

2. Marco metodológico

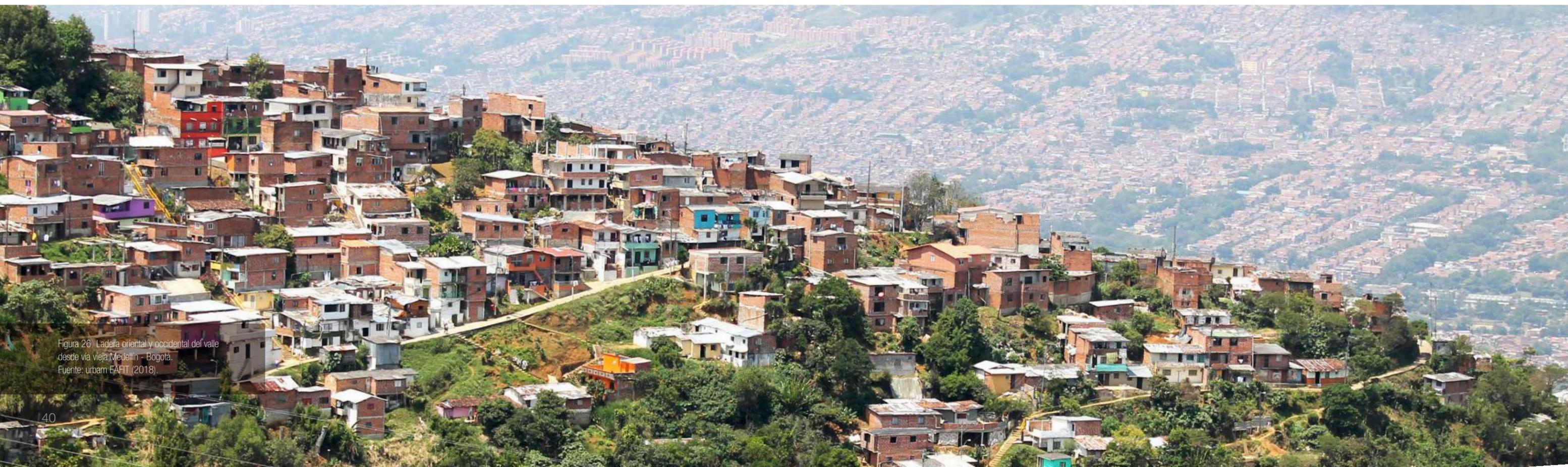


Figura 26 Ladera oriental y occidental del valle desde vía vieja Medellín - Bogotá.
Fuente: urbam EAFIT (2018).

2.1 El Modelo Densurbam

Densurbam es un modelo de análisis paramétrico en función de la población, cuyo crecimiento y distribución espacial define la presión sobre el sistema ambiental de soporte, la capacidad de las infraestructuras urbanas para albergar dicho crecimiento y las habilidades sociales como soporte cultural del proceso de cambio. Está sustentado en una relación básica de soporte: demanda/oferta, en términos de equilibrio espacio-temporal, para cada una de las variables de análisis predefinidas. Este índice corresponde a un número que varía de cero a infinito y tiene un umbral de referencia en uno. A medida que el valor del índice aumenta significa que se reduce la relación de soporte. Dicho de otra forma, el sistema se hace más insostenible, como se puede ver en la fórmula para el cálculo del índice de relación de soporte para

cada variable de análisis. Dada una demanda, una mayor oferta define menor presión a la sostenibilidad y, por lo tanto, un menor índice. Al contrario, ante una oferta constante, una mayor demanda implica mayor presión a la sostenibilidad, y por lo tanto, un mayor índice.

Otra característica del modelo es su carácter dinámico. El valor del índice cambia en el tiempo y permite establecer cuándo se alcanza el umbral de sostenibilidad, es decir, el momento a partir del cual la oferta del recurso no es suficiente para atender la demanda de la población. Se reconoce que dicho umbral no es un valor fijo, por lo tanto, el análisis permite modificarlo a través de cambios en las formas de consumo o en las infraestructuras urbanas.

$$IRS_{i,t} = \frac{D_{i,t}}{O_{i,t}} \begin{cases} < 1-\alpha, D_{i,t} < O_{i,t} \\ (1-\alpha, 1+\alpha), D_{i,t} \approx O_{i,t} \\ > 1+\alpha, D_{i,t} > O_{i,t} \end{cases}$$

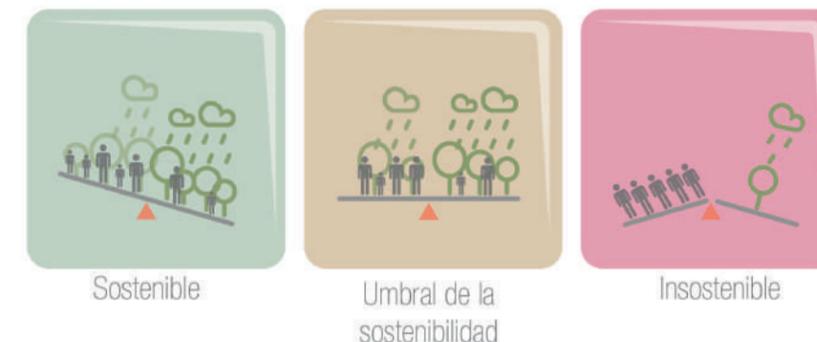
IRS: índice de relación de soporte
D: demanda del recurso limitante
O: oferta o disponibilidad del recurso limitante
i: variables de análisis
t: tiempo (años de evaluación de la capacidad de soporte)

$$IRS_{i,t} = \frac{\text{¿Qué y cuánto se necesita?}}{\text{¿Qué y cuánto se tiene?}} \begin{cases} < 1 & \text{Existe la capacidad que se requiere} \\ \approx 1 & \text{En el umbral} \\ > 1 & \text{Mejorar capacidades} \end{cases}$$

IRS: índice de relación de soporte

Figura 28 ▶ Distintos estados de sostenibilidad.
 Fuente: urbam EAFIT (2018).

Figura 27 ◀ Fórmula para el cálculo del Índice de relación de soporte para cada variable de análisis.
 Fuente: urbam EAFIT (2018).



La formulación de los planes de ordenamiento territorial, en el contexto de la ley 388 de 1997, relacionados solo con la escala municipal, se han orientado a la valoración de los principales atributos del territorio con el objeto de orientar y administrar el desarrollo físico del territorio, así como la utilización equitativa y la ocupación racional del suelo. La formulación de los POT ha hecho uso de herramientas de análisis espacial de información geográfica, privilegiando las actuaciones en suelo urbano. De conformidad con la ley, el OT tiene por objeto complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su desarrollo sostenible en función de los objetivos económicos, sociales, urbanísticos y ambientales. El modelo Densurbam pretende enriquecer la metodología de formulación de los planes de ordenamiento territorial, mediante la incorporación del concepto de capacidad de soporte como la relación dinámica entre las demandas de la población y las ofertas territoriales bajo parámetros de sostenibilidad.

Premisas, consideraciones y potencialidades

- Considera el territorio como una unidad socio-espacial, con capacidad limitada para albergar población en condiciones sostenibles de habitabilidad.
- Define un horizonte temporal de planeación, un dominio espacial de análisis y proyecta el crecimiento urbano con base en la dinámica demográfica y la demanda de bienes y servicios de esta o del incremento en el número de viviendas.
- Propone escenarios de crecimiento poblacional acordes con la dinámica demográfica y las restricciones al crecimiento derivadas de las capacidades naturales (ecosistémicas), espaciales y las habilidades sociales.
- Define variables de análisis asociadas en 3 categorías: salud y resiliencia de los ecosistemas; disponibilidad de recursos, y; habilidades de la sociedad para el desarrollo. Cada una de estas es objeto de documentación y cuantificación. Adicionalmente, para estas aparece el módulo de consumo o producción por habitante o por vivienda, y los límites de sostenibilidad en cantidad, calidad o calidad.
- Analiza las zonificaciones naturales y político administrativas, considerando sus demandas y ofertas. La zonificación territorial se correlaciona con las diferentes zonas diferenciales de densidad de ocupación establecidas por el instrumento de planificación (POT). Esta división se basa en la lógica de la gestión de cada territorio.
- La comparación entre el desempeño de las diferentes variables de análisis permite establecer un índice de sostenibilidad que define el orden y nivel de agotamiento o de indisponibilidad de los recursos analizados y la población que pueden atender de manera sostenible.
- Analiza las densidades habitacionales y de población en función de las unidades de análisis de acuerdo con los instrumentos de planificación, directrices metropolitanas y los POT municipales vigentes para establecer la ocupación actual y la máxima población que puede albergar el territorio de manera sostenible.
- Define las relaciones urbano-ambientales que amenazan la sostenibilidad y señala las variables críticas que limitan de manera estructural el crecimiento urbano.
- Define estrategias para incrementar la capacidad de soporte del territorio y simula su impacto en el tiempo.
- Ofrece una interfaz amigable que permite a los usuarios no modeladores hacer uso de la herramienta.
- Genera escenarios acerca de la posible transformación de los recursos naturales.
- Soporta la capacidad técnica de las autoridades para formular y evaluar políticas ambientales y proporciona más herramientas que facilitan la negociación con los actores económicos y sociales de una región.
- Considera el efecto acumulativo de algunas actividades que, vistas de manera aislada, pudieran parecer inofensivas a la sostenibilidad de una región y permite la realización de diagnósticos territoriales.
- Permite simular diferentes escenarios de crecimiento poblacional, sus efectos sobre el sistema urbano-ambiental y las modificaciones a la capacidad de soporte a través de las formas de ocupación y/o de consumo, denominadas, como se ha mencionado, habilidades sociales para el desarrollo.

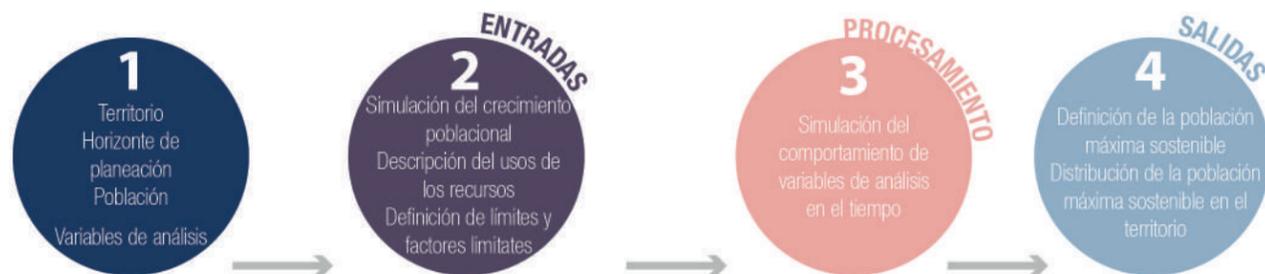


Figura 29 ▲ Esquema general Densurbam.
Fuente: urbam EAFIT (2017).

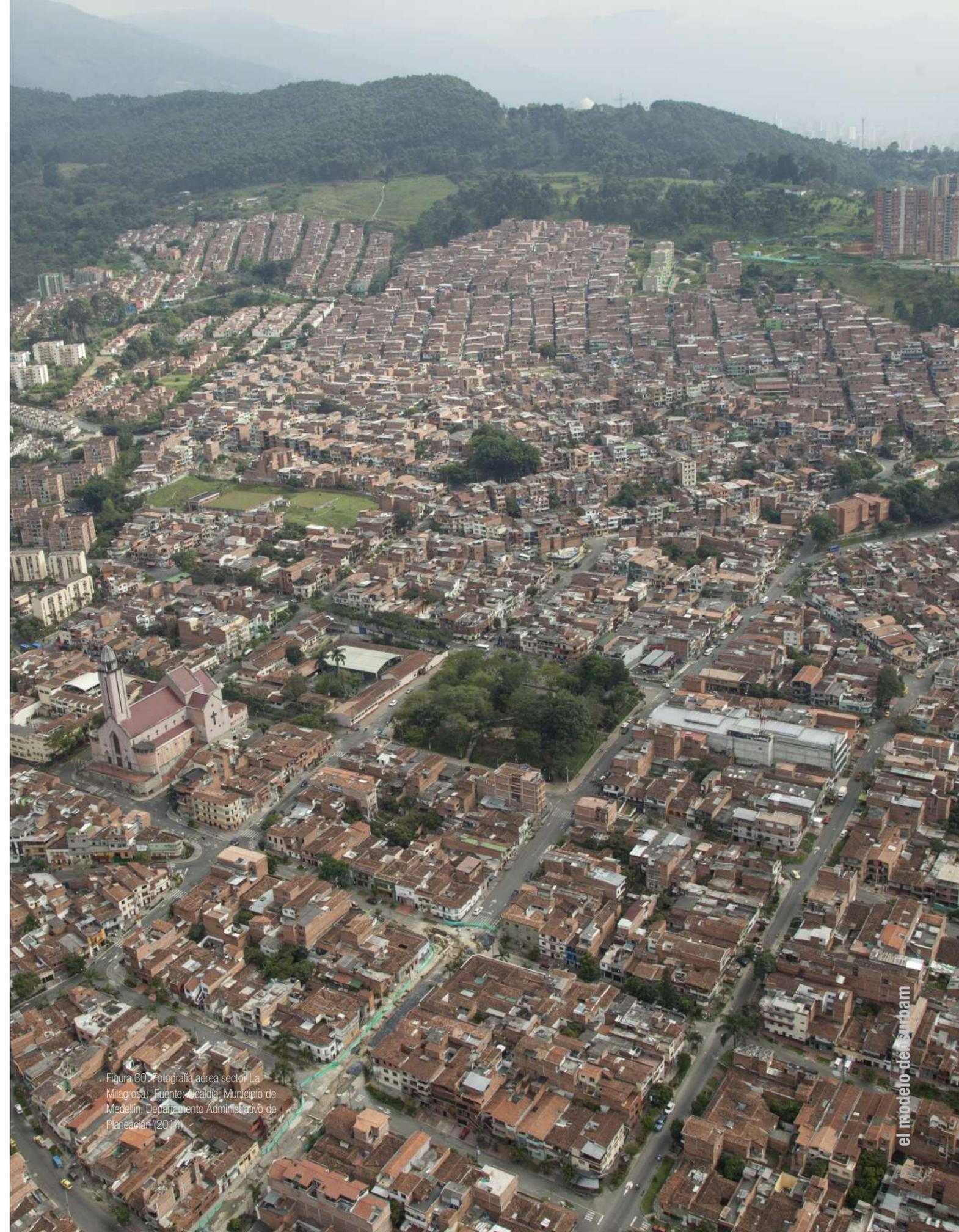


Figura 80 Fotografía aérea sector La Milagrosa. Fuente: Alcaldía, Municipio de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación (2014).

La estimación de la capacidad de soporte empieza por reconocer el territorio como un elemento finito y unos recursos (atributos) asociados a este, limitando su disponibilidad y capacidad; una vez entendida esta premisa, se busca definir el tipo de unidad mínima de análisis e intervención, simultáneamente es necesario determinar el horizonte de simulación y la construcción de escenarios de crecimiento demográfico y su correlación con el crecimiento urbano. Se reconoce que la dinámica de ocupación no es homogénea ni en el espacio, ni en el tiempo y, por ello, cada unidad de análisis y cada elemento en el período de planeación puede tener un comportamiento diferente.

En paralelo, se seleccionan las variables de análisis y se definen, para cada una de ellas, módulos unitarios de producción o de consumo, con base en sus comportamiento histórico o con parámetros validados. Estos módulos, junto con la simulación del crecimiento de la población en el tiempo, permiten proyectar el comportamiento de cada variable dentro del horizonte de simulación. También, se definen los factores limitantes o límites por variable, es decir, aquel valor que enmarca o limita el uso o aprovechamiento sostenible para cada una de las variables; dichos límites son dinámicos temporalmente determinados por la tecnología y la cultura y por ello se estiman para cada uno

de los años del período de planeación. Una vez definido el tamaño poblacional sostenible se aborda el tema de su distribución en el territorio. La población sostenible se distribuye en el área para obtener la densidad sostenible - resultado central del modelo. El área habitacional sostenible es el resultado de sustraer las zonas con restricciones a la ocupación para definir las áreas con potencial de ocupación. Cada una de estas etapas se describe detalladamente a continuación.

Figura 31 ▼ Proceso metodológico Densurbam Fuente: urbam EAFIT (2018).



Figura 32 Ladera Suroriental de Medellín Fuente: Alcaldía, Municipio de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación (2014)

2.2 Herramientas del modelo Densurbam

El modelo, en sí mismo, es una herramienta de cálculo que permite evaluar la situación actual del territorio para los tres componentes, articulados de manera sistémica y de conformidad con los parámetros de producción y consumo de

la población (módulos) y construir escenarios de desarrollo que deben orientar la toma de decisiones de política pública en función de la sostenibilidad territorial.

El modelo paso a paso

Como se mencionó en un apartado anterior, el modelo Densurbam es paramétrico y está basado en la población que habita los territorios, en este caso ha sido planteado desde las unidades de análisis y las posibilidades que estas ofrecen para operar variables ambientales, sociales y urbanas. El centro del modelo es la población, su densidad por unidad territorial y la demanda que esta genera de servicios públicos, sociales y ambientales.

El uso del modelo se inicia al determinar el horizonte de planeación, el dominio espacial del estudio y la subdivisión de dicho territorio en unidades de análisis más pequeñas que describen dinámicas homogéneas. La selección de las variables de análisis depende, naturalmente, de la disponibilidad de información, pero es ideal procurar que estén incluidas variables de las tres categorías funcionales mencionadas en la sección 1.4, para lograr una descripción integral

de la capacidad de soporte. El comportamiento de cada una de estas variables se relaciona de forma directa con las unidades de análisis, en la medida en que dicha dinámica es homogénea dentro de la unidad de análisis y es además un factor diferenciador entre una unidad y otra. En síntesis, las etapas preliminares se enumeran a continuación y tienen por objeto determinar:

- Período de análisis
- Dominio espacial global y subdivisión en unidades de análisis
- Variables de análisis
- Módulos de consumo de cada variable en cada unidad de análisis

Una vez definido el dominio espacial y temporal del modelo, así como las variables de análisis, se procede de la siguiente manera:

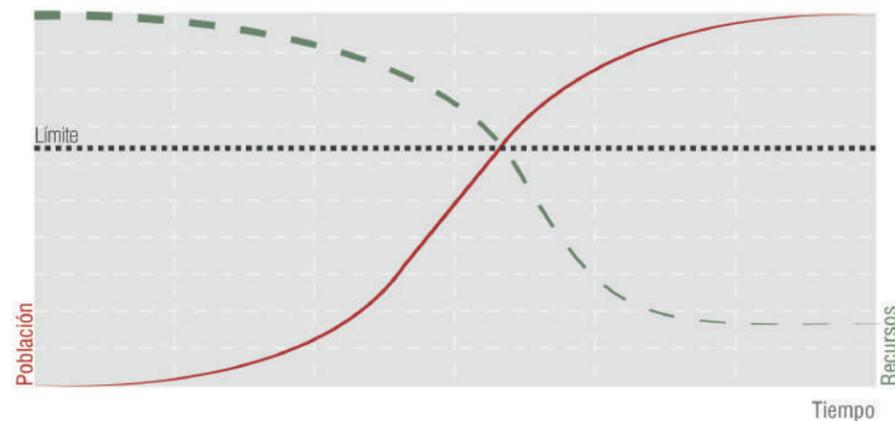


Figura 33 ◀ Proyección del comportamiento de cada variable en el tiempo y definición del nivel limitante y límites por variable. Fuente: urbam EAFIT (2018).

*El eje X representa el tiempo y el eje Y la demanda de un recurso. También debe definirse la oferta máxima de cada variable en la unidad de análisis. Esta oferta puede ser variable en el tiempo.

Índice de relación de soporte - IRS

El índice IRS se define como la relación de oferta y demanda para cada variable y unidad de análisis; para su dimensionamiento se define un módulo de producción o consumo. Una vez definida su aplicación en el modelo mediante la multiplicación del valor de este por la población proyectada en cada período y unidad de análisis se simula el comportamiento de la variable en el tiempo.

En la siguiente figura, el eje X representa el tiempo y el eje Y la demanda de un recurso. También debe definirse la oferta máxima de cada variable en la unidad de análisis. Esta oferta puede ser variable en el tiempo.

Cuando la demanda del recurso se cruza con su oferta máxima, se supera la sostenibilidad de la variable analizada. En este caso, el índice de relación de soporte -IRS- es mayor a 1. En la gráfica se incluye la información de la población proyectada en cada uno de los años del horizonte de planeación, esto, junto con el cruce de las líneas de demanda y límite, permite establecer la máxima población sostenible por variable.

Una vez definido el IRS para cada variable se identifican sus niveles de sostenibilidad, lo que significa ordenar las variables según su IRS. La variable que primero encuentra un valor del IRS superior a 1 se considera una variable limitante. En la estimación del IRS se define un intervalo de seguridad, asociado a la formulación de un parámetro denominado alfa (α). Dicho parámetro implica que el límite no es una línea sino una franja que se asocia a la incertidumbre propia del comportamiento de cada límite; α también representa la imposibilidad de utilizar el recurso hasta su límite, dejando un margen que representa la justicia intergeneracional. El uso de este factor de seguridad permite definir un rango en el que la sostenibilidad del recurso se encuentra en un estado crítico.

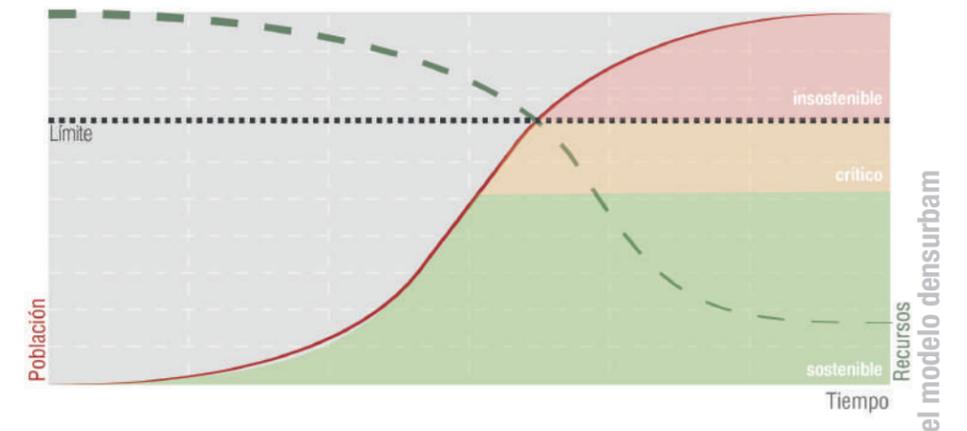


Figura 34 ▶ Proyección del comportamiento de cada variable en el tiempo y su intervalo de seguridad. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Áreas con potencial habitacional - APH

Para la ocupación sostenible del territorio, es necesario desarrollar un modelo de habitabilidad basado en la aptitud urbano ambiental del territorio, lo cual no es otra cosa que desarrollar modelos de ocupación conforme a la función ecológica de la propiedad. Es así como se desarrolla el concepto de áreas con potencial habitacional (APH) el cual aplica para el componente de la vivienda, de la morada permanente. Dichas áreas corresponden a aquellas áreas del territorio que no representan riesgos altos por amenazas naturales o que no comprometen la funcionalidad de otros sistemas esenciales para la funcionalidad urbana y ambiental. Los determinantes ambientales, las formas urbanas pre-existentes, la infraestructura básica, los elementos patrimoniales y los ecosistemas estratégicos, son la base para la definición de dichas áreas.

ocupada con viviendas. No hacen parte de las APH, las zonas de riesgo alto por inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales y aquellas zonas definidas por ley como áreas de conservación estricta. Así mismo, no son APH, las áreas donde se localizan equipamientos públicos, edificios patrimoniales e infraestructuras como vías y zonas del espacio público, definidas en el Decreto 1504 de 1998. Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial. Agosto 4 de 1998. DO N° 43.357. Y relacionadas en el esquema de Espacio Público. Estas áreas son, por lo tanto, el resultado de aplicar un álgebra de mapas mediante el cual se sustraen del área total de la unidad de análisis las áreas de importancia ambiental, áreas para la movilidad y para el espacio público y los equipamientos.

Las APH parten de reconocer que no toda el área de cada unidad de análisis puede ser

APH = Área total -
áreas de importancia ambiental -
áreas de movilidad -
áreas de espacio público y
equipamientos

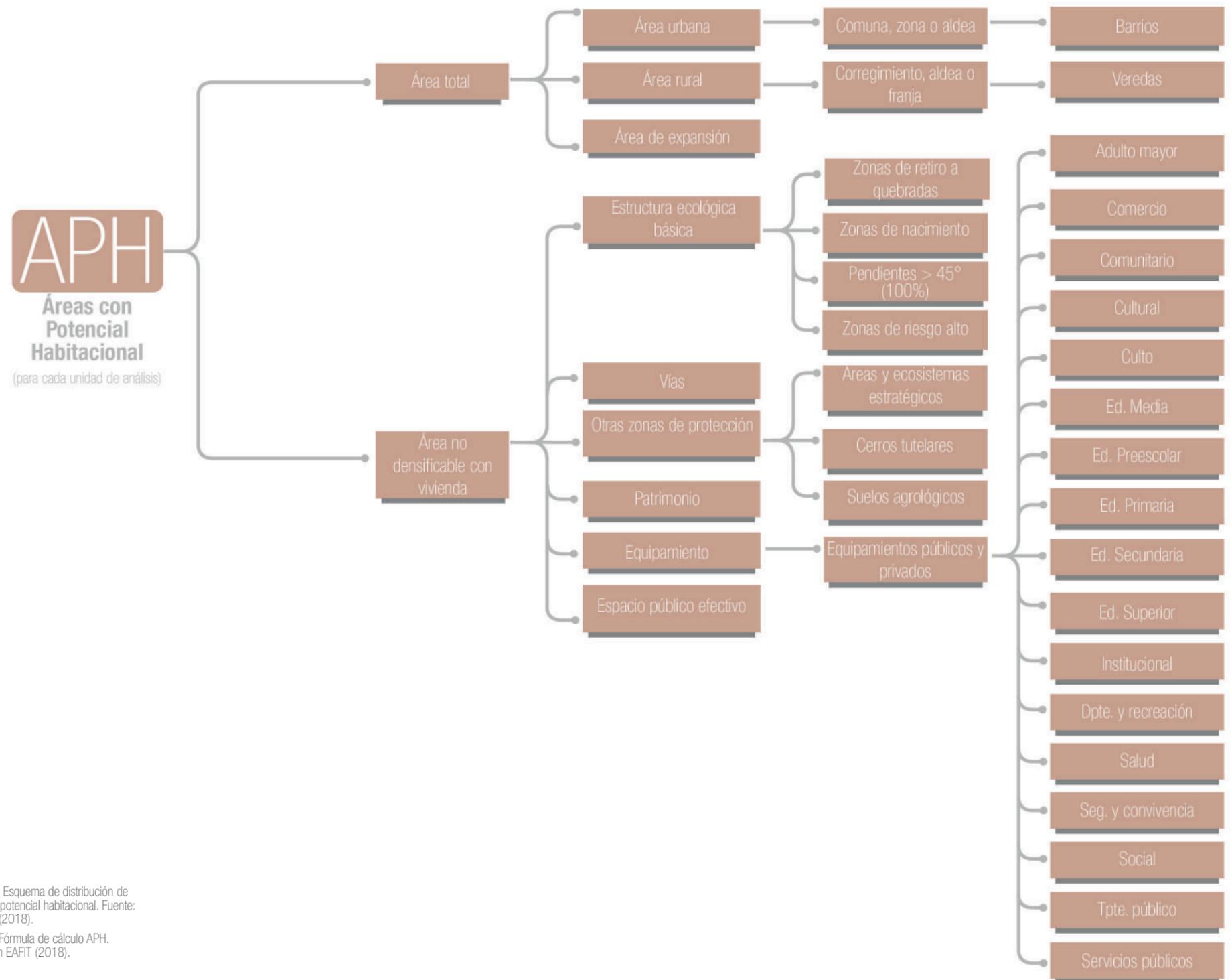
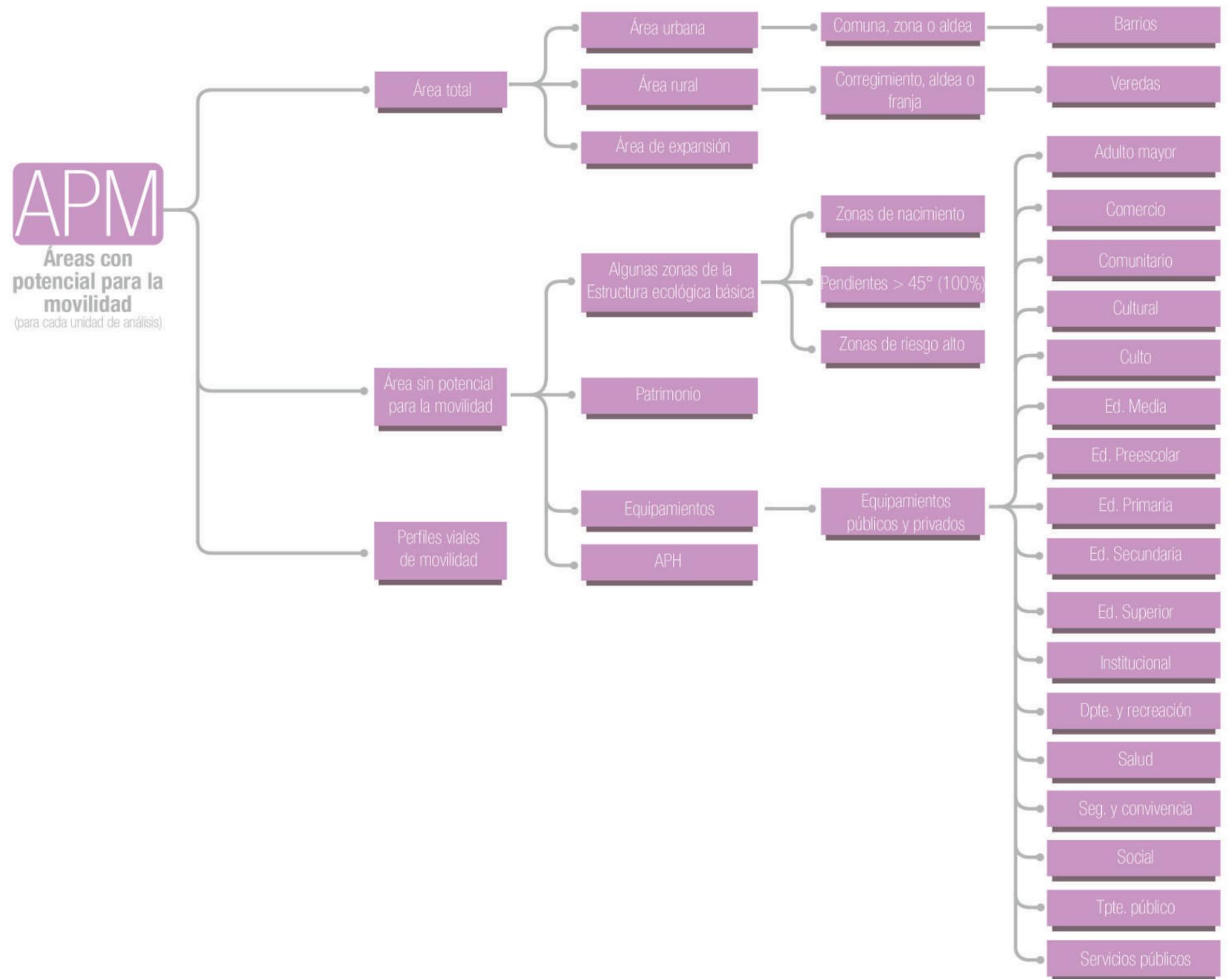


Figura 36 ▲ Esquema de distribución de las áreas con potencial habitacional. Fuente: urban EAFIT (2018).

Figura 35 ◀ Fórmula de cálculo APH. Fuente: urban EAFIT (2018).



Áreas con potencial para la movilidad - APM

Las áreas con potencial para la Movilidad (APM) son aquellas con aptitud para la movilidad en cualquier modo de transporte. Las APM incluyen todos los espacios convencionales que actualmente están destinados al desplazamiento, como las vías, (conformadas por zonas verdes, antejardines, andenes, ciclorrutas y calzadas); también se consideran los parques, los grandes equipamientos y, por supuesto, la estructura ecológica básica, que representa una excelente oportunidad de consolidación de una red de

movilidad a escala humana. La movilidad es una función social, económica y ambiental de importancia esencial y, por lo tanto, el espacio requerido para esta debe preservarse de toda ocupación, por encima de las áreas destinadas a la densificación de vivienda y cualquier otro tipo de desarrollo privado o público que limite su acceso.

Figura 37 ▶ Esquema de distribución de las áreas con potencial para la movilidad. Fuente: urbam EAFIT (2018).

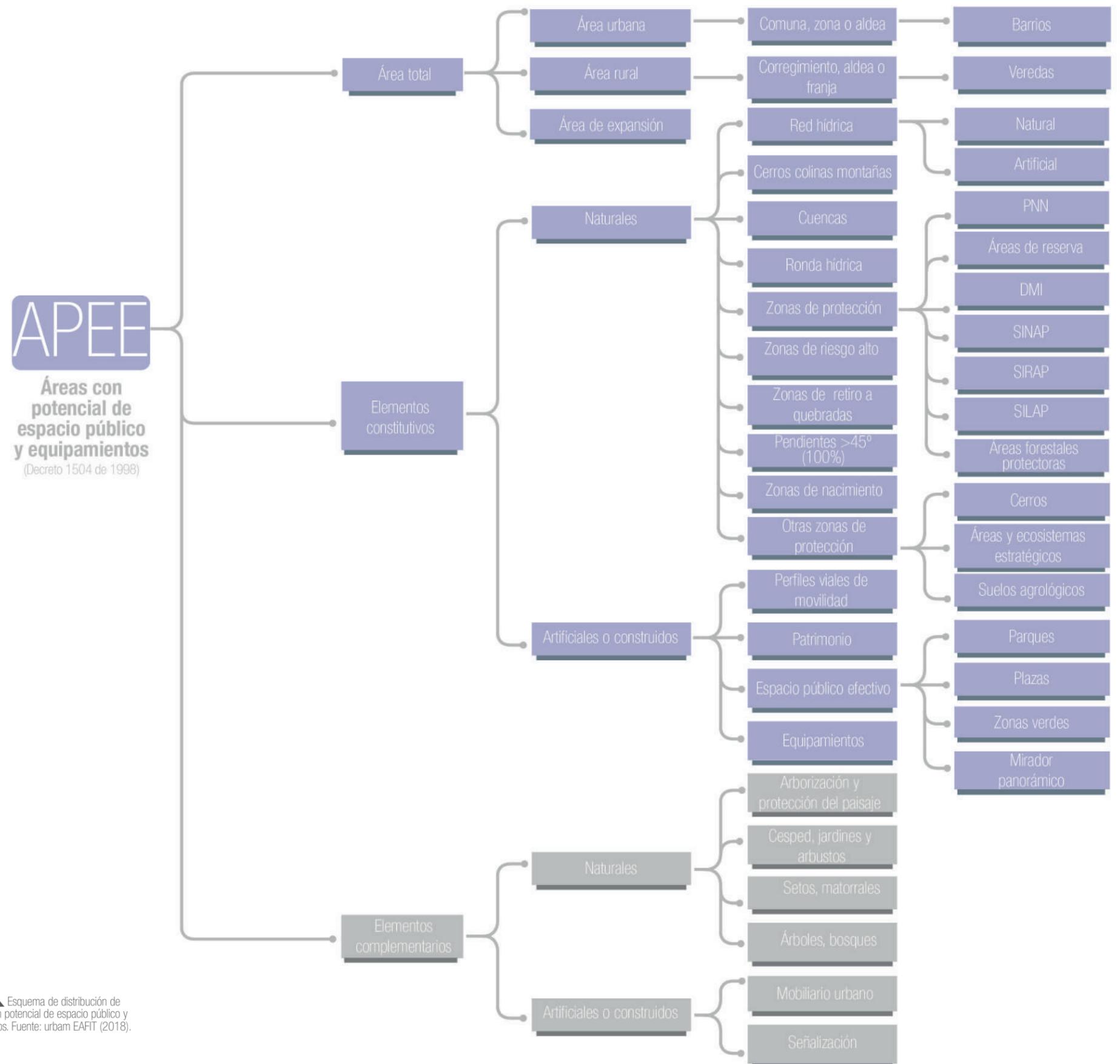
Áreas con potencial de espacio público y equipamientos - APEE

Decreto 1504 de 1998. Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial. Agosto 4 de 1998. DO N° 43.357. Define las áreas de espacio público, el cual constituye una carta de navegación en lo referente a la constitución del espacio público y de uso comunitario. Las Áreas con Potencial de Espacio Público y Equipamientos (APEE) incluyen tanto aquellas zonas que son aptas, adecuadas y en uso, como aquellas que son aptas y aún tienen todo su potencial real para constituirse en el espacio

público del territorio analizado. Las APEE son base de la función social y ecológica de la propiedad.

La siguiente figura es una síntesis del decreto 1504 de 1998, en el cual se asigna a cada sección del espacio público una posición y jerarquía, definidas desde el marco jurídico nacional. También, se incluyen en la sustracción de áreas, los espacios dedicados a equipamientos públicos y privados.

Figura 38 ▲ Esquema de distribución de las áreas con potencial de espacio público y equipamientos. Fuente: urbam EAFIT (2018).



2.3 Los Índices del modelo Densurbam

Se define como densidad habitacional sostenible, aquella densidad poblacional o habitacional que confiere un equilibrio entre las demandas de espacio, equipamientos, servicios públicos y recursos, con las ofertas disponibles. Para efectos de comparabilidad, la densidad sostenible se evalúa en relación al área bruta de cada unidad de análisis considerada.

En coherencia con las consideraciones y criterios de sostenibilidad que se plantean en este trabajo, las áreas de habitación donde se materializan las densidades sostenibles corresponden a las áreas con potencial habitacional sostenible. Las densidades sostenibles mínima y máxima, son aquellas asociadas a la variable más limitante y menos limitante, respectivamente. La reconsideración de estas densidades es necesaria al transcurrir el tiempo, dada la dinámica del sistema urbano-ambiental.

El Índice de densificación en altura (IDA) es un índice de referencia que permite tener una idea

sobre la altura media -representada como el número de pisos-, de las edificaciones en una unidad de análisis si todas las áreas con potencial habitacional se desarrollan verticalmente de manera equilibrada. El IDA indica el número de pisos necesarios para atender la demanda habitacional con una justicia económica inmobiliaria y atendiendo el tamaño del APH en cada unidad de análisis. Una zona donde se ha alcanzado la densidad habitacional permitida y en la que sus edificaciones habitacionales tienen gran heterogeneidad en altura, puede representar un proceso de ocupación ineficiente, desequilibrado, ilegal en algunos casos, con distribución inequitativa del uso del suelo y el espacio público, vacíos normativos, regulación insuficiente, pérdida de calidad de vida y un riesgo para la sostenibilidad urbana y ambiental. Para el cálculo de este índice se asumió un tamaño mínimo de 100 m² por vivienda.

$$IDA = \frac{DS \times TmV \times (At)}{AHS}$$

IDA: Índice de densidad en altura

DS: Densidad sostenible

TmV: Tamaño mínima de vivienda

AHS: áreas habitacionales sostenibles

Figura 39 ▲ Formula para el cálculo del índice de densidad en altura. Fuente: urban EAFIT (2018).



Figura 40 Ladera Centro-oriental de Medellín. Fuente: Alcaldía, Municipio de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación (2014)