



Modelo multi-propósito para el seguimiento y ordenamiento del territorio

Departamento Administrativo de Planeación de Medellín
Subdirección de Información y Evaluación Estratégica
2019



Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín

2

**Departamento Administrativo de Planeación
Subdirección de Información y Evaluación Estratégica
Observatorio de Políticas Públicas de la Alcaldía de Medellín**

Medellín, 2019

ANA CATHALINA OCHO YEPES
Directora Departamento Administrativo de Planeación

JOSÉ NORMAN MEJÍA SUÁREZ
Subdirector Administrativo
Subdirección de Información

CHARLE AUGUSTO LONDOÑO HENAO
Economista
Observatorio de Políticas Públicas



📍 Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
🕒 Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co



Tabla de contenido

1. Introducción	4
2. Modelo multi-propósito	6
2.1 Lotes potencial de desarrollo	7
2.2. Cuantificación y metrica (batería de indicadores).....	9
2.3. Capacidad de soporte	11
2.4. Simulación financiera	12
3. Índice de capacidad de soporte.....	14
3.1. Antecedentes.....	15
3.2. Metodología	16
3.3. Resultados	18
4. Índice de capacidad funcional	20
4.1. Metodología	21
4.2. Resultados	23
5. Conclusiones.....	24
6. Bibliografía.....	25





Modelo multi-propósito para el seguimiento y ordenamiento del territorio

1. Introducción

Medellín es la segunda ciudad capital de Colombia, con una población proyectada urbana para 2018 de 2.421.392 habitantes y un perímetro de 11.358 hectáreas que se divide en 388 polígonos de tratamiento¹. La ciudad al tener unas características topográficas de valle ha generado una alta urbanización con aproximadamente 298 personas por hectárea (per/ha) (para 2018)². De acuerdo al *Atlas of Urban Expansion* este valor se encuentra solo por debajo de ciudades como Dhaka en el país de Bangladesh con 372 per/ha (para 2014) y de Hong Kong en China con 352 per/ha (para 2013).

En los últimos años, la ciudad ha experimentado un proceso de transformación en su territorio, principalmente de infraestructura social en sus zonas marginales. Esto se ha logrado a partir de la construcción de colegios, bibliotecas, parques, UVA (Unidades de Vida Articulada), entre otras. Igualmente, se ha desarrollado infraestructura para la movilidad, como el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá –Metro, Metrocable, Tranvía, Metroplús y rutas alimentadoras– conectando la zona céntrica de la ciudad en donde se concentran la mayor parte de actividades económicas, con las zonas donde habita la población de menores recursos económicos, especialmente en los bordes nororiental, centro-occidental y centro-oriental de la ciudad– reduciendo de este modo la segregación social-espacial y mejorando las condiciones para el desplazamiento de la ciudadanía por los diferentes motivos –trabajo, estudio, salud, recreación y demás–, lo que repercute positivamente en la movilidad social³.

Sin embargo, se siguen requiriendo intervenciones en la construcción de espacio público, equipamientos sociales e infraestructura para la movilidad. Esto muestra los desafíos que presenta la ciudad para continuar en su senda de crecimiento, y por consecuencia, la importancia de la planificación del territorio. Para esto se debe buscar, entre otros aspectos, tener estrategias de seguimiento y evaluación que permitan:

- La definición de normas que garanticen un equilibrio en el desarrollo constructivo y dotacional de los territorios.
- Indicadores e índices que permitan reconocer tendencias sobre alta presencia de actividades económicas, mixtura de usos e infraestructura que facilita las funciones urbanas por medio de los índices de capacidad de soporte, funcional, de mixtura, de centralidades, entre otras.

¹ “Los tratamientos son las determinaciones del Plan de Ordenamiento Territorial que orienta de manera diferenciada las intervenciones en el territorio, de acuerdo con sus características y su capacidad de soporte, permitiendo establecer las normas urbanísticas aplicables a cada zona morfológica homogénea” (Artículo 231. Acuerdo 48 de 2014).

² Las hectáreas del perímetro urbano son calculadas en términos netos, es decir, no se incluye el suelo de espacio público, equipamientos y vías.

³ El concepto de movilidad social se relaciona en como los hijos de una familia podrían acceder a más y mejores oportunidades que sus padres, implicando la independencia de sus resultados socio-económicos de las circunstancias familiares, étnicas o regionales, haciendo posible mejoras dotacionales que le pueda ofrecer un mejor desarrollo de sus capacidades (Angulo, Azevedo, Gaviria y Páez, 2012).





Alcaldía de Medellín

- Indicadores e índices para el reconocimiento de cambios en el territorio que posibiliten el ajuste en la definición de normas y el establecimiento de oportunidades de redesarrollo.
- Indicadores e índices que generen alertas tempranas sobre posibles desequilibrios en el territorio para la definición de estrategias de política pública.

Por este motivo, se ha desarrollado una herramienta para el seguimiento y la planificación del territorio, denominada Modelo Multi-propósito (MMP). Este, en su primera etapa fue utilizado para la revisión y ajuste del Acuerdo 46 de 2006 del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y posterior formulación del Acuerdo 48 de 2014 del POT en la asignación de las normas generales –densidades, alturas, índices de construcción y obligaciones urbanísticas– a partir de dos módulos –capacidad de soporte y simulación financiera–. Con estos se pudo dar apoyo para lograr una asignación de aprovechamientos equilibrada, en la cual se veló tanto por la sostenibilidad del territorio como por la generación de oportunidades de desarrollo inmobiliario. Igualmente, ha sido utilizado para analizar la aplicabilidad de diferentes instrumentos de planificación, destacándose los Macroproyectos del Río, y los instrumentos de venta y transferencia de derechos de construcción y desarrollo.

Lo anterior, posibilita evidenciar las ventajas que puede generar la planificación basada en datos. En una segunda etapa, se está implementando una herramienta de apoyo para el seguimiento y evaluación del POT. Esto permite poder monitorear los cambios que se vienen presentando en el territorio a través del tiempo, y de esta forma, conocer su estado actual, que cambios se están fraguando, cuales son las necesidades presentes y futuras, y que ventajas sociales y económicas ofrece. Con esta información además de poderse definir estrategias de intervención de política pública, se puede mostrar oportunidades para la realización de inversiones en la ciudad, evaluar fenómenos, entre otras.

Para lograr estos objetivos, se ha identificado que es necesario tener herramientas de procesamiento y visualización, dado el gran volumen de información y los requerimientos que se pueden generar en este modelo para hacer análisis, por este motivo fueron fusionados software geográficos, estadísticos y de visualización, como son ArcGis, R y Tableau, respectivamente.

Este documento presenta los avances del Modelo Multi-propósito, enfocándose principalmente en la parte de visualización. Para este objetivo, se mostraran los componentes del sistema de seguimiento y evaluación, lo que será expuesto a partir de cuatro tableros de control que tiene el sistema a 2019. Así mismo, se explicará la metodología del Índice de capacidad de soporte y de capacidad funcional como dos de los índices que hacen parte de este sistema de seguimiento. Su estudio permitirá comprender como es la disposición y capacidad que tiene un territorio en albergar a la población actual y futura bajo condiciones adecuadas de habitabilidad, y como es la funcionalidad del territorio en atender los requerimientos de la población en términos de los sistemas públicos y colectivos, respectivamente.

Por lo pronto, se menciona que los resultados de estos tableros se encuentran en la plataforma de datos abiertos de Medellín, conocida como MEData, en la página web www.medata.gov.co en la pestaña “Medellín en cifras”, y en la temática “Ordenamiento Territorial”.

Este documento se divide en cinco partes incluida esta introducción. En la segunda, se muestra como se está visualizando la plataforma del modelo multi-propósito, explicando su estructura de modelación y los cuatro tableros de control que lo componen –lotes potenciales de desarrollo, medición y métrica, capacidad de soporte y simulación financiera–. En la tercera, se describe cómo fue la construcción y resultados obtenidos del índice de



Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co



capacidad de soporte –justificación, antecedentes, metodología y resultados–. En la cuarta, se explica la construcción y resultados del Índice de capacidad funcional –justificación, metodología y resultados–. Finalmente, en la quinta, se entregan unas breves conclusiones.

2. Modelo multi-propósito

Buscando tener una mejor comprensión sobre las transformaciones que se vienen presentando en el territorio, fue creada una plataforma unificada e integrada para el seguimiento y evaluación estratégica, como es la del modelo multi-propósito. Este cuenta con información del territorio de utilidad para planificadores, investigadores y ciudadanía en general, permitiendo garantizar una mejor administración de la información (datos), estructuración conceptual clara (análisis), y consecuentemente, la creación de bienes y servicios que le sirvan al ciudadano (diseño). De las ventajas que ofrece este modelo y la plataforma en la que opera, es la de invocar seis propuestas de modelación en una sola estructura, al permitir: describir el contexto (representación), forma como funciona dicho contexto (proceso), manera como trabaja (evaluación), conocer posibles cambios (cambio), reconocer alteraciones en el territorio (impacto) y poder usar dichos resultados para la aplicación de la política pública (decisión) (Miller, 2012).

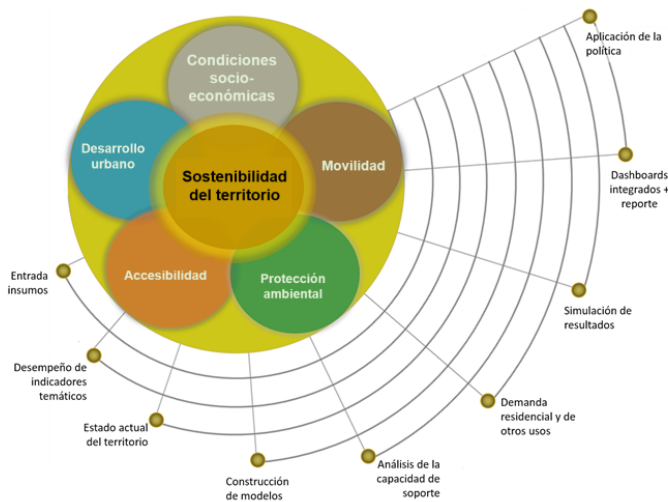
Gráfico 1. Esquema general sobre el funcionamiento del modelo

MMP Modelo Multi-propósito para el seguimiento y ordenamiento del territorio



Es una herramienta para apoyar los procesos de planificación del territorio de Medellín. En esta plataforma se puede conocer, hacer seguimiento y evaluar la capacidad de soporte del territorio de Medellín, con criterios de equidad, sostenibilidad social y ambiental de la población-

Para lograr este propósito, MMP se vale del análisis de seis componentes -desarrollo urbano, condiciones socio-económicas, consumo de recursos naturales, accesibilidad, movilidad y protección ambiental-, dichos componentes (esquema abajo) siguen varias fases del proceso (de izquierda a derecha) -Entrada de insumos, Desempeño de indicadores temáticos, Estado actual del territorio, ..., Resultado-, las cuales son agrupadas en cuatro líneas de análisis -suelo potencial de desarrollo, indicadores para monitorear el territorio, y estudio pr..



- Lotes potenciales de desarrollo
- Cuantificación y métrica (Batería de indicadores)
- Capacidad de soporte
- Simulación financiera

Los resultados de estos tableros son preliminares sujetos a modificaciones, debido a actualización y ajustes permanentes de la información.

El esquema fue tomado bajo modificaciones de: McElvaney, S. (2012). *Geodesign. Case Studies and Urban Planning*. Esri: New York.

Fuente: Departamento Administrativo de Planeación de Medellín –DAP–.



Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín

En el Gráfico 1 se muestra su esquema conceptual de modelación (figura izquierda), en este se puede observar cómo objetivo central la sostenibilidad, planteándose como componentes que aportan a este propósito, de acuerdo a esta propuesta de modelación⁴, la Movilidad, la Protección ambiental, la Accesibilidad, el Desarrollo urbano y las Condiciones socio-económicas. Para alcanzar estos objetivos, se ilustran un conjunto de pasos que tienen como propósito final la aplicación de la política para la planificación del territorio, éstos incluyen recolección de información, construcción de indicadores, realización de modelos, análisis de la capacidad de soporte, visualización de los resultados, entre otros. Así mismo, se plantean unos tableros de control –módulos de análisis– vistos como temáticas de estudio, a saber: lotes potenciales de desarrollo, cuantificación y métrica (batería de indicadores), capacidad de soporte y simulación financiera.

Estos son de relevancia de acuerdo a la temática que se desee abordar, por ejemplo, en el tablero cuantificación y métrica se puede conocer como se viene desarrollando el territorio de forma urbana, mostrándose la tendencia de diferentes indicadores poblacionales, de desarrollo constructivo, de espacio público, de equipamientos, de movilidad, de economía, entre otros. De manera general, estos módulos están diseñados de modo que se pueden visualizar los datos de manera dinámica, donde pueden ser realizados diferentes filtros –año, unidades de análisis geográfica, temática, mapas y gráficos, etcétera–. También, se muestran diferentes estrategias de visualización, que se resumen en mapas y gráficos, lo que permite conocer cómo se hallan configurados los diferentes polígonos de tratamiento y/o Áreas de Intervención Estratégica (AIE)⁵, para conocer el estado avance de diferentes indicadores a través del tiempo. En las siguientes secciones, se desarrollan y abordan en detalle cada uno de estos módulos.

2.1 Lotes potencial de desarrollo

En este módulo es estudiado uno de los insumos principales para la planificación de la ciudad, como son los lotes potenciales de desarrollo, estos son entendidos como aquellos que por sus características físicas podrían estar sujetos a ser re-desarrollados⁶ y que tienen un potencial para un desarrollo constructivo. Para la elección de estos lotes se definieron un conjunto de criterios, como son que no formen parte de: vías, espacio público, equipamientos, lotes con altura mayor o igual a 4 pisos⁷, urbanizaciones cerradas con reglamento y/o registro de propiedad horizontal y que no estuvieran localizadas en zonas de alto riesgo. La aplicación de estos criterios fue definida con visitas a campo en el año 2012, donde se pudo hacer un inventario detallado de cómo se encontraba la ciudad y que oportunidades de re-desarrollo se podrían generar y en qué zona. Para los años siguientes, usando

⁴ En términos generales el concepto de sostenibilidad se fundamenta en buscar la permanencia de las sociedades teniendo como restricción que las generaciones presentes puedan satisfacer sus necesidades, sin comprometer las de las futuras, para esto se debe propender por un equilibrio entre sus tres pilares –social, económico y ambiental– (*World Commission on Environment and Development*, 1987). Para esta propuesta se conjugan algunos temas de sostenibilidad, sin embargo no es abarcado de forma exhaustiva dado el alcance y objetivo del modelo y amplitud de este concepto.

⁵ Un Área de Intervención Estratégica (AIE), es una desagregación geográfica que fue definida en el Acuerdo 48 de 2014 cuyo objetivo es la de poder tener un mejor panorama sobre cómo se encuentra configurado un territorio en la ciudad, ya que se ha reconocido que el polígono de tratamiento como unidad mínima de análisis de planificación podría tener limitaciones para la planificación, al no contener, como regla general, condiciones dotacionales óptimas para cumplir con las necesidades de todos los ciudadanos, ya que estas podrían ser surtidas en los polígonos vecinos. Las AIE, han venido siendo usadas para la aplicación de diferentes instrumentos, un caso de este tipo, son los Macroproyectos de Río.

⁶ En la ciudad se reconoce, que la gran parte del perímetro urbano ya se encuentra desarrollado, y para la construcción de nuevos proyectos constructivos, se requeriría el re-desarrollo.

⁷ Aplica más de 3 pisos para algunas zonas específicas que pueden tener mayor potencial de desarrollo.





Alcaldía de Medellín

la base jurídica catastral, se definió el criterio de descartar aquellos lotes potenciales establecidos en 2012, cuya área construida y número de pisos fuera superior a la del año inmediatamente anterior. También, fueron excluidos aquellos lotes que tuvieran una altura igual o superior a 6 pisos.

En el Gráfico 2 se ilustra el tablero de los lotes potenciales de desarrollo entre los años 2012-2018. En este, en la parte superior izquierda se muestran algunos de los controles o filtros que hacen parte del tablero, como son año, si el lote es potencial, cantidad de lotes o área del lote, tratamiento del que se trata, y unidades geográficas de análisis como zonas y áreas de intervención estratégica. Por medio de estos controles, junto con la selección, ya sea de un polígono de tratamiento en el mapa, la selección de una barra de los diferentes gráficos de barra – cantidad de lotes, cumplimiento áreas y frentes, y número de pisos–, un fragmento del gráfico circular (o de la torta) que representa a los propietarios, se pueden realizar diferentes filtros para conocer en mayor detalle el estado de una unidad geográfica o característica del territorio específica, conociéndose el comportamiento histórico de los lotes, cantidad de lotes por rangos de área, cantidad de propietarios por lote, número de pisos, cumplimiento de área y frente mínimo y calidad o puntaje de los lotes.

Gráfico 2. Esquema módulo Lotes potenciales de desarrollo

Lotes Potenciales de Desarrollo

Capacidad de Soporte y Simulación Financiera

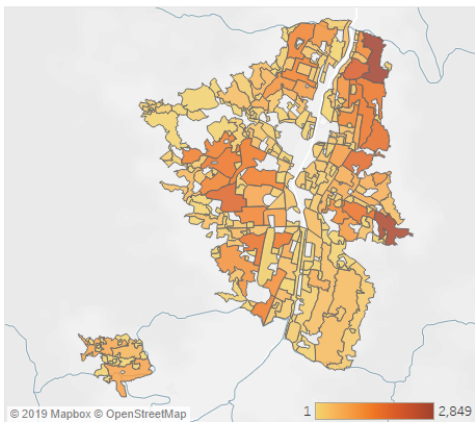


Año: 2017 | Potencial: SI | Análisis lote (o área): Lotes

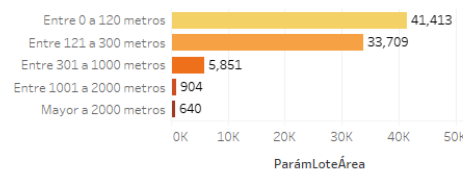
Tratamiento: (Todo) | Zona: (Todo) | Área de intervención estratégica: (Todo)

Los lotes potenciales de desarrollo (LPD) se identifican como aquellos lotes susceptibles a nuevos desarrollos urbanísticos en la ciudad. Se puede visualizar sus resultados para el año 2017 donde hay una cantidad de 82,517 lotes que tiene un área neta de 17,608,859 metros cuadrados y cubren un área bruta aproximada de 23,597,171 metros cuadrados.

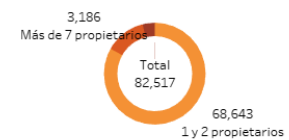
Distribución de Lotes en el Territorio



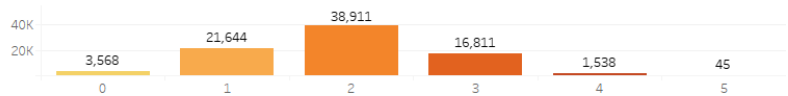
Cantidad de Lotes por Áreas



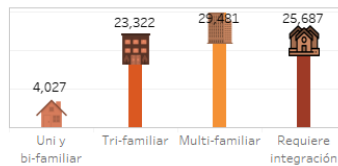
Distribución de Lotes por Número de Propietarios



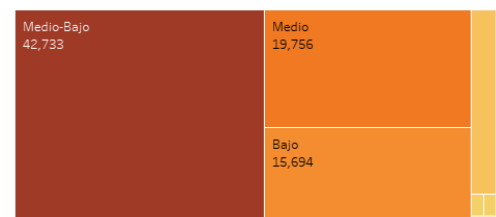
Número de Lotes por Pisos



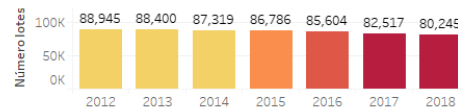
Lotes que Cumplen Área y Frente Mínimo



Puntaje de los lotes



Comportamiento Histórico Lotes



Fuente: Departamento Administrativo de Planeación de Medellín –DAP–.

Con esta información es posible tener un panorama sobre donde se podrían presentar nuevos desarrollos constructivos y bajo qué condiciones –área, frente, estrato socio-económico, valor del suelo, localización, entre otras características–, se pueden generar tales desarrollos, lo que fusionado con información de indicadores urbanos, como los que van a ser desarrollados en los siguientes módulos, es posible a través de un análisis de



Centro Administrativo Municipal CAM
 Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
 Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín

simulación financiera a nivel de perfil y un estudio prospectivo de consumo lotes, poder dar cuenta de un escenario probable sobre cómo podría generarse el desarrollo constructivo de la ciudad, permitiendo tener una mayor comprensión sobre cuál podría ser el deber ser de la norma, posibilitándose de este modo una asignación de los mayores aprovechamientos urbanísticos en las zonas mejor dotadas, las cuales, a su vez, a nivel general, proporcionen condiciones de factibilidad financiera para el desarrollo constructivo.

2.2. Cuantificación y métrica (batería de indicadores)

En este módulo es recopilada una batería de indicadores para el seguimiento de 11 temáticas que son insumo clave para el ordenamiento del territorio –norma, vivienda y población, estado del territorio, suelo potencial, espacio público, equipamientos, movilidad, economía, servicios públicos, índice de capacidad de soporte e índice de capacidad funcional– que contienen aproximadamente 170 indicadores. Esta información, proviene de diferentes fuentes, entre las que se encuentra la Subsecretaría de Catastro, Secretaría de Infraestructura, Departamento Administrativo de Planeación, Encuesta Origen Destino, Geodatabase Corporativa, entre otras.

La información contenida en este tablero tiene beneficios para los procesos de planificación de la ciudad, al estar en una sola plataforma datos para el estudio de diferentes fenómenos, lo que favorece la toma de decisiones de manera dinámica y sencilla. Concretamente, esta propuesta potencia las posibilidades de los diferentes usuarios (ya sean planificadores, investigadores, estudiantes o ciudadanía en general) para conocer y entender la dinámica histórica sobre el desarrollando urbano de la ciudad y bajo que perspectiva se esperaría que continuara esa tendencia. Esto es logrado al seleccionar los temas con los respectivos indicadores, donde según sea la temática de análisis, es la selección del conjunto de indicadores más adecuados para investigar el fenómeno bajo estudio, permitiendo identificar zonas con un buen desarrollo en términos de infraestructura, al igual que aquellas que tengan algún conflicto en términos urbanos, lográndose de esta manera poder definir estrategias de intervención.

Un ejemplo de este tipo, es el uso que se le ha dado a la información en 2019 para la formulación del Proyecto Urbano Integral Ámbito Ladera (PUIAL)⁸ de la zona nororiental, en este proceso se ha prestado interés en insumos, como los lotes potenciales de desarrollo, los índices de capacidad de soporte, de capacidad funcional y de centralidades, lo que se traduce en tener una mayor cantidad de herramientas para la planificación del territorio en procura del mejoramiento integral del territorio, lo cual se pueda plasmar en una mejor estrategia de intervención desde lo físico. Así mismo, con esta batería se vienen cumpliendo con compromisos de diferentes sistemas de seguimiento y agendas. Casos de este tipo, son el sistema de seguimiento al POT, Plan de Desarrollo Municipal, la Agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la política pública de Desarrollo Económico.

En el Gráfico 3 se muestra el tablero con sus respectivos componentes. En este, en su parte superior izquierda, al igual que el tablero de los lotes potenciales de desarrollo (Gráfico 2) se hallan unos controles de filtro, en los cuales se puede seleccionar el año de publicación del indicador, la desagregación geográfica, la temática y los indicadores asociados a ésta. De esta manera, cuando es seleccionado un indicador, se puede visualizar su comportamiento

⁸ “Corresponde al instrumento de planificación complementaria de segundo nivel para el fortalecimiento de los barrios y centralidades, que se encuentran por fuera de las AIE. Su aplicación busca el direccionamiento de las estrategias e intervenciones dirigidas a fortalecer y mejorar las características de las unidades barriales definidas por la división político-administrativa del Municipio, así como planificar de manera simultánea el barrio y la centralidad, cuando sea el caso, en aras de fortalecer la relación armoniosa de los mismos con el territorio, al cual sirve de centro funcional de prestación de servicios directo. Los cuales podrán formularse por iniciativa comunitaria o de la Administración Municipal” (Artículo 41 del Acuerdo 48 de 2014 del Plan de Ordenamiento Territorial).

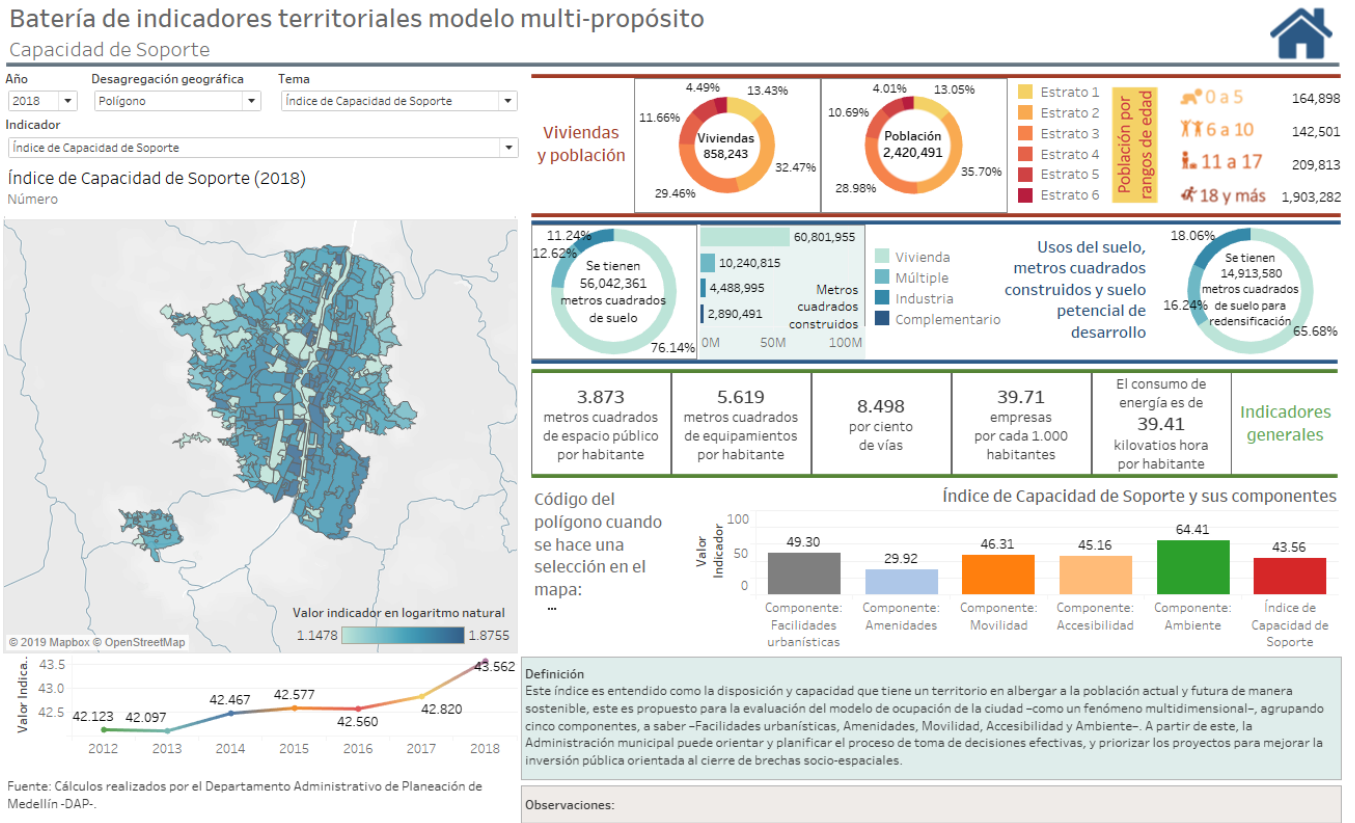




Alcaldía de Medellín

por polígonos (mapa izquierda), evolución histórica (gráfico inferior izquierdo) y definición (texto inferior derecho). Es de resaltar, en cuanto a su definición, que en esta se muestra además de cuál es el propósito del indicador o índice, una explicación sobre cuáles son las variables que lo operacionalizan, haciendo posible un mayor entendimiento para el usuario final, donde puede conocer cuáles son las partes que componen el indicador o índice para poder generarse una mejor comprensión del fenómeno bajo estudio y, de esta manera, definir su utilidad en el análisis a ser realizado.

Gráfico 3. Esquema módulo Cuantificación y métrica (batería de indicadores)



Fuente: Departamento Administrativo de Planeación de Medellín –DAP–.

Así mismo, en el lado derecho del Gráfico 3 se encuentra un conjunto de indicadores relevantes para el análisis de la información, como son los asociados a vivienda y población, usos del suelo, espacio público, equipamientos, vías, empresas por cada 1.000 habitantes, consumo de energía y el índice de capacidad de soporte. Aquí, el mapa es un filtro para seleccionar un polígono de tratamiento en la variable bajo estudio, que además de conocer cuál es el comportamiento de dicho indicador, se complementa el análisis sobre la configuración del área geográfica bajo estudio en los temas antes mencionados.

De la batería de estos indicadores, es de destacar los Índices de capacidad de soporte y de capacidad funcional. El primero, es una propuesta realizada por la Administración municipal para tener una mayor comprensión del estado del territorio en términos urbanos, mostrando cuales son las condiciones dotacionales, oportunidades de nuevos desarrollos, que territorios tienen mejores condiciones para albergar población bajo condiciones de habitabilidad, cuales son las condiciones dotacionales de dichos territorios, entre otros elementos, para de esta





Alcaldía de Medellín

manera, definir estrategias de intervención de política pública cuando sea requerido. El segundo, es una propuesta que a grandes rasgos muestra cuales son las zonas con mayor atraktividad, funcionalidad y proximidad en términos dotacionales, de movilidad y de mixtura. Por medio de este, se evalúa el sistema público y colectivo, haciendo posible identificar oportunidades para el desarrollo de nuevas viviendas, comercio, servicios e industria, lo que facilita la toma de decisiones de inversión para localizarse (estas dos propuestas serán desarrolladas en mayor detalle en las secciones 3 y 4).

Es también de observar, que este último índice está relacionado con la estrategia aplicada en la ciudad de Asheville en Carolina del Norte, en la que fue construida una plataforma para apoyar a empresarios y ciudadanía en la identificación de oportunidades de localización, conocida como *"The Priority Places"*. A partir de esta herramienta, se fortaleció el desarrollo de dicha ciudad, al permitir conocer como es el estado de diferentes indicadores, que conformados en un índice compuesto, posibilita una mayor comprensión sobre las potencialidades del territorio en un solo valor. Un aspecto a destacar de este índice, es que es posible su reponderación, lo que posibilita que el usuario final pueda empoderarse para valorar de mejor manera los aspectos que mayor incidencia pueden tener para localizarse (para más detalles véase McElvaney (2012)).

2.3. Capacidad de soporte

En este módulo se muestra un ejercicio de simulación del índice de capacidad de soporte en una de sus cinco componentes (Facilidades urbanísticas, Amenidades, Movilidad, Accesibilidad y Ambiente), como es la de Amenidades⁹. Esta es una de las componentes de mayor importancia por parte de la Administración municipal, ya que se tiene una alta injerencia en los indicadores que la componen, como son espacio público, equipamientos y vías. Por medio de este ejercicio son impactadas las diferentes áreas de intervención estratégica (AIE) cuando son aumentados dichos indicadores, y a su vez, cómo se ve modificada la capacidad de soporte, haciendo un ejercicio de prospectiva donde se conozca que podría suceder si se aumenta una de estas variables en un tanto por ciento en una AIE, lo que permite definir estrategias de intervención para el logro de una mayor sostenibilidad del territorio.

En el Gráfico 4 se encuentran como opera este ejercicio de simulación, en donde en su parte izquierda se halla el mapa del Índice de capacidad de soporte por AIE, y en el lado derecho, se presentan los indicadores de espacio público, equipamientos, vías y el índice de capacidad de soporte a nivel urbano. Para modificar estos valores, en la parte inferior del tablero se tienen unos controladores que permiten determinar los cambios que se pueden presentar en cada una de las 15 AIE. Cabe mencionar que, los valores que pueden tomar, no son indefinidos, estos se encuentran acotados por las metas propuestas en el POT, donde si una AIE ya cumple con el estándar de uno de estos tres indicadores, implica que esta no sufrirá modificación al aumentar en un tanto por ciento los metros cuadrados de espacio público, equipamientos o vías. Esta forma de construcción permite tener resultados verídicos para evaluar que tan posible es alcanzar las apuestas en temas de ordenamiento a partir de estos tres indicadores y como con el avance de los mismos se ve modificada la capacidad de soporte.

⁹ En la sección 3 se abordara en mayor detalle en qué consiste este índice y sus componentes subyacentes.





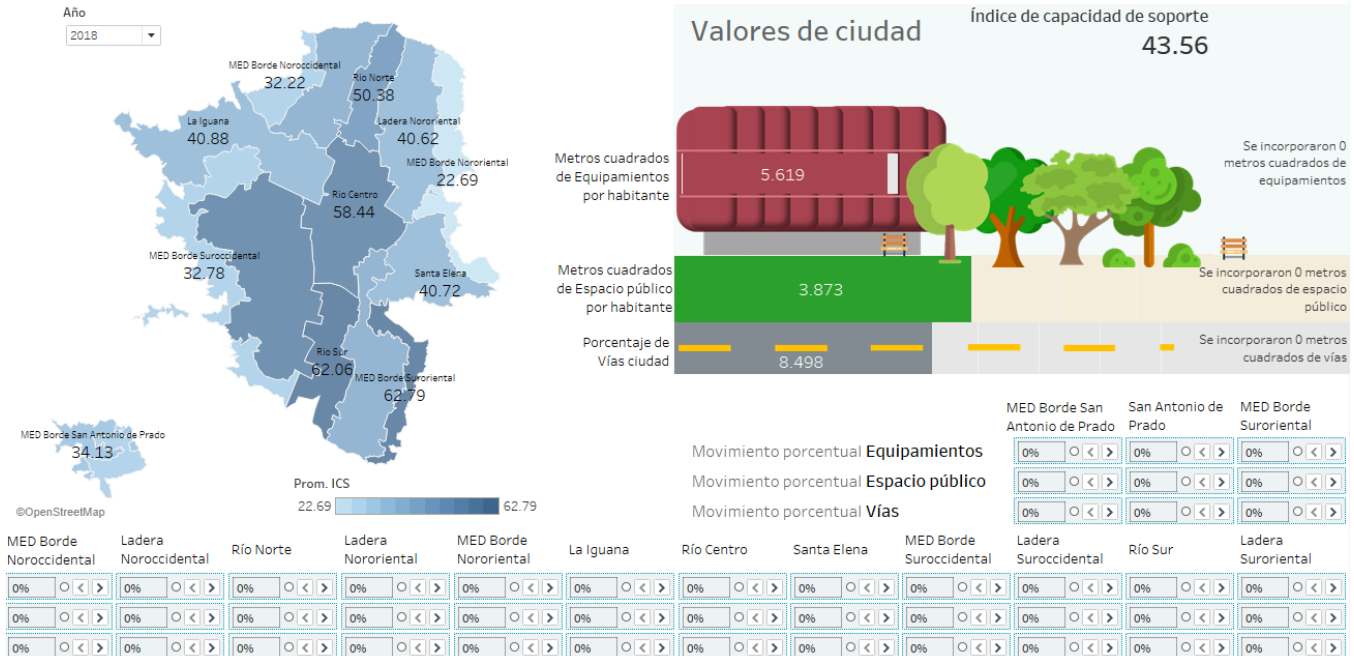
Gráfico 4. Esquema módulo Capacidad de soporte

Evaluación de choques Índice de capacidad de soporte

Capacidad de Soporte



En este tablero se visualiza como podría influir la Administración en variables de espacio público, equipamientos y vías como elementos donde puede tener injerencia para mover el Índice de Capacidad de Soporte, mostrándose un valor tentativo de lo que podría producir una intervención en el territorio.



Fuente: Departamento Administrativo de Planeación de Medellín –DAP–.

2.4. Simulación financiera

La simulación financiera es una herramienta para evaluar el impacto financiero que genera la asignación de normas urbanísticas en la viabilidad financiera de futuros proyectos inmobiliarios, definiéndose de este modo como la capacidad que tiene un lote o predio de ser viable o inviable en términos financieros para un desarrollo u operación inmobiliaria. Los elementos más importantes a considerar son la identificación misma de los suelos que son objeto de desarrollo (lotes potenciales de desarrollo), la aplicación normativa de aprovechamientos, obligaciones urbanísticas, intensidades de usos del suelo, y la información de precios de venta y costos de construcción del mercado inmobiliario.

Este ejercicio de modelación es realizado bajo un análisis a nivel de perfil¹⁰, a partir del cual se puede conocer la estructura financiera de los proyectos inmobiliarios, posibilitando estimar los beneficios y costos en el desarrollo de los proyectos inmobiliarios, para así determinar si el balance financiero de las simulaciones realizadas es positivo o negativo. Los objetivos más representativos de este componente es la de conocer la relación actual entre cargas y beneficios de los lotes potenciales de la ciudad para servir de herramienta técnica para establecer

¹⁰ En el análisis financiero a nivel de perfil se realiza una descripción simplificada de un proyecto. Este análisis presenta un primer estimado de los costos y de ingresos.





Alcaldía de Medellín

critérios de ajuste a las normas de aprovechamientos y obligaciones urbanísticas en los periodos de revisión y ajustes del POT. Así mismo, analizar la factibilidad en la formulación de los instrumentos de gestión que permitan simular la operación del sistema de gestión en términos de captación y movilización de recursos.

En el Gráfico 5 se ejemplifican algunos tipos de resultados. En la parte superior izquierda se encuentran algunos filtros que permiten seleccionar el año, aprovechamientos urbanísticos: básicos o adicionales, y un conjunto de indicadores financieros por polígono –utilidades, costos directos e indirectos, obligaciones, entre otros–. Por su parte, en el signo de pregunta (parte superior derecha) se despliega un diagrama de flujo con el cual el usuario siguiendo tres pasos básicos, puede conocer cómo sería la estructura de costos y utilidades de un proyecto típico: (1) el polígono donde se encuentra el lote a hacer el análisis (selección en el mapa del lado izquierdo del tablero); (2) un rango de área predefinido (selección de uno de los recuadros que se encuentra en la parte inferior derecha encima de los recuadros de la subcategoría de uso); y (3) la subcategoría de uso donde se encuentra el lote (selección de uno de los recuadros que se encuentra en la parte inferior izquierda).

Gráfico 5. Esquema módulo Simulación financiera

Análisis de estructura de costos y utilidades a nivel de perfil

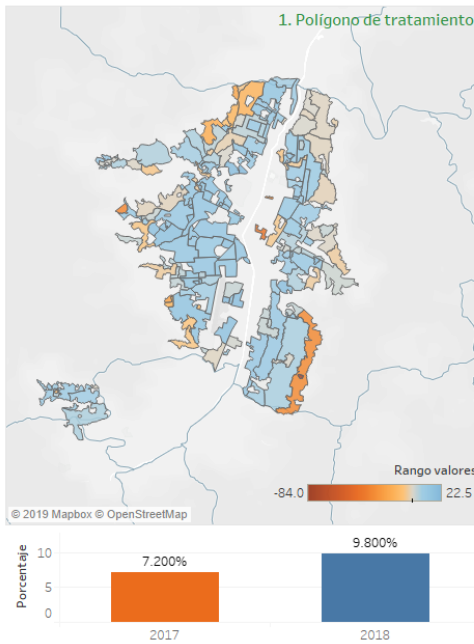
Simulación financiera



Year: 2018, Use: Básico, Indicator: Utilidad o pérdida

Este modelo permite hacer simulaciones financieras de un proyecto inmobiliario bajo un análisis de perfil en la ciudad de Medellín. Para este objetivo, es utilizando información por estrato de precios (vivienda, otros usos, parqueaderos) y costos (directos, indirectos, administrativos, financieros, comercialización), y el valor metro cuadro de zonas geoeconómicas, para la determinación de las posibles utilidades de un proyecto.

Utilidad o pérdida (Porcentaje)



Información de la norma y complementaria

Table with 7 columns: Normative density, construction index, height, public space cession for housing, public space cession for other uses, stratum, lot area, and frontage.

Resultados simulación

Table with 6 columns: Number of housing units, total residential use area, total other uses area, total construction area for parking cells, number of floors, and value per square meter of land.

Estructura financiera

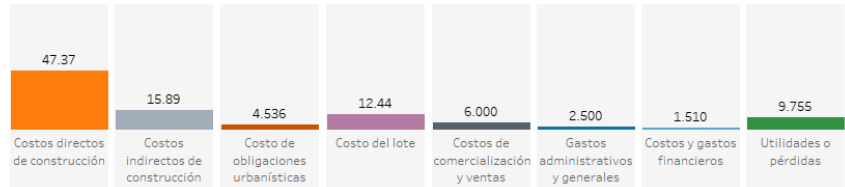


Table showing the range of lot areas in square meters, from 150 and less to over 450.

Table showing the use subcategory, such as predominantly residential areas, high intensity corridors, economic predominance, and economic activity areas.

Fuente: Departamento Administrativo de Planeación de Medellín –DAP–.

Una vez surtidos estos tres pasos, se puede conocer cómo podría quedar configurado una propuesta de proyecto bajo una estructura de factibilidad financiera como se puede visualizar en la parte intermedia de la parte derecha. En la cual si se ubica el cursor encima de cada uno de los componentes de la Estructura de costos y utilidades (barras) se puede conocer, a partir de la etiqueta, como participan, cual es el valor promedio de los diferentes costos y utilidades que hacen parte de un proyecto típico. Igualmente, cuando se ubica en la parte superior de un



Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín

polígono en el mapa, se puede visualizar en la etiqueta un conjunto de indicadores urbanos que permiten conocer que amenidades (espacio público, equipamientos, etcétera) tiene el territorio para una mejor comprensión de lo que se obtendría adicional en el desarrollo de un proyecto.

Los tipos de resultados de este modelo de simulación financiera se enfocan en el análisis de la correspondencia entre los índices de construcción, la altura normativa y la densidad habitacional, tanto para proyectos residenciales como mixtos. Igualmente, el estudio del equilibrio entre la relación de cargas urbanísticas y los beneficios urbanísticos en los polígonos de tratamiento urbanos. También, la revisión del impacto generado por los valores del suelo de zonas geoeconómicas en la dinámica inmobiliaria para la estructuración de proyectos, y la identificación de los diferentes costos y gastos que deben tener en cuenta los proyectos inmobiliarios para la estructuración de los mismos.

3. Índice de capacidad de soporte

El índice de capacidad de soporte (ICS), es un esfuerzo de la Administración Municipal por evaluar cómo el modelo de ocupación de la ciudad –como un fenómeno multidimensional– está alineado con la sostenibilidad del territorio a partir de cinco componentes –Facilidades urbanísticas, Amenidades, Movilidad, Accesibilidad y Ambiente–. Éste es entendido como la disposición y capacidad que tiene un territorio en albergar a la población actual y futura bajo condiciones adecuadas de habitabilidad, dando cuenta del avance en su desarrollo como resultado de las transformaciones físico-espaciales.

En la ciudad de Medellín, para la revisión y ajuste del POT –Acuerdo 46 de 2006– y posterior formulación del Acuerdo 48 de 2014 del POT fue construido el ICS. Este surgió de la necesidad de poder tener en el estudio de la capacidad de soporte un índice que evaluara diferentes aspectos, traducido en variables e indicadores, de la configuración del territorio en un solo valor. Para lograrlo, fue utilizada una metodología estadística multivariada de agrupación de variables, conocida como Análisis de Componentes Principales No Lineales¹¹, a partir de la cual fueron calculados unos ponderadores que permite establecer una combinación lineal de las variables o indicadores que revelen la estructura de dependencias (correlación o variabilidad) de las variables urbanas para su respectiva agregación¹².

Esta propuesta, sirvió como una herramienta para el apoyo en la definición de los aprovechamientos urbanísticos –densidades, índices, alturas, entre otros– lo que admite el encauzamiento de la política pública en procura del desarrollo constructivo de la ciudad bajo condiciones de sostenibilidad. Mostrándose su relevancia para orientar y planificar el proceso de toma de decisiones efectivas, y priorizar los proyectos para mejorar la inversión pública orientada al cierre de brechas territoriales (Departamento Administrativo de Planeación, 2014). De acuerdo a lo

¹¹ El análisis de componentes principales presentan varias ventajas en el establecimiento de ponderadores para la construcción de índices en relación a otros métodos de agregación, tales como la no sobre-ponderación de variables o indicadores de poca variabilidad o importancia para el análisis cuando se asignan ponderadores iguales o según criterio de expertos; la no asignación de un mayor peso a variables con mejor calidad en los datos, ocasionado esto, por su forma de recolección, provocando que indicadores con mayor importancia en el estudio de la capacidad de soporte no se vea reflejado; la no definición de un peso según el valor social que tenga cada variable en la sostenibilidad del territorio, que aunque puede ser una forma óptima de definir dichos pesos, puede volver imposible su cuantificación de forma veraz al no existir una valoración tan detallada de cada variable; entre otras (Centro de Estudios de Opinión, 2010).

¹² Usualmente para explicar toda la variabilidad de los datos es necesario utilizar todas las combinaciones lineales, sin embargo, la(s) primer(as) componente(s) contienen la mayor variabilidad de los datos, permitiendo concentrar la mayor explicación de la información.





Alcaldía de Medellín

anterior, con la puesta en marcha del sistema de seguimiento al POT se vio la necesidad de darle trazabilidad al índice, por tal motivo, hace parte del sistema de indicadores en el módulo cuantificación y métrica (batería de indicadores) del Modelo Multi-propósito (ver sección 2.2 de este documento), igualmente, tiene un tablero exclusivo, como fue explicado previamente (sección 2.3), para conocer sus avances a través del tiempo ante posibles cambios en la componente de Amenidades, teniéndose como ventaja, la de poder simular que podría suceder si aumenta, ya sea el indicador de espacio público, de equipamientos y/o vías en la capacidad de soporte.

Es así que el objetivo de esta parte del documento es ofrecer una explicación metodológica para la construcción del ICS para Medellín. Para este propósito, se hará una revisión sobre investigaciones sobre capacidad de soporte en diferentes ciudades, luego se explicará cómo se compone el índice –componentes, variables e indicadores y forma de estandarización– y finalmente, se entregaran y analizan los resultados de su medición.

3.1. Antecedentes

A nivel internacional hay trabajos que han abordado el tema de capacidad de soporte bajo diferentes perspectivas. Dan-lin y Han-Ying (2002) proponen el análisis de la capacidad de soporte bajo dos puntos antagónicos, a saber, el organismo de la capacidad (incluyendo los recursos naturales y el medio ambiente) y de la presión (representado por las actividades humanas). A partir de estos puntos definen una batería de indicadores que les permite hacer un monitoreo del estado de la ciudad en temas de recursos naturales, capacidad ambiental, aplicación de tecnologías limpias, impactos de los seres humanos en el ambiente, y capacidad de movilización dentro y entre las regiones.

Oh *et al.* (2005) para la sostenibilidad de la ciudad de Seúl proponen un sistema de indicadores para la valoración de la capacidad de soporte. Para la delimitación de su análisis, estudian la forma como usan los seres humanos los recursos naturales y como se dispone el territorio para satisfacer dichas necesidades. Para este objetivo, utilizan información sobre áreas verdes de la ciudad; las vías existentes; el funcionamiento del sistema de movilidad; el consumo de energía; la oferta de agua y la forma de eliminación de los residuos. Por su parte, Feng, Zhang y Luo (2008) analizan la capacidad de soporte de los recursos hídricos de la ciudad de Yiwu en China. Para este propósito aplican una metodología para la evaluación de diferentes subsistemas simultáneamente – población, agricultura, industria, protección ambiental y recursos hídricos–, encontrando resultados positivo para la definición de alertas tempranas, como pueden ser los efectos que se podrían generar por la escasez de agua.

Xu, Kang y Wei (2010) evalúan para el distrito TongZhou de Beijing su capacidad de soporte relativa, la cual se define como la habilidad potencial que tiene un ecosistema urbano de mantenerse saludable. Para lo cual proponen indicadores de soporte (impacto que se genera al medio ambiente por el desarrollo económico) y de presión (reflejan el estatus de la forma urbana y el prospecto de desarrollo) lo que les permite entender la posible interacción de atributos económicos, ambientales y sociales de dicha ciudad. Por último, Liu (2012) muestran que una buena articulación de las aglomeraciones urbanas es fundamental para garantizar la capacidad de soporte del territorio. Con este fin, estudian diferentes indicadores sobre suelo, agua, transporte y medio ambiente para poder hacer un monitoreo más veraz, lográndose de este modo la definición de medidas de política pública para evaluar la sostenibilidad en 16 ciudades cercanas al Río Yangtze en China.



Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co



3.2. Metodología

De acuerdo a los trabajos de Dan-lin y Han-ying (2002), Oh *et al.* (2005), Feng *et al.* (2008), Xu *et al.* (2010) y Liu (2012) se propone la construcción del ICS para Medellín. Esta propuesta propende por el seguimiento al desarrollo urbano de la ciudad en un solo valor a través de cinco componentes:

- **Facilidades urbanísticas:** muestra en qué territorios hay una mayor densidad de viviendas, y como es la calidad de las construcciones. Lográndose reconocer a partir de la primera variable como se está ejerciendo la presión en un territorio, donde el análisis con los demás componentes que hacen parte de este índice permite reconocer si se está generando el desarrollo constructivo bajo una situación de equilibrio en términos de dotación urbana. Concretamente, el hecho que este indicador pueda estar en su máximo valor no necesariamente indica que este territorio esté en condiciones negativas si cumple con condiciones dotacionales adecuadas.
- **Amenidades:** establece las condiciones dotacionales de la ciudad en lo que respecta a espacio público, equipamientos y vías, siendo estos aspectos fundamentales para lograr satisfacer las necesidades de la población de bienes y servicios de carácter público.
- **Movilidad:** determina el grado de conectividad que tiene la población para desplazarse por la ciudad a partir de un análisis que determina la saturación del territorio, condiciones de cercanía a vías peatonales, principales y al sistema integrado de transporte, y la cantidad de parqueaderos.
- **Accesibilidad:** está relacionado con las características topográficas de la ciudad, acceso a servicios públicos domiciliarios y estado de las vías.
- **Ambiente:** mide el efecto que tiene la actividad humana en el ambiente y los ecosistemas, esto es logrado bajo la definición de cuanto dióxido de carbono (CO₂) genera cada habitante y el consumo de familias y empresas de los diferentes servicios públicos (alcantarillado, energía y gas).

Otros variables o indicadores que podrían ser incorporados en el análisis son la percepción pública sobre las condiciones ambientales y físicas de la ciudad, en la cual se determina como es la apreciación de los ciudadanos sobre los cambios que se están fraguando por parte de la Administración y entes privados; y la institucionalidad, que trata de la adecuada Administración de los recursos que posibiliten los objetivos de la política pública. Este tipo de propuestas permite mejorar las prácticas de planificación, cambiar la dinámica de las relaciones institucionales, orientar la toma de decisiones públicas y pertinentes, y maximizar la calidad de los servicios y los programas públicos, así como desarrollar mecanismos para medir y evaluar su impacto (Alcaldía de Medellín, 2012).

Variables o indicadores que lo componen

La siguiente ecuación expresa la composición del ICS con sus cinco componentes:

$$ICS_i = \alpha_1 \times F_{Urb_i} + \alpha_2 \times A_{me_i} + \alpha_3 \times M_{ov_i} + \alpha_4 \times A_{cc_i} + \alpha_5 \times A_{mb_i}$$

donde

- α_s con $s = 1, \dots, 5$ son los ponderadores de cada componente, los cuales miden la importancia que tiene cada una de ellas en la capacidad de soporte, tomando el índice valores entre 0 y 100, donde 100 es el valor máximo de soporte, es decir, que ese territorio presenta las mejores condiciones urbanísticas, de amenidades, de movilidad, de accesibilidad y ambientales para recibir población actual y futura. Para el cálculo de cada



**Alcaldía de Medellín**

componente fue necesario agruparlas por medio de componentes principales no lineales, para luego calcular el ICS, lo que ofrece buenos resultados en la explicación de las características heterogéneas y no lineales que tenía cada área geográfica.

- $FUrb_i$ es la componente de facilidades urbanísticas, en esta se encuentra incorporadas las brecha entre la densidad potencial normativa versus la utilizada (D_i) y la calidad de las infraestructuras construidas ($CIconst_i$) de acuerdo a la Subsecretaría de Catastro. Esta es expresada por la siguiente ecuación:

$$FUrb_i = \alpha_{11} \times D_i + \alpha_{12} \times CIconst_i$$

Aquí, a diferencia del peso del ponderador para cada componente, todas las variables tienen igual peso $\alpha_{11} = \alpha_{12}$ a su interior. Esta condición es aplicada al resto de componentes.

- Ame_i es la componente de amenidades que incorpora los indicadores de espacio público ($Ind_{EPLoc,i}$), equipamiento ($Ind_{EQ,i}$) y vías ($Ind_{Vias,i}$) ejemplificada por:

$$Ame_i = \alpha_{21} \times Ind_{EPLoc,i} + \alpha_{22} \times Ind_{EQ,i} + \alpha_{23} \times Ind_{Vias,i}$$

- Mov_i es la componente de movilidad, que agrupa los indicadores cobertura de las vías peatonales ($Cob_{Vepea,i}$), ciclorrutas ($Cob_{CicR,i}$) y principales ($Cob_{Vprin,i}$), sistema integrado de transporte ($Cob_{SIT,i}$) y cantidad de parqueaderos por cada 1.000 habitantes ($ParqMhab_i$). Esta se denota como sigue:

$$Mov_i = \alpha_{31} \times Cob_{Vepea,i} + \alpha_{32} \times Cob_{CicR,i} + \alpha_{33} \times Cob_{Vprin,i} + \alpha_{34} \times Cob_{SIT,i} + \alpha_{35} \times ParqMhab_i$$

Para el cálculo de las coberturas de esta componente está asociada a los metros cuadrados construidos de los predios de la ciudad como una *proxy* sobre la aglomeración de la población que puede llegar a un territorio para la realización de sus diferentes actividades –vivir, trabajar, estudiar, entre otras–.

- Acc_i es la componente de accesibilidad a servicios públicos ($Acc_{Serv,i}$), facilidades topográficas ($Acc_{Topo,i}$) y estado de las vías ($Acc_{EstVia,i}$). Su fórmula es:

$$Acc_i = \alpha_{41} \times Acc_{Serv,i} + \alpha_{42} \times Acc_{Topo,i} + \alpha_{43} \times Acc_{EstVia,i}$$

- Amb_i es la componente de ambiente ($Amb_{Pob,i}$) es denotada por:

$$Amb_i = \alpha_{51} \times \frac{Pob_i}{AN_i} \times CO_{Per} + \alpha_{52} \times Cons_{Enerhab,i} + \alpha_{53} \times Cons_{Aguahab,i} + \alpha_{54} \times Cons_{Gashab,i}$$

siendo CO_{Per} es el dióxido de carbono producido por persona en toneladas en un año y Pob_i es la población respectiva y AN_i es el área neta. $Cons_{Enerhab,i}$, $Cons_{Aguahab,i}$ y $Cons_{Gashab,i}$ es un estimativo del consumo energía, agua y gas en términos per-cápita.

Estandarización de las variables

Para realizar la agrupación de las variables en el ICS, todos los indicadores fueron estandarizadas en una escala que va de 0 a 1 para lograr una homogenización de la magnitud de las variables, lo que permite una escala de





medición común para su posterior agregación. Para esto, es usada las siguientes fórmulas que también serán aplicadas al Índice de Capacidad Funcional que será desarrollado en detalle en la Sección 4.

$$z_{j,i} = \frac{x_{j,i} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

siendo $z_{j,i}$ la variable estandarizada j de la unidad geográfica i , x_i la variable de interés j a ser estandarizada de la unidad geográfica i , $\min(x_j)$ y $\max(x_j)$ son el mínimo y el máximo de la variable de interés j , respectivamente. A partir de la anterior fórmula fueron estandarizadas aquellas variables o indicadores que aportan positivamente a la capacidad de soporte (o capacidad funcional). En el caso en el que los aportes de las variables sean negativos como las generadas, entre otras, por la componente de ambiente, es necesario utilizar la ecuación:

$$z_{j,i}^* = \frac{x_{j,i} - \max(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

De estas fórmulas, es de mencionar que cuando se tenían resultados por polígonos, en algunos casos, los indicadores contenían datos atípicos (información que se salían de la tendencia habitual del proceso generador de los datos), implicando la necesidad de tener que realizar una normalización de la variable con el objetivo de recoger de mejor manera el proceso de generación de los datos en la serie. Para esto es usado un umbral que acumula el 95% de la información, que es como sigue:

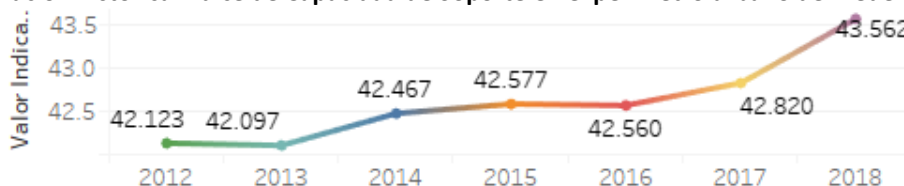
$$u_j = [Q3(x_j) - Q1(x_j)] \times 1.5 + Q3(x_j)$$

con u_j siendo el umbral de interés para el indicador j , y $Q1(x_j)$ y $Q3(x_j)$ son el primer y tercer cuartil, respectivamente. Y para el 5% restante (datos atípicos), se asume un valor de $z_{j,i} = 1$ (Universidad Pontificia Bolivariana, 2013).

3.3. Resultados

En el Gráfico 6 se encuentran los resultados del ICS para el perímetro urbano de Medellín en el periodo 2012-2018. En este se puede observar una evolución positiva del indicador, el cual desde 2012 ha aumentado 1,4 puntos porcentuales (pp) ubicándose en 43,56 en 2018 de un valor máximo de 100. Esto muestra como la ciudad continua en el proceso de desarrollo urbano, en el que se siguen mejorando las condiciones dotacionales, lo que favorece el equilibrio urbano de la ciudad en términos físicos-espaciales, y el ingreso de población bajo condiciones de habitabilidad, lo que repercute positivamente en la sostenibilidad.

Gráfico 6. Evolución histórica Índice de Capacidad de Soporte en el perímetro urbano de Medellín, 2012-2018



Fuente: cálculo del Departamento Administrativo de Planeación –DAP–. Resultados preliminares sujetos a ajuste.



Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144

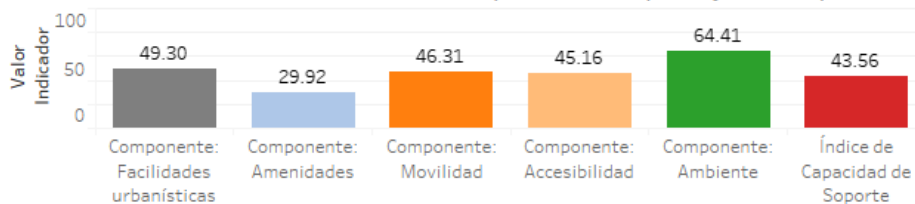


www.medellin.gov.co



En el Gráfico 7 se puede visualizar el valor de las cinco componentes –Facilidades urbanísticas, Amenidades, Movilidad, Accesibilidad y Ambiente– y el ICS para el año 2018, en este se muestra que los valores más altos los tienen las componentes de Ambiente (64,41) y Facilidades urbanísticas (49,3), y la de menos es Amenidades (29,92). De estos resultados, se muestran los mayores avances de la ciudad, y en donde se requiere esfuerzos para lograr el cierre de brechas territoriales, teniéndose los mayores requerimientos en la dimensión de Amenidades, en donde se sigue necesitando mejorar las condiciones dotacionales para lograr unos estándares internacionales acordes a las necesidades de la población, para por ejemplo, en el caso de espacio público efectivo, ofrecer un mayor número de espacios y/o metros cuadrados para el esparcimiento, recreación, ocio y encuentro, lo que impacta positivamente las condiciones psicológicas, ambientales y sociales de la población, y de la construcción de vías para el mejor desplazamiento de la población por los diferentes motivos de viaje –trabajo, estudio, salud, cultura recreación, entre otras–.

Gráfico 7. Componentes del Índice de Capacidad de Soporte en el perímetro urbano de Medellín, 2018



Fuente: cálculo del Departamento Administrativo de Planeación –DAP–. Resultados preliminares sujetos a ajuste.

Del espacio público, es de resaltar que existen cuatro factores que son determinantes en el estado de la salud, a saber: biología humana, entorno, estilos de vida y servicios de salud. De acuerdo a estos, se ha identificado que el entorno aporta en un 19% en la reducción de la mortalidad, que conjugado con estilos de vida saludable pueden contribuir en el 62%, mostrándose de esta forma la importancia que tiene la construcción de infraestructura para el disfrute y la recreación para mejorar la salud de la población y por consecuencia, impactar positivamente en sus condiciones de vida (Dever, 1976).

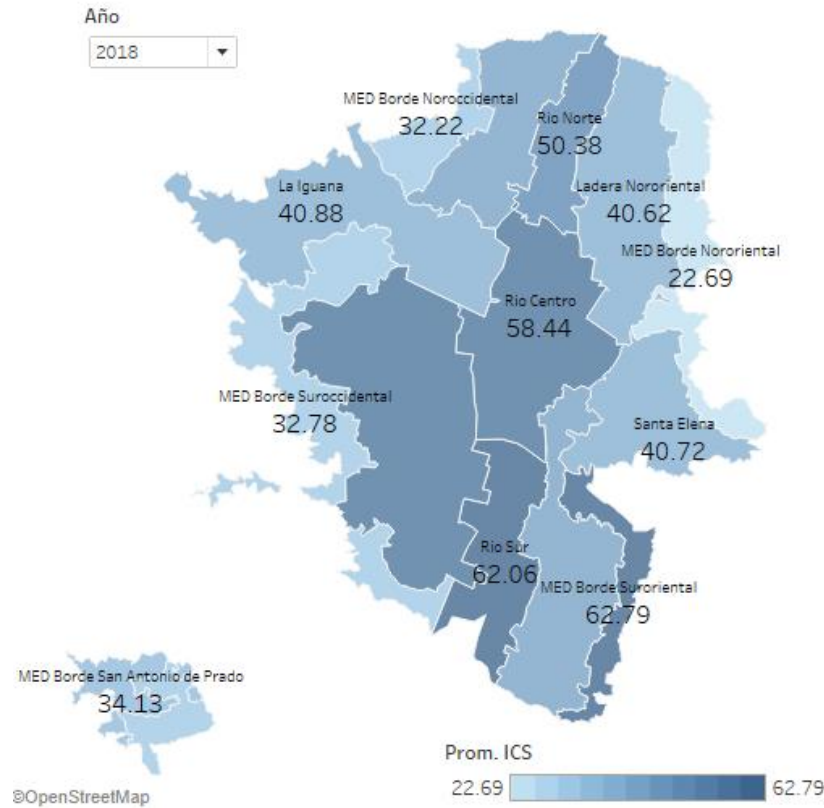
En el Mapa 1 se encuentran los resultados del ICS por AIE para el año 2018. En este caso, las AIE con mayor capacidad de soporte son MED Borde Suroriental (62,79), Río Sur (62,06), Río Centro (58,44) y la Ladera Suroccidental (43,76). Por el lado de las AIE con peor capacidad de soporte son los MED Borde (sin incluirse la suroriental), estos resultados son explicados por los bajos valores en todas las componentes, principalmente, en las relacionadas a las de Facilidades Urbanísticas y la de Amenidades, esto muestra la necesidad de aplicar, además de un mejoramiento en las condiciones dotacionales del territorio en términos de espacio público, equipamientos y vías, el de las viviendas en términos cuantitativos y cualitativos.

En el Acuerdo 48 de 2014 del POT se definió por ejemplo, el MED Borde Nororiental la mayoría de sus polígonos tienen como Tratamiento, Mejoramiento Integral (MI), lo que valida las condiciones dotacionales y habitacionales de estos territorios, mostrando la importancia de realizar intervenciones prioritarias para mejorar las condiciones de habitabilidad de estos territorios.





Mapa 1. Índice de capacidad de soporte por Área de Intervención Estratégica, 2018



Fuente: cálculo del Departamento Administrativo de Planeación –DAP–. Resultados preliminares sujetos a ajuste.

4. Índice de capacidad funcional¹³

El Índice de capacidad funcional (ICF) para Medellín es entendido como la capacidad que tiene la ciudad de satisfacer la demanda de un área de influencia, prestar servicios, acoger actividades y personas, explicado por su proximidad y sus características dotacionales, de accesibilidad, sociales y económicas, permitiendo conocer, entre otros aspectos, la convergencia de distintos aspectos que favorecen las economías de aglomeración, dado por las externalidades que generan la localización y la proximidad de actividades como los equipamientos y la infraestructura en general, lo que repercute positivamente en la identificación del sistema de centralidades y patrones de uso del suelo de la ciudad, lo que permite medir las calidades del entorno en sus dimensiones urbanísticas, socio-económica y de productividad urbana. Su construcción utiliza dos sistema artificiales, como son: Estructura funcional y de servicios y, Estructura socio-económica, los cuales se desagregan en tres sub-índices, a saber –complejidad urbana, dotación urbana y movilidad–.

¹³ Esta parte fue tomada bajo algunas modificaciones del documento “Anexo 1. Modelo de Capacidad Funcional. Diagnóstico de Sistema de Centralidades” en el marco de la revisión y ajuste del Acuerdo 46 de 2006 Plan de Ordenamiento Territorial (POT) Municipio de Medellín. Convenio No 46000048673 Departamento Administrativo de Planeación –DAP– de la Alcaldía de Medellín y la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB).



Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín

El ICF fue construido por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en un contrato con la Alcaldía de Medellín para la revisión y ajuste del Acuerdo 46 de 2006 del POT y posterior formulación del Acuerdo 48 de 2014 del POT para la evaluación principalmente del sistema de centralidades de Medellín. Para la propuesta de cálculo de este índice, es utilizada como unidad mínima de análisis los polígonos de tratamiento¹⁴, lo que permite tener una delimitación definida para un análisis que identifique tendencias a través del tiempo, pero reconociéndose ciertas limitaciones en su cálculo, al considerarse que los resultados de las centralidades son nocionales y arbitrarios (Murphy, 2009).

Es así que el objetivo de esta parte del documento es ofrecer una explicación metodológica de la construcción del ICF para Medellín. Para este propósito, se explicará cómo se compone el índice –variables o indicadores y forma de estandarización– y finalmente, se entregaran resultados de su medición.

4.1. Metodología

El ICF es una propuesta que determina y describe el entorno urbano y humano, donde dadas las transformaciones que se presentan en las ciudades, este parte de dos sistemas artificiales: Estructura funcional y de servicios, y Estructura socio-económica. La primera tiene como propósito establecer la conexión de los aspectos urbanísticos y de movilidad. Para esto se vale de dos índices, como son:

- *Índice de la Estructura funcional y de servicios Dotacional (o Índice de Dotación Urbana)*, se halla compuesto por los indicadores de densidad de equipamientos y de espacio público, dando cuenta de los lugares donde la ciudadanía desarrolla actividades funcionales, simbólicas y lúdicas.
- *Índice de la Estructura funcional y de servicios de Movilidad (o Índice de Movilidad)*, está compuesto por los indicadores de capacidad vial vehicular, pasajeros movilizados por transporte público, Cobertura del Sistema Integrado de Transporte, a partir de los cuales es estudiado el desplazamiento de las personas y bienes a través del espacio urbano en términos de la infraestructura dispuesta para este propósito, a la vez que es evaluado la eficiencia de las conexiones para la satisfacción de las necesidades de la población.

En tanto, la segunda analiza la funcionalidad de la Estructura socio-económica a través de un índice, como es:

- *Índice de la Estructura socio-económica de Complejidad urbana (o Índice de complejidad urbana)*, este se desagrega en el Índice de Mixtura y el indicador Tamaño de Actividad Económica. A partir de este se puede identificar la multifuncionalidad del territorio, determinándose que tanta mezcla o diversidad tiene, donde entre mayor sea su valor implica mayor facilidad y, menores costos de viaje y sociales para acceder a los bienes y servicios, implicando que hay condiciones de desarrollo compacto y sostenible en una ciudad.

De estas, es de mencionar, que la estructura socio-económica existe gracias a la estructura funcional y de servicios, ya que esta última facilita la interacción humana, y el análisis de los incentivos que enfrentan los agentes económicos.

¹⁴ Es de mencionar que con el contrato de la UPB, este índice fue calculado por lotes. Desde el DAP ya se realizó un ejercicio de este tipo para los años 2014 y 2017, sin embargo, dadas las características de este sistema de seguimiento, son incorporados solo los resultados a nivel de polígono como unidad mínima de análisis. Para los detalles de cómo fue aplicado esta metodología, remítase a Universidad Pontificia Bolivariana (2013).





Variables o indicadores que lo componen

La siguiente ecuación expresa la composición del ICF para los tres índices que lo componen:

$$ICF_i = EFSD_i + EFSM_i + ESEC_i$$

donde

- Toma valores entre 0 y 7, siendo 7 su valor máximo para la satisfacción de las necesidades de la población en términos de funcionalidad del territorio. Este valor máximo es de acuerdo a la cantidad de indicadores con los que se hallan compuestos los tres índices.
- $EFSD_i$ es el índice de la Estructura funcional y de servicios Dotacional (o Índice de dotación urbana), en esta se encuentra incorporados los indicadores Densidad de espacio público ($D_{EP,i}$) y de equipamientos ($D_{EQ,i}$). Esta es expresada por la siguiente ecuación:

$$EFSD_i = D_{EP,i} + D_{EQ,i}$$

Para el cálculo de estas densidades, es usada la cantidad de espacios públicos o equipamientos dividido por el área neta del polígono. El propósito de la construcción de esta manera es la de neutralizar el tamaño del espacio público y/o equipamiento para mostrar la diversidad de espacios a los que un ciudadano puede acceder si se encuentra en una localización geográfica i , y de cómo se pueden atender diferentes demandas, dadas los rangos de edad en las que se encuentra la población. Por otro lado, es de mencionar que, todos los indicadores tienen igual peso, implicando un valor máximo de este índice de 2.

- $EFSM_i$ es el índice de la Estructura funcional y de servicios de Movilidad (o Índice de movilidad), incorpora los indicadores de Pasajeros movilizados en transporte público colectivo ($PasajTPC_i$), Capacidad vehicular de las vías ($CapVeh_i$) y Cobertura del Sistema Integrado de Transporte ($CobSIT_i$) ejemplificada por:

$$EFSM_i = PasajTPC_i + CapVeh_i + CobSIT_i$$

El primer indicador es construido de acuerdo a la cantidad de pasajeros movilizados en las rutas de buses o transporte público formal en Medellín. El segundo, se define como la cantidad de vehículos que puede soportar una sección de vías en un intervalo de tiempo (ver para detalles adicionales a Universidad Pontificia Bolivariana, (2013)). Y, el tercero, es construido a través de un buffer de 500 metros de la cantidad de metros cuadrados construidos cubiertos en la ciudad.

- $ESEC_i$ es el índice de la Estructura socio-económica de Complejidad urbana (o Índice de complejidad urbana), que agrupa los indicadores Tamaño de la actividad económica (TAE_i) e Índice de mixtura ($IndMix_i$). Esta se denota como sigue:

$$ESEC_i = TAE_i + IndMix_i$$

Donde el primer indicador revela donde se encuentran las mayores aglomeraciones de actividades económicas en la ciudad. En tanto, el segundo, establece el grado de diversidad o de mezclas del uso del suelo. Este último se calcula utilizando el índice de entropía de Shannon y toma valores entre 0 y 1, siendo 1 que los usos se hallan heterogéneamente distribuidos en una desagregación geográfica.





Una vez son calculadas estos tres índices y calculado el índice de capacidad funcional, es posible la identificar las centralidades en la ciudad ($ZLoclG_j$) a partir del estadístico Local de Getis Ord. Para su cálculo es usada la siguiente formula:

$$ZLoclG_j = \frac{\sum_i w_{ij} \times ICF_i}{\sum_i ICF_i}$$

con w_{ij} denotando un peso espacial que capta la fuerza de relación que hay entre i y j , la cual es determinada entre la distancia o vecindad entre observaciones. Para su interpretación, se tiene que valores por debajo de -1,96 y 1,96 están asociados a puntos fríos (*cold spot*) y calientes (*hot spot*), respectivamente, indicando el primer caso que no hay una aglomeración en dicho territorio, exhibiéndose una baja capacidad funcional. En tanto, el último establece que entre mayores sean los valores, mayor capacidad funcional, lo que potencia el intercambio de bienes y servicios, y por consecuencia, una fuerte capacidad de atracción de personas. Por su parte, cuando el valor esta entre -1,96 y 1,96 indica que no hay un patrón definido de aglomeración, lo que no permite establecer algún tipo de conclusión.

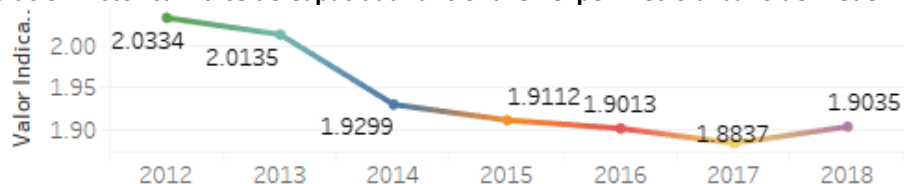
Estandarización de las variables

Para la estandarización de las variables, es aplicada la misma metodología que para el Índice de capacidad de soporte (ICS). En las que cada una de las variables o indicadores queda en la escala 0-1, lo que muestra el aporte de cada índice que hace parte del ICF en la capacidad funcional.

4.2. Resultados

En el Gráfico 8 se muestran los resultados del ICF para el perímetro urbano de Medellín en el periodo 2012-2018, en este caso se muestra una tendencia decreciente del índice, que lo ubica para 2018 en 1,9. Este resultado es explicado por la reducción del índice de complejidad urbana, que ha mostrado una mayor especialización de algunas zonas de la ciudad a través de este periodo de tiempo, en las cuales la convivencia de vivienda y otros usos se ha visto aminorada.

Gráfico 8. Evolución histórica Índice de Capacidad funcional en el perímetro urbano de Medellín, 2012-2018



Fuente: cálculo del Departamento Administrativo de Planeación –DAP–. Resultados preliminares sujetos a ajuste.

En el Mapa 2 se puede visualizar como es el índice de complejidad funcional por AIE para 2018. En esta situación, como es de esperarse la AIE con mayor complejidad es Río Centro, con un valor de 3,42 de un máximo de 7, explicado por las características que ostentan en las ciudades los centros tradicionales y representativos, los cuales tiene una mayor funcionalidad, implicando alta presencia de actividades económicas; de mixtura de usos; accesibilidad por la cantidad de rutas que llegan a esta zona, sistema integrado y vehículos particulares a esa parte de la ciudad; además de dotación de espacios públicos y equipamientos que permiten una mejor funcionalidad



Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co

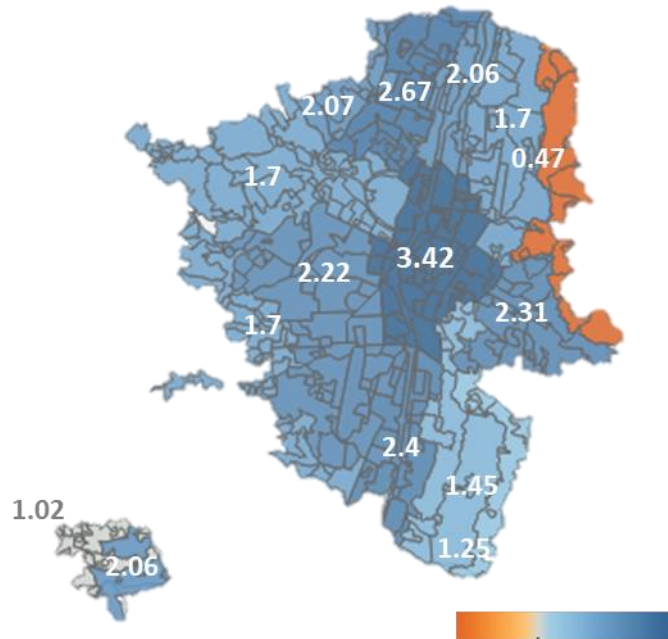


Alcaldía de Medellín

urbana, lo que potencia la atracción de personas por la cantidad de bienes y servicios que ofrece el territorio, generándose diversidad de intercambios.

En contraposición a este resultado, el MED Borde Nororiental presenta la más baja capacidad funcional de la ciudad, con un valor en el ICF de 0,47. Cuando se estudian los índices que hacen parte del ICF para identificar los motivos de su valor, se encuentra que el Índice de dotación urbana es de 0,33 de un máximo de 2, de movilidad de 0,09 de un máximo de 3, y de complejidad urbana de 0, de un máximo de 2. Esto muestra la importancia de continuar realizando intervenciones integrales, como se advirtió en el Índice de capacidad de soporte, para lograr una mejor funcionalidad en el territorio.

Mapa 2. Índice de capacidad funcional por Área de Intervención Estratégica, 2018



Fuente: cálculo del Departamento Administrativo de Planeación –DAP–. Resultados preliminares sujetos a ajuste.

5. Conclusiones

Este documento tuvo como propósito mostrar los avances que se han venido realizando en el modelo multi-propósito para la planificación del territorio. Para esto se muestran cuales módulos fueron desarrollados junto con su estructura conceptual. En esta es de destacar, la construcción histórica de los diferentes indicadores desde el año 2012, permitiendo tener una herramienta para el seguimiento de las transformaciones del territorio.

De la misma manera, fue incorporada dos secciones donde fue desarrollada la metodología para la construcción del Índice de capacidad de soporte y de capacidad funcional con sus respectivos resultados.



Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144



www.medellin.gov.co



6. Bibliografía

- Alcaldía de Medellín (2012). *Medellín en cifras 3. Las metas del desarrollo*. Medellín: Alcaldía de Medellín.
- Angulo, R., Azevedo, J. P. Gaviria, A. y Páez, G. N. (2012). Movilidad social en Colombia. *Documentos CEDE*, No. 43, pp. 1-32.
- Brinkman, J.C (2016). Congestion, agglomeration, and the structure of cities. *Journal of Urban Economics*, Vol. 94, pp. 13-31.
- Centro de Estudios de Opinión (2010). *Construcción de un nuevo indicador de calidad de vida multidimensional para la ciudad de Medellín*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Dan-lin, Y. y Han-Ying, M. (2002). Regional carrying capacity: case studies of Bohai Rim area. *Journal of Geographical Sciences*, Vol. 12, No. 2, pp. 177-185.
- Departamento Administrativo de Planeación (2014). *Documento técnico de soporte. Tomo Ib. Formulación*. Medellín: Alcaldía de Medellín.
- Dever, GEA (1976). An epidemiological model for health policy analysis. *Social Indicators Research*, Vol. 2, No. 4, pp. 253-466.
- Feng, L-H., Zhang, X-C., Luo, G-Y. (2008). Application of system dynamics in analyzing the carrying capacity of water resources in Yiwu City River, China. *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 79, pp. 269-278.
- Hernández, C. A. (2006). Presentación de caso: proyecto urbano integral en la zona nororiental de Medellín: Un modelo de transformación de ciudad. *I Congreso Internacional sobre Desarrollo Humano Madrid 2006: Pobres en Ciudades Pobres - Vivienda, Transporte y Planificación Urbana*, pp. 293-301.
- Liu, H. (2012). Comprehensive carrying capacity of the urban agglomeration in the Yangtze River Delta, China. *Habitat International*, Vol. 36, pp. 462-470.
- McElvaney, S. (2012). *Geodesign. Case Studies and Urban Planning*. New York: Esri.
- Milan, B. F., & Greutzig, F. (2017). Lifting peripheral fortunes: upgrading transit improves spatial, income and gender equity in Medellín, *Cities*, Vol. 70, pp. 122-124.
- Miller, W. R. (2012). *Introducing Geodesign: the concept*. New York: Esri Press.
- Murphy, R. (2009). *The central business district: a study in urban geography*. New York: Taylor & Francis Group.
- Oh, K., Jeong, Y., Lee, D., Lee. W. y Choi, J. (2005). Determining development density using the Urban Carrying Capacity Assessment System. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 73, pp. 1-15.
- Universidad Pontificia Bolivariana (2013). *Anexo 1. Modelo de capacidad funcional. Diagnostico Sistema de Centralidades*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín y Alcaldía de Medellín.
- World Commission on Environment and Development (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.
- Xu, L., Kang, P. y Wei, J. (2010). Evaluation of urban ecological carrying capacity: a case study of Beijing, China. *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 2, pp. 1873-1880.

