También es posible calcular este indicador al conocer las coordenadas de los edificios de vivienda y los equipamientos mediante la evaluación de la distancia entre dos puntos. De esta forma se obtendría la distancia desde cada edificio de vivienda hacia cada uno de los equipamientos con el servicio de interés, y el valor del indicador estimado con el promedio de los valores mínimos de cada una de las distancias calculadas para cada edificio de vivienda.</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Planos de urbanismo del proyecto analizado (planos y usos del suelo). - Planos de las huellas de los edificios construidos en el caso de estudio - Flujos de construcción y/o entregas de edificaciones para el proyecto analizado. <p>Para Ciudad Verde esta información fue provista por la empresa gestora del macroproyecto.</p>
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<p>La evaluación de proximidad a equipamientos como métrica de accesibilidad representa una facilidad de cálculo puesto que computacionalmente la estimación de distancia euclidiana para un área de interés es de baja complejidad.</p> <p>Sin embargo, al considerar el factor espacial como única variable para evaluar accesibilidad a un servicio, se evalúa la posibilidad de acceder al lugar en el que se presta dicho servicio, mas no hay forma de garantizar que se accede al servicio como tal, puesto que no se evalúa la capacidad de dichas edificaciones para suplir con la potencial demanda del servicio ofrecido. Adicionalmente, al considerar a los centros comerciales como la única tipología formal de este servicio, se deja por fuera otras alternativas de comercio que desarrollan los habitantes del proyecto (comercios pequeños en zonas comunales) que responden a las dinámicas de la población.</p>

Tabla 89. Cobertura de servicios educativos

Nombre del indicador
Cobertura de servicios educativos
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Infraestructura urbana/ Acceso a servicios
Descripción
Cuantifica la relación entre oferta y demanda de educación (preescolar, básica primaria y bachillerato) en la zona de análisis.
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico de la proporción de habitantes que se encuentran en edad escolar que se encuentran cubiertos por la oferta de servicios educativos existente dentro del macroproyecto. Siendo la educación un servicio crítico, este indicador complementa las desventajas de la medición de accesibilidad a este servicio con base en la proximidad a las edificaciones que lo prestan; pues se evalúa la relación entre oferta y demanda.
Tipo de indicador
Cuantitativo.
Unidad de medida
Adimensional; Porcentaje.
Estándar o valores de referencia
Se han encontrado desarrollos urbanos para los que no se destinaron edificaciones de servicio educativo en el área, de esta forma se registra un valor mínimo de 0% de cobertura de servicios educativos en el área del proyecto. Así mismo, según el modelo bajo el que se diseña el proyecto, si se define una microciudad en la que se desea que sea autosuficiente en los servicios para sus habitantes, se esperaría que este indicador tome valor de 100% [94], [95].
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Se evalúa para los habitantes y oferta del servicio en el caso analizado. En este escenario corresponde a la cantidad de cupos en los colegios y jardines infantiles, y de la población del macroproyecto de vivienda Ciudad Verde.
Método de medición/estimación
Este indicador se estima como el porcentaje de cupos educativos requeridos (población en edad escolar) que son suplidos por la oferta de educación instalada en el macroproyecto (cupos en colegios y jardines infantiles).
Formulación
$C_{SE} = \frac{C_{IED}}{P_{EE}}$
Dónde:
- C_{SE} = Cobertura de servicios educativos
- C_{IED} = Cupos de las instituciones educativas en el macroproyecto
- P_{EE} = Población del macroproyecto en edad escolar
Así:
$P_{EE} = P_M * P_{0-19}$
Dónde:
- P_M = Población del macroproyecto
- P_{0-19} = Porcentaje de la población en edad escolar (0-19 a).
Fuentes de información
- Flujos de construcción y/o entregas de edificaciones para el proyecto analizado. - Capacidad (cupos/jornada) de los colegios y jardines infantiles. *La anterior información fue provista por la empresa gestora del macroproyecto. - Encuesta realizada por el equipo del proyecto a los habitantes de Ciudad Verde. - Indicadores demográficos del municipio y departamento, resultantes del censo nacional de población 2018.
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
La evaluación de la relación entre oferta y demanda de servicios educativos permite complementar los resultados del indicador de accesibilidad basado en la proximidad a los equipamientos. De esta forma se obtiene un panorama más completo de las

condiciones de acceso a servicios educativos en el macroproyecto; pues se complementa el aspecto de espacialidad con la consideración de la capacidad de los equipamientos de educación con relación a la demanda de estos.

La población total de Ciudad Verde se obtuvo del procesamiento de los resultados de la encuesta realizada a sus habitantes, este valor corresponde al producto entre una aproximación del tamaño promedio del hogar en una muestra representativa del proyecto y el total de viviendas entregadas en el año base de análisis. La proporción de población en edad escolar se asumió para el intervalo de edades entre 0 y 19 años, definida por los indicadores demográficos del censo nacional de población, para el municipio de Soacha. Este cálculo puede sobreestimar la demanda de cupos escolares debido a la magnitud del rango de edades, sin embargo, se realizó de esta forma por la restricción de disponibilidad de información. Se recomendaría para un análisis más detallado de este indicador, evaluar el porcentaje de población en edad escolar con otro método, como un censo local para el caso de estudio.

Tabla 90. Consumo de electricidad durante la operación de las edificaciones residenciales (Cota inferior)

Nombre del indicador
Consumo de electricidad durante la operación de las edificaciones residenciales (Cota inferior)
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Consumo de energía/ Eficiencia energética
Descripción
Define el consumo anual de electricidad por unidad de vivienda, proveniente de la operación de los sistemas de iluminación y electrodomésticos.
Objetivo
Este indicador pretende realizar un diagnóstico de la eficiencia energética de los hogares. Específicamente, quiere evaluarse la eficiencia del consumo de electricidad. En ciertos casos, un alto consumo residencial de electricidad por hogar indica una utilización no sostenible de la energía, por ejemplo, debido a deficiencias técnicas en la transmisión y el uso final, o en virtud de ciertos patrones de comportamiento. De igual manera, un bajo consumo residencial responde en la mayoría de casos a sacrificios de bienestar y comodidad por parte de los ocupantes, en aras de disminuir el cobro por concepto de servicios públicos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Energía/Espacio/Tiempo; kWh/und/año
Estándar o valores de referencia
Mínimo 0 kWh/und/año; Máximo 1107 kWh/und/año
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población que hace parte de la evaluación del indicador (Sistema de análisis)
Método de medición/estimación
En principio, este indicador puede ser estimado mediante una aproximación bottom-up basada en estudios de caracterización del consumo energético para distintos sectores de la economía nacional. Dichos estudios proporcionan cifras de consumo de electricidad para el sector residencial, utilizando facturas anuales de electricidad y mediciones directas. Una segunda aproximación (bottom-up también) se basa en la realización de simulaciones energéticas basadas en prototipos representativos previamente definidos. La información necesaria para las simulaciones comprende tanto aspectos arquitectónicos, estructurales y tecnológicos de los espacios, como aspectos comportamentales de los usuarios. Por último, es posible desarrollar una aproximación top-down como herramienta de validación de órdenes de magnitud. Esta metodología consiste en utilizar balances energéticos locales para luego, mediante el número de suscripciones residenciales, estimar la energía total por unidad de hogar.
Pensando en un escenario ideal, la medición de este indicador partirá de la información histórica tarifaria de los ocupantes de las viviendas. Esta información debe ser gestionada mediante la aplicación de encuestas a una porción representativa de la población de estudio. Una encuesta bien diseñada partiría de la información contenida en los recibos de servicios públicos para obtener datos precisos de los últimos consumos mensuales por electricidad.

Formulación
Consumo anual de electricidad en una unidad de vivienda específica
$C_{unit} = \sum_{i=1}^{12} C_i$
En donde:
<p>C_{unit}: Consumo anual de electricidad en una unidad de vivienda específica (kWh/año) C_i: Consumo mensual de electricidad en el mes i en una unidad de vivienda específica (kWh/mes)</p>
Consumo promedio anual de electricidad por unidad de vivienda
$C_{Elec} = \sum_{j=1}^n \frac{C_{unit_j}}{n}$
En donde:
<p>C_{Elec}: Consumo promedio anual de electricidad por unidad de vivienda (kWh/und/año) C_{unit_j}: Consumo anual de electricidad en una unidad de vivienda j específica (kWh/año) n: Número representativo de unidades de vivienda (und)</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Encuestas a ocupantes de las viviendas residenciales - Consulta a la Unidad de Planeación Minero Energética - Consulta a las empresas constructoras del proyecto - Consulta a las empresas proveedoras de energía eléctrica
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Los valores de referencia empleados en este indicador fueron seleccionados especialmente para el caso de estudio con base en las encuestas realizadas a la población y el consumo de subsistencia nacional. Para una visión más amplia de los resultados, se recomienda utilizar marcos de referencia internacionales. - Los indicadores de consumo de electricidad de cota inferior y de cota superior son excluyentes entre sí. Es recomendable utilizar el indicador de cota inferior en las viviendas que utilicen gas natural como combustible en el proceso de calentamiento de agua.

Tabla 91. Consumo de electricidad durante la operación de las edificaciones residenciales (Cota superior)

Nombre del indicador
Consumo de electricidad durante la operación de las edificaciones residenciales (Cota superior)
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Consumo de energía/ Eficiencia energética
Descripción
Define el consumo anual de electricidad por unidad de vivienda, proveniente de la operación de los sistemas de iluminación y electrodomésticos.
Objetivo
Este indicador pretende realizar un diagnóstico de la eficiencia energética de los hogares. Específicamente, quiere evaluarse la eficiencia del consumo de electricidad. En ciertos casos, un alto consumo residencial de electricidad por hogar indica una utilización no sostenible de la energía, por ejemplo, debido a deficiencias técnicas en la transmisión y el uso final, o en virtud de ciertos patrones de comportamiento. De igual manera, un bajo consumo residencial responde en la mayoría de casos a sacrificios de bienestar y comodidad por parte de los ocupantes, en aras de disminuir el cobro por concepto de servicios públicos.
Tipo de indicador
Cuantitativo

Unidad de medida
Energía/Espacio/Tiempo; kWh/und/año
Estándar o valores de referencia
Mínimo 1107 kWh/und/año; Máximo 3000 kWh/und/año
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población que hace parte de la evaluación del indicador (Sistema de análisis)
Método de medición/estimación
<p>En principio, este indicador puede ser estimado mediante una aproximación bottom-up basada en estudios de caracterización del consumo energético para distintos sectores de la economía nacional. Dichos estudios proporcionan cifras de consumo de electricidad para el sector residencial, utilizando facturas anuales de electricidad y mediciones directas. Una segunda aproximación (bottom-up también) se basa en la realización de simulaciones energéticas basadas en prototipos representativos previamente definidos. La información necesaria para las simulaciones comprende tanto aspectos arquitectónicos, estructurales y tecnológicos de los espacios, como aspectos comportamentales de los usuarios. Por último, es posible desarrollar una aproximación top-down como herramienta de validación de órdenes de magnitud. Esta metodología consiste en utilizar balances energéticos locales para luego, mediante el número de suscripciones residenciales, estimar la energía total por unidad de hogar.</p> <p>Pensando en un escenario ideal, la medición de este indicador partirá de la información histórica tarifaria de los ocupantes de las viviendas. Esta información debe ser gestionada mediante la aplicación de encuestas a una porción representativa de la población de estudio. Una encuesta bien diseñada partiría de la información contenida en los recibos de servicios públicos para obtener datos precisos de los últimos consumos mensuales por electricidad.</p>
Formulación
Consumo anual de electricidad en una unidad de vivienda específica
$C_{unit} = \sum_{i=1}^{12} C_i$
En donde:
C_{unit} : Consumo anual de electricidad en una unidad de vivienda específica (kWh/año) C_i : Consumo mensual de electricidad en el mes i en una unidad de vivienda específica (kWh/mes)
Consumo promedio anual de electricidad por unidad de vivienda
$C_{Elec} = \sum_{j=1}^n \frac{C_{unit_j}}{n}$
En donde:
C_{Elec} : Consumo promedio anual de electricidad por unidad de vivienda (kWh/und/año) C_{unit_j} : Consumo anual de electricidad en una unidad de vivienda j específica (kWh/año) n : Número representativo de unidades de vivienda (und)
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Encuestas a ocupantes de las viviendas residenciales - Consulta a la Unidad de Planeación Minero Energética - Consulta a las empresas constructoras del proyecto - Consulta a las empresas proveedoras de energía eléctrica
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Los valores de referencia empleados en este indicador fueron seleccionados especialmente para el caso de estudio con base en las encuestas realizadas a la población y el consumo de subsistencia nacional. Para una visión más amplia de los resultados, se recomienda utilizar marcos de referencia internacionales.

- Los indicadores de consumo de electricidad de cota inferior y de cota superior son excluyentes entre sí. Es recomendable utilizar el indicador de cota superior en las viviendas que utilicen electricidad como combustible en el proceso de calentamiento de agua.

Tabla 92. Consumo de gas natural durante la operación de las edificaciones residenciales (Cota inferior)

Nombre del indicador
Consumo de gas natural durante la operación de las edificaciones residenciales (Cota inferior)
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Consumo de energía/ Eficiencia energética
Descripción
Define el consumo anual de gas natural por unidad de vivienda, proveniente de la operación de los sistemas de cocción de alimentos y calentamiento de agua.
Objetivo
Este indicador pretende realizar un diagnóstico de la eficiencia energética de los hogares. Específicamente, quiere evaluarse la eficiencia del consumo de gas natural. En ciertos casos, un alto consumo residencial de gas natural por hogar indica una utilización no sostenible de la energía, por ejemplo, debido a deficiencias técnicas en la transmisión y el uso final, o en virtud de ciertos patrones de comportamiento. De igual manera, un bajo consumo residencial responde en la mayoría de casos a sacrificios de bienestar y comodidad por parte de los ocupantes, en aras de disminuir el cobro por concepto de servicios públicos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Volumen/Espacio/Tiempo; m ³ /und/año
Estándar o valores de referencia
Mínimo 0 m ³ /und/año; Máximo 271 m ³ /und/año
Frecuencia de reporte
Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población que hace parte de la evaluación del indicador (Sistema de análisis)
Método de medición/estimación
<p>En principio, este indicador puede ser estimado mediante una aproximación bottom-up basada en estudios de caracterización del consumo energético para distintos sectores de la economía nacional. Dichos estudios proporcionan cifras de consumo de gas natural para el sector residencial, utilizando facturas anuales de gas natural y mediciones directas. Una segunda aproximación (bottom-up también) se basa en la realización de simulaciones energéticas basadas en prototipos representativos previamente definidos. La información necesaria para las simulaciones comprende tanto aspectos arquitectónicos, estructurales y tecnológicos de los espacios, como aspectos comportamentales de los usuarios. Por último, es posible desarrollar una aproximación top-down como herramienta de validación de órdenes de magnitud. Esta metodología consiste en utilizar balances energéticos locales para luego, mediante el número de suscripciones residenciales, estimar la energía total por unidad de hogar.</p> <p>Pensando en un escenario ideal, la medición de este indicador partirá de la información histórica tarifaria de los ocupantes de las viviendas. Esta información debe ser gestionada mediante la aplicación de encuestas a una porción representativa de la población de estudio. Una encuesta bien diseñada partiría de la información contenida en los recibos de servicios públicos para obtener datos precisos de los últimos consumos mensuales por gas natural.</p>
Formulación
Consumo anual de gas natural en una unidad de vivienda específica
$C_{unit} = \sum_{i=1}^{12} C_i$

En donde:

C_{unit} : Consumo anual de gas natural en una unidad de vivienda específica (m³/año)

C_i : Consumo mensual de gas natural en el mes i en una unidad de vivienda específica (m³/mes)

Consumo promedio anual de gas natural por unidad de vivienda

$$C_{Gas} = \sum_{j=1}^n \frac{C_{unit_j}}{n}$$

En donde:

C_{Gas} : Consumo promedio anual de gas natural por unidad de vivienda (m³/und/año)

C_{unit_j} : Consumo anual de gas natural en una unidad de vivienda j específica (m³/año)

n : Número representativo de unidades de vivienda (und)

Fuentes de información

- Encuestas a ocupantes de las viviendas residenciales
- Consulta a la Unidad de Planeación Minero Energética
- Consulta a las empresas constructoras del proyecto
- Consulta a las empresas proveedoras de gas natural

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

- Los valores de referencia empleados en este indicador fueron seleccionados especialmente para el caso de estudio con base en las encuestas realizadas a la población y el consumo de subsistencia nacional. Para una visión más amplia de los resultados, se recomienda utilizar marcos de referencia internacionales.
- Los indicadores de consumo de gas natural de cota inferior y de cota superior son excluyentes entre sí. Es recomendable utilizar el indicador de cota inferior en las viviendas que utilicen electricidad como combustible en el proceso de calentamiento de agua.

Tabla 93. Consumo de gas natural durante la operación de las edificaciones residenciales (Cota superior)

Nombre del indicador
Consumo de gas natural durante la operación de las edificaciones residenciales (Cota superior)
Categorización
Edificaciones e infraestructura urbana/ Consumo de energía/ Eficiencia energética
Descripción
Define el consumo anual de gas natural por unidad de vivienda, proveniente de la operación de los sistemas de cocción de alimentos y calentamiento de agua.
Objetivo
Este indicador pretende realizar un diagnóstico de la eficiencia energética de los hogares. Específicamente, quiere evaluarse la eficiencia del consumo de gas natural. En ciertos casos, un alto consumo residencial de gas natural por hogar indica una utilización no sostenible de la energía, por ejemplo, debido a deficiencias técnicas en la transmisión y el uso final, o en virtud de ciertos patrones de comportamiento. De igual manera, un bajo consumo residencial responde en la mayoría de casos a sacrificios de bienestar y comodidad por parte de los ocupantes, en aras de disminuir el cobro por concepto de servicios públicos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Volumen/Espacio/Tiempo; m ³ /und/año
Estándar o valores de referencia
Mínimo 271 m ³ /und/año; Máximo 650 m ³ /und/año
Frecuencia de reporte

Estimación anual
Ámbito de aplicación
Población que hace parte de la evaluación del indicador (Sistema de análisis)
Método de medición/estimación
<p>En principio, este indicador puede ser estimado mediante una aproximación bottom-up basada en estudios de caracterización del consumo energético para distintos sectores de la economía nacional. Dichos estudios proporcionan cifras de consumo de gas natural para el sector residencial, utilizando facturas anuales de gas natural y mediciones directas. Una segunda aproximación (bottom-up también) se basa en la realización de simulaciones energéticas basadas en prototipos representativos previamente definidos. La información necesaria para las simulaciones comprende tanto aspectos arquitectónicos, estructurales y tecnológicos de los espacios, como aspectos comportamentales de los usuarios. Por último, es posible desarrollar una aproximación top-down como herramienta de validación de órdenes de magnitud. Esta metodología consiste en utilizar balances energéticos locales para luego, mediante el número de suscripciones residenciales, estimar la energía total por unidad de hogar.</p> <p>Pensando en un escenario ideal, la medición de este indicador partirá de la información histórica tarifaria de los ocupantes de las viviendas. Esta información debe ser gestionada mediante la aplicación de encuestas a una porción representativa de la población de estudio. Una encuesta bien diseñada partiría de la información contenida en los recibos de servicios públicos para obtener datos precisos de los últimos consumos mensuales por gas natural.</p>
Formulación
Consumo anual de gas natural en una unidad de vivienda específica
$C_{unit} = \sum_{i=1}^{12} C_i$
En donde:
<p>C_{unit}: Consumo anual de gas natural en una unidad de vivienda específica (m³/año) C_i: Consumo mensual de gas natural en el mes i en una unidad de vivienda específica (m³/mes)</p>
Consumo promedio anual de gas natural por unidad de vivienda
$C_{Gas} = \sum_{j=1}^n \frac{C_{unit_j}}{n}$
En donde:
<p>C_{Gas}: Consumo promedio anual de gas natural por unidad de vivienda (m³/und/año) C_{unit_j}: Consumo anual de gas natural en una unidad de vivienda j específica (m³/año) n: Número representativo de unidades de vivienda (und)</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Encuestas a ocupantes de las viviendas residenciales - Consulta a la Unidad de Planeación Minero Energética - Consulta a las empresas constructoras del proyecto - Consulta a las empresas proveedoras de gas natural
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
<ul style="list-style-type: none"> - Los valores de referencia empleados en este indicador fueron seleccionados especialmente para el caso de estudio con base en las encuestas realizadas a la población y el consumo de subsistencia nacional. Para una visión más amplia de los resultados, se recomienda utilizar marcos de referencia internacionales. - Los indicadores de consumo de gas natural de cota inferior y de cota superior son excluyentes entre sí. Es recomendable utilizar el indicador de cota superior en las viviendas que utilicen gas natural como combustible en el proceso de calentamiento de agua.

Tabla 94. Carbono incorporado de las edificaciones residenciales

Nombre del indicador
Carbono incorporado de las edificaciones residenciales
Categorización
Edificaciones e Infraestructura Urbana/ Procesos Constructivos / Materiales
Descripción
Cuantifica las emisiones de dióxido de carbono equivalente asociadas a la etapa de producto y a la construcción de las edificaciones residenciales (etapas del ciclo de vida A1-A5).
Objetivo
Este indicador busca evaluar un impacto ambiental fundamental generado por las edificaciones residenciales: el Potencial de calentamiento global (GWP). Idealmente, se pretende que la optimización de los procesos constructivos, el manejo eficiente de los recursos y el uso de materiales con mejores desempeños ambientales generen una disminución del valor del indicador. Al reducir el GWP se producirá una correspondiente mitigación de las emisiones asociadas al cambio climático.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Emisiones/Área; kgCO _{2eq} /m ²
Estándar o valores de referencia
El valor mínimo del GWP de las edificaciones residenciales que ha sido reportado a nivel internacional es de 31 kgCO _{2eq} /m ² [96]. El valor máximo del GWP de las edificaciones residenciales que ha sido reportado a nivel internacional es de 935 kgCO _{2eq} /m ² [96].
Frecuencia de reporte
Estimación única al finalizar la construcción de las edificaciones.
Ámbito de aplicación
El indicador es evaluado para todas las edificaciones residenciales construidas en el macroproyecto durante el periodo de análisis.
Método de medición/estimación
Este indicador en un principio deberá ser estimado en concordancia con metodologías definidas en estándares internacionales ISO 14 040 y EN 15 978. El indicador toma en consideración las primeras etapas del ciclo de vida de la edificación (Modulo A1-A5). La estimación del carbono incorporado de la edificación debe apoyarse en la mayor cantidad de fuentes de información disponibles. Debe incluir información referente a los principales materiales y componentes utilizados, debe partir de un análisis integral de la edificación (y no solamente limitarse a la estructura) y también debe apoyarse en todas las fuentes de información disponibles. Idealmente, además, debe tomar en consideración declaraciones ambientales de producto (DAP) y mediciones en la obra respecto a los consumos energéticos asociados al transporte y a la construcción de las edificaciones. Ahora bien, en caso de no disponer de esta información, se puede remitir a hallazgos logrados en investigaciones relevantes y/o utilizar modelos pertinentes basados en supuestos debidamente sustentados. No resultaría práctico pretender realizar análisis específicos de cada una de las edificaciones debido al elevado número de unidades que deberían ser estudiadas individualmente; por ello, una aproximación válida, empleada en muchos estudios, consiste en partir de prototipos de vivienda que representen adecuadamente la diversidad de edificaciones incluidas.
Formulación
Potencial de calentamiento global (GWP) en la etapa de producto y construcción de las edificaciones:
$\frac{GWP_{total}}{\text{Área}_{total}} = \frac{\sum GWP_i}{\sum \text{Área}_i}$
En donde: GWP _{total} : Carbono incorporado de las edificaciones residenciales del macroproyecto (kgCO ₂)

Área_{total} : Área construida de las edificaciones residenciales del macroproyecto. El área debe seguir la clasificación IPMS 1 (m^2).

GWP_i : Carbono incorporado de una edificación i (kgCO_2)

Área_i : Área construida de una edificación i . El área debe seguir la clasificación IPMS 1 (m^2).

$$\text{GWP}_i = \text{GWP}_{Ai} = \text{GWP}_{A1-A3} + \text{GWP}_{A4} + \text{GWP}_{A5}$$

En donde:

GWP_i : Carbono incorporado de la vivienda i (kgCO_2).

GWP_{Ai} : Carbono emitido durante la producción y construcción de una edificación i (kgCO_2).

GWP_{A1-A3i} : Emisiones de carbono asociadas a la etapa de ‘producto’ de la edificación i (kgCO_2).

GWP_{A4i} : Emisiones de carbono asociadas a la etapa de ‘transporte’ de la edificación i (kgCO_2).

GWP_{A5i} : Emisiones de carbono asociadas a la etapa de ‘construcción’ de la edificación i (kgCO_2).

Fuentes de información

- Planos arquitectónicos de dos edificaciones en Ciudad Verde.
- Análisis de Precios Unitarios: Construdata [97]
- Factores de emisión de materiales encontrados en la literatura: UPME y ICE Database. [98], [99].
- Estudios y datos locales que permiten cuantificar las emisiones durante la etapa de construcción [100], [101].

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Una de las ventajas de este indicador es que define una metodología que permite cuantificar impactos ambientales en etapas del ciclo de vida que, siendo relevantes, generalmente no son tomadas en cuenta en muchos análisis.

Una importante desventaja es la dificultad que se tiene actualmente para obtener información completa y confiable sobre el carbono embebido en estas etapas del ciclo de vida.

Una recomendación futura importante es que esta evaluación ambiental pueda ser realizada en un gran número y variedad de tipos de edificaciones, de tal manera que se pueda consolidar una amplia base de datos que sustente la elaboración de valores de referencia a nivel nacional.

Tabla 95. Carbono incorporado de la infraestructura urbana

Nombre del indicador
Carbono incorporado de la infraestructura urbana
Categorización
Edificaciones e Infraestructura Urbana/ Procesos Constructivos / Materiales
Descripción
Cuantifica las emisiones de dióxido de carbono equivalente promedio asociadas a la etapa de producto y a la construcción del segmento de paisajismo ³ de la infraestructura urbana (etapas del ciclo de vida A1-A5).
Objetivo
Este indicador busca evaluar un impacto ambiental fundamental generado por la infraestructura urbana: el potencial de calentamiento global (GWP). Idealmente, se pretende que la optimización de los procesos constructivos, el manejo eficiente de los recursos y el uso de materiales con mejores desempeños ambientales generen una disminución del valor del indicador. Al reducir el GWP se producirá una correspondiente mitigación del cambio climático.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Emisiones/Área; $\text{kgCO}_{2eq}/\text{m}^2$

³ El segmento de la infraestructura urbana denominado en el presente estudio como “paisajismo” se refiere a lo que ha sido llamado por algunos autores como *structural landscape* [102].

Estándar o valores de referencia
<p>En este momento no se cuenta con estándares o valores de referencia globalmente aceptados. Ahora bien, se toma como punto de partida valores presentados en el análisis realizado en una investigación sobre tres macroproyectos construidos en Turquía [102]:</p> <p>Los valores reportados oscilan entre 29.9 y 30.1 kgCO_{2eq}/m².</p>
Frecuencia de reporte
Estimación única al finalizar la construcción de las edificaciones y la infraestructura urbana del macroproyecto.
Ámbito de aplicación
El indicador es evaluado para toda la infraestructura urbana construida en el macroproyecto.
Método de medición/estimación
<p>Este indicador, en un principio, deberá ser estimado en concordancia con la metodología definida en el estándar internacional ISO 14 040. El indicador toma en consideración las primeras etapas del ciclo de vida (Modulo A1-A5) y está basado en el marco de referencia propuesto en recientes investigaciones que incluyen las emisiones de carbono de la infraestructura urbana presente en los grandes proyectos de vivienda. Como parte del segmento de paisajismo de la infraestructura urbana se incluyen los senderos y andenes, parqueaderos al aire libre y parques infantiles.</p> <p>Tal y como se menciona en el anterior indicador, la estimación del carbono incorporado de la edificación debe procurar ser lo más completa posible. Debe incluir la mayoría de los materiales y componentes utilizados y utilizar las mejores fuentes de información disponibles. Idealmente, se debe contar con declaraciones ambientales de producto y mediciones in situ respecto a los consumos energéticos durante el transporte y la construcción de las edificaciones. Ahora bien, en caso de que no disponer de esta información, se puede recurrir a datos genéricos y/o utilizar modelos basados en supuestos debidamente sustentados.</p>
Formulación
<p style="text-align: center;">Potencial de calentamiento global (GWP) en la etapa de producto y construcción de las edificaciones:</p> $\frac{GWP_{Ptotal}}{\text{Área}_{total}} = \frac{\sum GWP_{Pj}}{\sum \text{Área}_i}$ <p>En donde:</p> <p><i>GWP_{Ptotal}</i>: Carbono incorporado del paisajismo del macroproyecto (kgCO₂)</p> <p><i>Área_{total}</i>: Área construida de las edificaciones residenciales del macroproyecto. El área debe seguir la clasificación IPMS 1 (m²).</p> <p><i>GWP_{Pj}</i>: Carbono incorporado de uno de los componentes del paisajismo j (kgCO₂)</p> <p><i>Área_i</i>: Área construida de una edificación i. El área debe seguir la clasificación IPMS 1 (m²).</p> $GWP_{Pj} = GWP_{P(A)} = GWP_{P(A1-A3)} + GWP_{P(A4)} + GWP_{P(A5)}$ <p>En donde:</p> <p><i>GWP_{Pj}</i>: Carbono incorporado del componente de paisajismo j (kgCO₂).</p> <p><i>GWP_{P(A)}</i>: Carbono emitido durante la producción y construcción del componente de paisajismo j (kgCO₂).</p> <p><i>GWP_{P(A1-A3)}</i>: Emisiones de carbono asociadas a la etapa de ‘producto’ del componente de paisajismo j (kgCO₂).</p> <p><i>GWP_{P(A4)}</i>: Emisiones de carbono asociadas a la etapa de ‘transporte’ del componente de paisajismo j (kgCO₂)</p> <p><i>GWP_{P(A5)}</i>: Emisiones de carbono asociadas a la etapa de ‘construcción’ del componente de paisajismo j (kgCO₂).</p>
Fuentes de información
<ul style="list-style-type: none"> - Planos urbanísticos de Ciudad Verde - Planos urbanísticos de dos conjuntos residenciales de Ciudad Verde - Cartilla de andenes, Bogotá D.C [103]. - Factores de emisión de materiales encontrados en la literatura:[98], [104]. - Análisis de Precios Unitarios: Construdata [97].
Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras
Una de las ventajas de este indicador es que define una metodología que permite cuantificar impactos ambientales incorporados de un componente de los desarrollos de vivienda generalmente no tenidos en cuenta. Realizar el análisis para

diferentes macroproyectos va a permitir comparar el impacto que tiene este componente al incluir variables tales como la densidad de la urbanización y los ingresos de los ocupantes.

Una importante desventaja es la dificultad que se tiene actualmente para obtener información completa y confiable sobre el carbono embebido relacionado con estos factores.

Una recomendación futura es que esta evaluación ambiental pueda ser realizada en un gran número de macroproyectos, de tal manera que se pueda consolidar una amplia base de datos que sustente la elaboración de valores de referencia. Adicionalmente, es importante que en análisis futuros de macroproyectos se pueda complementar este indicador con información que incluya el otro componente de la infraestructura urbana: la infraestructura de transporte.

Tabla 96. Cantidad de residuos generados durante la construcción de edificaciones residenciales

Nombre del indicador
Cantidad de residuos generados durante la construcción de edificaciones residenciales
Categorización
Edificaciones e Infraestructura Urbana/ Procesos Constructivos / Materiales
Descripción
Cuantifica los residuos de construcción que se generan durante la construcción de las viviendas (A5).
Objetivo
Este indicador busca evaluar uno de los impactos que se generan durante la construcción las edificaciones: los residuos de construcción y demolición (RCD). Idealmente se busca que el valor de este indicador disminuya al optimizar los procesos constructivos y lograr un uso más eficiente de los recursos.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Volumen/Área; m ³ /m ²
Estándar o valores de referencia
El valor mínimo se define como la no generación de residuos durante la construcción. Se cuantificaría como la generación de 0 m ³ /m ² de RCD. El valor máximo se define como el doble del valor encontrado por la Fundación de la Industria de la Construcción (FIC) en Chile para el año 2012: 0.42 m ³ /m ² [105]. *El valor encontrado por la ICCh es el valor más elevado reportado en una revisión local de índices de generación de residuos [106].
Frecuencia de reporte
Estimación única al finalizar la construcción de las edificaciones.
Ámbito de aplicación
Se deben evaluar todas las viviendas construidas en el periodo de análisis.
Método de medición/estimación
Este indicador deberá ser estimado a partir de la cuantificación de los residuos generados en la obra. Se tienen en cuenta los residuos producidos durante la etapa de construcción de la edificación (A5). En este indicador no se tienen en cuenta los RCD resultantes de los procesos de demolición y de excavación. La estimación de los residuos generados debe procurar ser lo más completa posible e incluir la totalidad de los RCD generados en la etapa considerada. En caso de no disponer de información directa, se puede recurrir a datos genéricos y/o utilizar modelos basados en supuestos debidamente sustentados.
Formulación
Índice de generación de RCD

$$IGR = \frac{\sum RCD_i}{\sum A_i}$$

En donde:

IGR: Índice de generación de RCD promedio del macroproyecto (m³/m²).

RCD: Residuos generados durante la construcción de la edificación *i* (m³).

A_i: Área construida de la edificación *i*. El área debe seguir la clasificación IPMS 1 (m²).

Fuentes de información

- Factores de generación de residuos a nivel nacional de vivienda social encontrados en la literatura [107].
- Factores de generación de residuos a nivel distrital de vivienda social según sistema constructivo encontrados en la literatura [108].

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Una ventaja del indicador es que permite evaluar la eficiencia que tiene el proceso constructivo con relación al uso de recursos materiales.

Una desventaja importante es la poca disponibilidad de información completa y confiable respecto a la generación de residuos durante esta etapa.

Una recomendación futura es que se debe buscar recolectar la información lo más completa posible en la mayor cantidad de obras posibles del macroproyecto.

Tabla 97. Porcentaje de RAP utilizado en los pavimentos

Nombre del indicador
Porcentaje de RAP utilizado en los pavimentos
Categorización
Edificaciones e Infraestructura Urbana/ Procesos Constructivos / Materiales
Descripción
Determinar el porcentaje de pavimento asfáltico reciclado (RAP) utilizado en una capa del pavimento, preferiblemente en las capas superiores.
Objetivo
Este indicador busca evaluar el uso de una de las alternativas ambientales más interesantes a nivel de infraestructura urbana: el uso de pavimento asfáltico reciclado en la elaboración de pavimento asfáltico flexible.
Tipo de indicador
Cuantitativo
Unidad de medida
Masa / Masa; kg/kg
Estándar o valores de referencia
El valor mínimo que puede tomar el indicador es 0% (no utilización de RAP). El valor máximo que puede tomar el indicador es 100% (construcción de la capa utilizando solamente RAP y no utilizando materiales vírgenes).
Frecuencia de reporte
Estimación única al finalizar la construcción de la infraestructura urbana.
Ámbito de aplicación
Vías dentro de los límites espaciales del macroproyecto.
Método de medición/estimación

Este indicador deberá ser estimado a partir de la proporción de RAP adicionado, ya sea a las mezclas asfálticas o a las capas de base o subbase. El valor porcentual del RAP empleado se calcula específicamente para la capa a la cual es adicionado; de esta manera el porcentaje de RAP se obtiene al dividir el peso del RAP por el peso total de la capa específica a la cual es incorporado (capa asfáltica, base o subbase). Idealmente el RAP debe ser incorporado a la superficie asfáltica ya que al hacerlo se estaría reemplazando unos materiales vírgenes, tanto agregados como, muy especialmente, bitumen, que tienen no solo un costo económico considerablemente mayor, sino que generan una huella de carbono significativamente superior.

Formulación

Porcentaje de RAP utilizado

$$\%RAP = \frac{M_{RAP}}{M_{TOTAL}} \%$$

En donde:

$\%RAP$: Porcentaje de pavimento asfáltico reciclado utilizado en una capa (%).

M_{RAP} : Masa de pavimento asfáltico reciclado utilizado en una capa (kg).

M_{TOTAL} : Masa total de una capa del pavimento (kg).

Fuentes de información

- *Consulta a desarrolladores de infraestructura vial*

Ventajas, desventajas y recomendaciones futuras

Una desventaja importante es que la estimación del indicador se hace con base en la información suministrada por el desarrollador.

Una recomendación futura es que se debe buscar validar la información reportada con interventorías independientes que certifiquen la confiabilidad de la información suministrada.