

6. Integrando dinámicas Un análisis de la sostenibilidad



Figura 378. Límite Medellín-Itagüí.
Fuente: urban EAFIT (2018)

6.1. Análisis por variable: escenarios y recomendaciones

Acorde al enfoque conceptual y metodológico propuesto por el modelo Densurbam, una de las formas de abordar el análisis de las interacciones territoriales del Área Metropolitana del Valle de Aburrá es desde la relación demanda - oferta. Las demandas se calculan identificando módulos de consumo por habitante o por vivienda y multiplicando dichos módulos por la tasa de crecimiento de la población o de las viviendas. Además, lo correspondiente a la estimación de la oferta, el cálculo es particular para cada variable.

Los módulos, en general, se definen a partir de la experiencia, la bibliografía nacional e internacional y las normas locales. Expresan el requerimiento unitario de recursos y servicios, también pueden llegar a ser valores dinámicos que varían según la época, el tamaño de la población, la cultura ciudadana, los desarrollos de la tecnología, la infraestructura existente y las características geográficas que definen aspectos como el clima y la topografía. Asimismo, tienen una jerarquía establecida por la importancia del recurso para satisfacer funciones esenciales, como es el caso del agua, el aire, el suelo y la energía.

Así, en el estudio de las capacidades de soporte urbano-ambientales del valle de Aburrá, fueron estudiadas las dinámicas de factores limitantes al crecimiento sostenible del territorio que se convierten en determinantes y condicionantes. Adicionalmente, en el universo de variables analizadas, también se estudiaron otras que si bien, no son restrictivas al crecimiento sostenible, son claves para la comprensión de las dinámicas de ocupación del territorio y las condiciones de vida de la población. Todas estas variables se muestran en la figura de la próxima página.

Las siguientes fichas describen brevemente cada variable, las fuentes de información consultadas, el módulo de consumo por habitante o por vivienda y la definición de su oferta máxima o límite. De igual manera, se incluyen para cada variable los resultados del índice de relación de soporte, un tamaño máximo poblacional y su dinámica en el tiempo a través del crecimiento demográfico tendencial. El índice de relación de soporte se describe de forma gráfica y cuantitativa. En el gráfico, el eje X representa el tiempo, en el eje horizontal izquierdo el valor que cada variable toma en el período correspondiente y en el eje horizontal derecho el valor del déficit. También, se incluye la representación de la oferta máxima o el límite asociado. Del mismo modo, se incluyen mapas que ilustran la variabilidad geográfica de las relaciones de soporte, escenarios y recomendaciones para el mejoramiento de cada variable.

Es importante aclarar que Densurbam es, ante todo, una propuesta metodológica para la estimación de la capacidad de soporte del territorio; la información básica de entrada al modelo no tiene una resolución espacial ni temporal óptima y, por lo tanto, la extrapolación de tendencias fue un ejercicio frecuente. Por lo anterior, los resultados que se presentan en el siguiente capítulo deben entenderse como el primer paso de una línea de planificación basada en la generación y análisis integral de información cuantitativa de alta resolución espacial y temporal, donde las variables urbanísticas, ambientales y socio-económicas se articulen de manera sencilla y comprensible.

Los resultados entregados son un reflejo de la realidad metropolitana, pero por las razones descritas la asertividad de las proyecciones es sujeto de mejoramiento continuo. Con

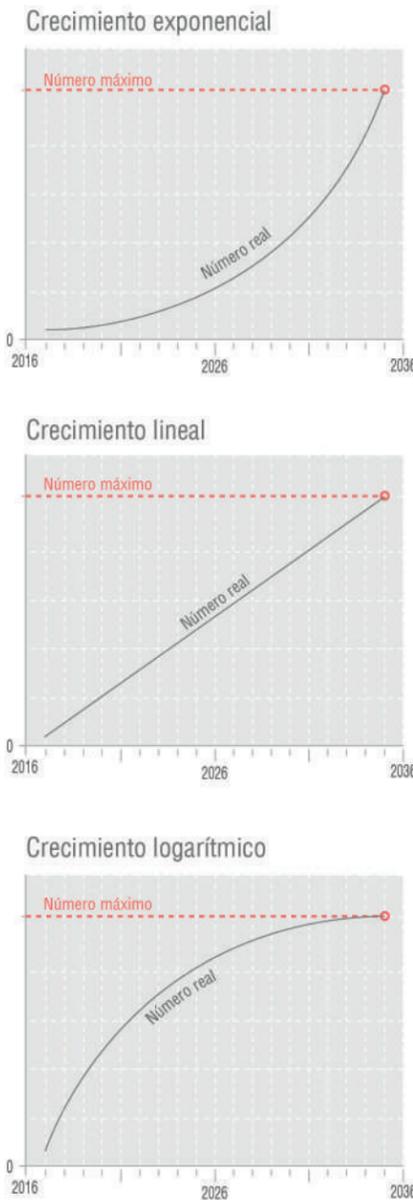


Figura 379 ▲ Escenarios de crecimiento. Fuente: urbam EAFIT (2018).



Figura 380 ▲ Variables limitantes y no limitantes al crecimiento, incorporadas en el modelo Densurbam para el estudio de las capacidades de soporte urbano -ambientales del Valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFIT (2018).

una herramienta de análisis integral como la propuesta, es pertinente afinar la producción de información relacionada con el seguimiento de la dinámica urbanística, en todas sus dimensiones. En la medida en que el Área Metropolitana

del Valle de Aburrá conforme un sistema de información único, centralizado, uniforme y de acceso universal, la calidad de sus ejercicios de planeación estratégica se cualificará.



Emisión CO₂ por fuentes móviles y fijas

Emisiones de CO₂ generadas por procesos de combustión dentro del Valle, asociadas a fuentes fijas y móviles

Módulos asociados

Los factores de emisión de contaminantes dependen del tipo de vehículo y de la eficiencia y mantenimiento de su motor. La tabla muestra los valores máximos y mínimos de emisión de CO₂ para diferentes modos de transporte.

Factores de emisión por modo:

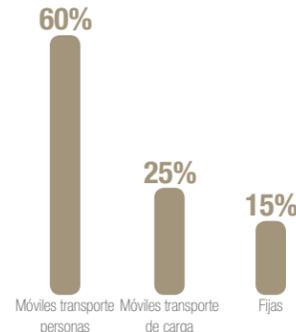
Auto	270 g/km
Bus (20 pasajeros/vehículo)	1.750 g/km
Metrolús-gas (40 pasajeros/vehículo)	1.240 g/km
Metro	0 g/km
Caminata	0 g/km
Bicicleta	0 g/km
Moto	120 g/km

Factores de emisión reportados en la literatura (g/km)

Modo	Mínimo	Máximo
Auto	150	320
Bus	650	1.750
Metrolús gas	487,5	1.312,5
Metro	0	0
Caminata	0	0
Bicicleta	0	0
Moto	80	140
Camión	395	940

A partir de un valor promedio y de los datos de viajes de la encuesta origen destino, se estimaron las emisiones asociadas al transporte de personas en cada una de las unidades de análisis. Dentro del rango de factores de emisión, se describen los valores utilizados:

Participación porcentual en las emisiones totales por fuente:



La información relación entre la emisión total y el aporte de fuentes fijas se obtuvo del inventario de emisiones; la relación entre fuentes móviles asociadas al transporte de carga y personas, a través de cálculos derivados de la encuesta origen-destino.

Con base en esta información se estimaron las emisiones totales de CO₂ en el Valle de Aburrá. En el caso de esta variable, el IRS se calculó de manera global, comparando las emisiones totales con los límites derivados de la aplicación de la ecuación del estudio "techo a las emisiones" (UPB- AMVA, 2016).



Índice de relación de soporte metropolitano 2018



Figura 381 ▲ Índice de relación de soporte a escala metropolitana de la emisión de CO₂ directa total 2018. Fuente: urban EAFIT (2018).

Límites

Se asume como límite la capacidad de fijación de CO₂ dentro del Valle, dependiente de la evolución de las coberturas. En el siguiente gráfico, se describen

las coberturas actuales y proyectadas con su respectivo valor de fijación de CO₂.



Figura 382 ◀ Evolución de la capacidad de fijación total de las coberturas (ton/año). Fuente: urban EAFIT (2018) con base en CCI-ESA (2015).

Fórmula de cálculo

$$CO_2\text{Total}/FPCO_2$$

$$CO_2\text{Total} = \text{Emisiones de } CO_2 \text{ totales por combustión}$$
$$FPCO_2 = \text{Fijación potencial de } CO_2$$

Fuentes de información

Encuesta origen destino AMVA 2018; Inventario de emisiones Valle de Aburrá (UPB-AMVA) 2015; Herrera, 2007.

Índice relación de soporte 2018

Emisión CO₂

Total

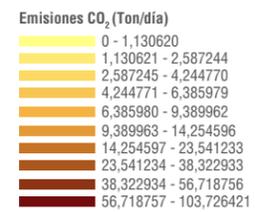
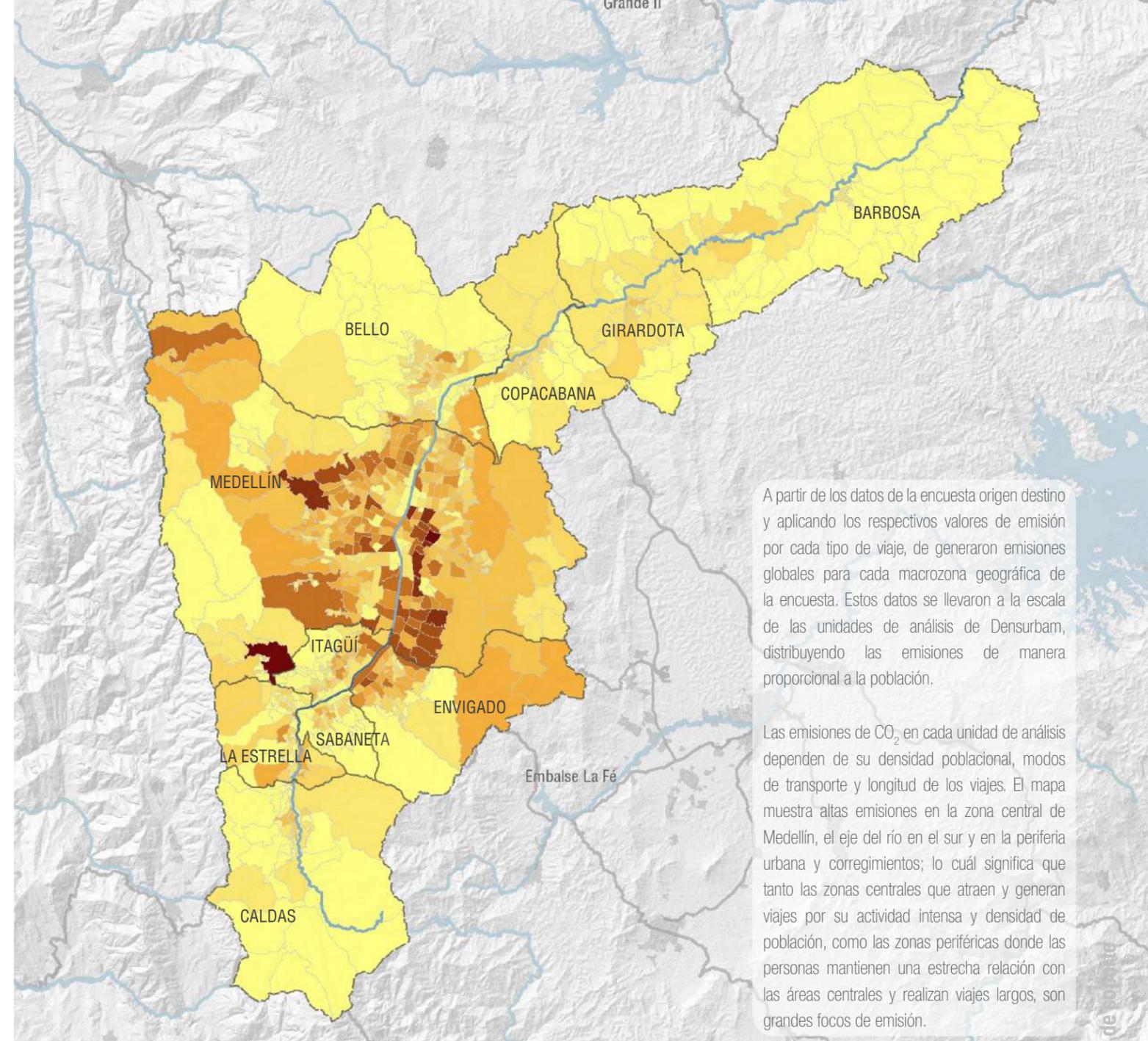


Figura 383 ▲ Emisiones de CO₂ totales por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urban EAFIT (2018).

A partir de los datos de la encuesta origen destino y aplicando los respectivos valores de emisión por cada tipo de viaje, de generaron emisiones globales para cada macrozona geográfica de la encuesta. Estos datos se llevaron a la escala de las unidades de análisis de Densurbam, distribuyendo las emisiones de manera proporcional a la población.

Las emisiones de CO₂ en cada unidad de análisis dependen de su densidad poblacional, modos de transporte y longitud de los viajes. El mapa muestra altas emisiones en la zona central de Medellín, el eje del río en el sur y en la periferia urbana y corregimientos; lo cuál significa que tanto las zonas centrales que atraen y generan viajes por su actividad intensa y densidad de población, como las zonas periféricas donde las personas mantienen una estrecha relación con las áreas centrales y realizan viajes largos, son grandes focos de emisión.

Escenario tendencial

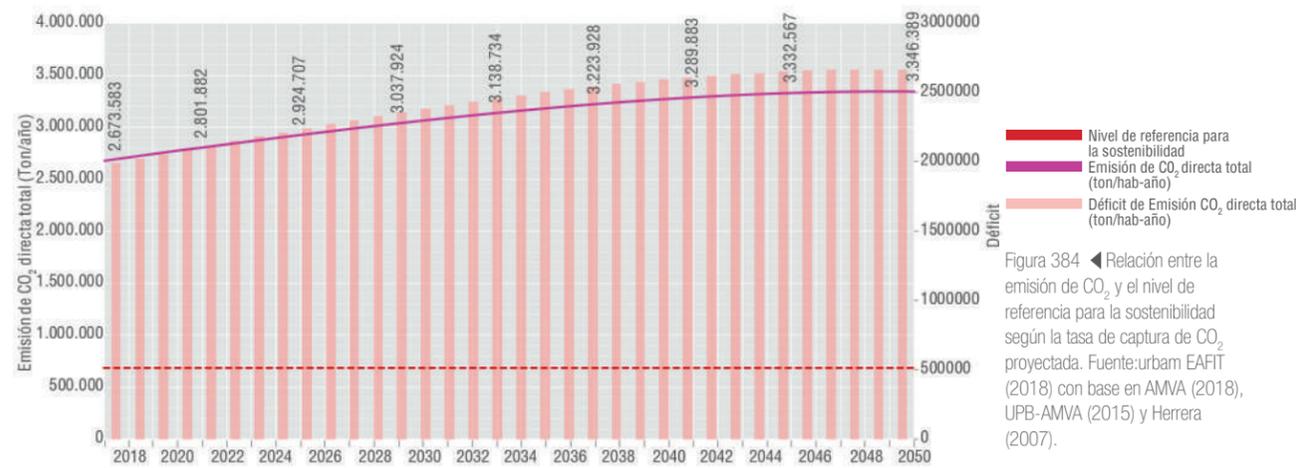


Figura 384 ◀ Relación entre la emisión de CO₂ y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la tasa de captura de CO₂ proyectada. Fuente: urban EAFIT (2018) con base en AMVA (2018), UPB-AMVA (2015) y Herrera (2007).

La simulación del modelo densurbam parte de la tasa de fijación actual de CO₂ del Valle de Aburrá y la mantiene constante en el tiempo. A través de la proyección de las coberturas vegetales del suelo realizada a partir de imágenes satelitales (CCI-ESA, 2015), se observan ligeras variaciones en la capacidad de fijación a lo largo del periodo de análisis. Debe entenderse que por su resolución espacial, el análisis de la imagen no es exacto y la cobertura forestal puede ser hasta un 20% inferior a la reportada. El plan de gestión integral de la calidad del aire (PIGECA, 2017) estima que las emisiones

de CO₂ se duplicarían en el periodo 2017-2030. El escenario proyectado por densurbam implica un crecimiento tan solo del 25%, derivado del crecimiento de la población, sin consideraciones sobre cambios en la dinámica de las emisiones. Para complementar el análisis, se evalúan entonces dos escenarios, la tendencia en el crecimiento de las emisiones que proyecta el PIGECA y la implementación del plan maestro del metro, que significa una reducción en las emisiones de CO₂, de un 48%, una vez se implemente la totalidad del plan.

Escenario 1-Escenario previsto en el PIGECA

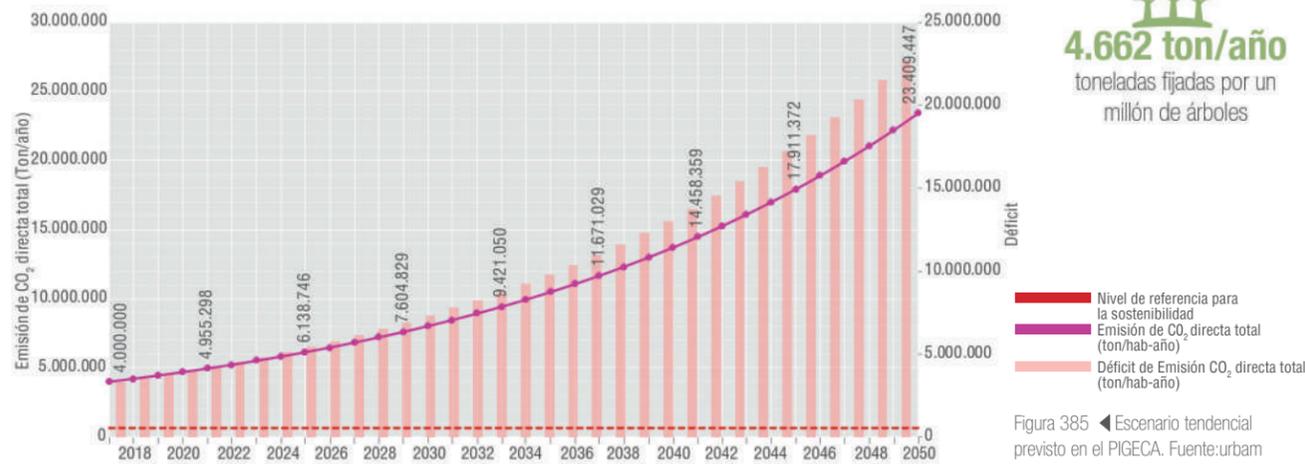


Figura 385 ◀ Escenario tendencial previsto en el PIGECA. Fuente: urban EAFIT (2018).

El escenario de duplicación de las emisiones de CO₂, estimado por el PIGECA, sin la implementación de ninguna medida de reducción, conduce a un déficit en la fijación local de CO₂, de casi 15 millones de toneladas en el año 2040. Este valor nos muestra que las reducciones en las emisiones de CO₂ es uno

de los temas críticos en la sostenibilidad del valle. En el año 2030 se requería un área de 1 millón de hectáreas para fijar el CO₂ emitido por el Valle, es decir, casi 10 veces el área total del Valle de Aburrá.

Impacto de plan "un millón de árboles" en la fijación de CO₂



Figura 385 ◀ Escenario tendencial previsto en el PIGECA. Fuente: urban EAFIT (2018).

Escenario 2-Implementación del plan maestro del metro

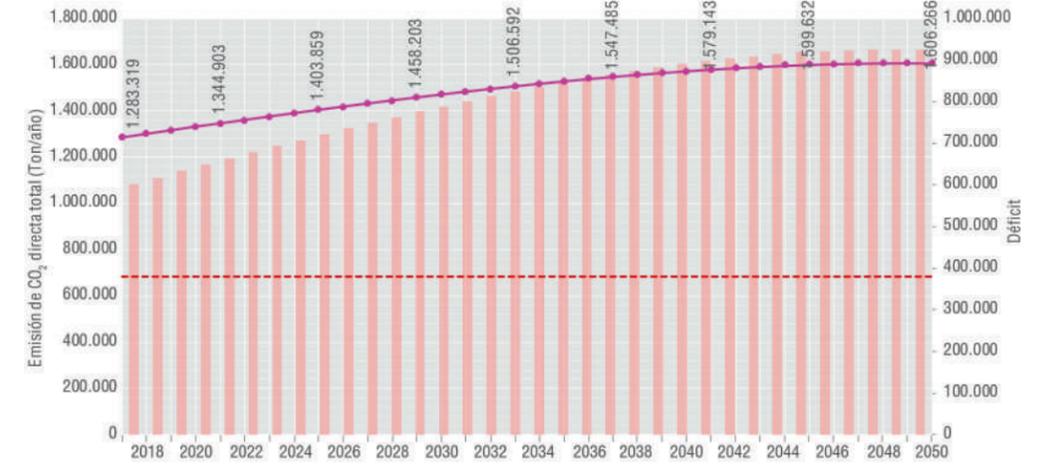


Figura 386 ▶ Escenario con la implementación del plan maestro del metro. Fuente: urban EAFIT (2018)

Si se implementara el plan maestro del metro en el año 2018, se alcanzaría una reducción del 54% en las emisiones de CO₂ asociadas al transporte de personas en el Valle de Aburrá, a pesar de este cambio en los modos de transporte, se mantiene el déficit respecto al nivel de referencia para la sostenibilidad.

Escenario 3-Impacto del plan siembra

El plan de siembra de 1 millón de árboles, en el corto plazo, no tiene un impacto significativo sobre la capacidad de fijación de CO₂ del Valle pero sí representaría una mejora contundente en el indicador de árboles urbanos por habitante. La recomendación evidente es la siembra de éstos árboles en las zonas urbanas y no en las áreas rurales como ha venido haciéndose (entre los 490.000 árboles sembrados

La magnitud de las emisiones de contaminantes atmosféricos y crecimiento de la población implica cambios mucho más profundos que los planteados por el plan maestro del metro y estos cambios deben llevarse a cabo en el presente, no en el mediano ni el largo plazo.

a marzo de 2018, sólo 30.000 se localizan en las zonas urbanas). Un millón de árboles más en la zona mientras que las siembras y el mantenimiento a las zonas verdes deben ser el mecanismo de gestión del arbolado urbano, las áreas rurales requieren estrategias de conservación y restauración natural de los sistemas forestales.

Recomendaciones

El efecto local de las emisiones de CO₂ está descrito en la literatura a través de algunas publicaciones sobre los domos de CO₂ sobre entornos urbanos. Dichos estudios indican que el efecto invernadero de este gas tiene también un carácter local que propicia la formación de contaminantes secundarios. Una recomendación prioritaria para el AMVA es la incorporación de la medición del CO₂ como contaminante local que debe gestionarse.

La regeneración natural del bosque es un aliado en el mejoramiento de la cobertura forestal, y por lo tanto, en la capacidad de fijación local de CO₂, mientras que las siembras y el mantenimiento a las zonas verdes deben ser el mecanismo de gestión del arbolado urbano, las áreas rurales requieren estrategias de conservación y restauración natural de los sistemas forestales.

La simulación de cambio de coberturas vegetales en el Valle de Aburrá, muestra que éste sigue perdiendo

de manera continua su capacidad de fijación de CO₂. La implementación de planes masivos de recuperación de coberturas forestales es una acción prioritaria.

Dada la limitación del sistema natural en absorber la totalidad del CO₂ emitido, es urgente que las acciones se concentren además en la reducción de las emisiones. El transporte de las personas participa con el 60% de las emisiones de CO₂ y el transporte de carga con el 25%. Estas cifras marcan las prioridades de gestión.

Las emisiones totales por unidad de análisis muestran que no solo las áreas centrales densamente pobladas con alta generación y atracción de viajes son grandes generadoras de emisiones, sino también las zonas periféricas con menor población pero viajes más largos. Este elemento confirma la pertinencia del modelo de ciudad compacta, que reduzca la longitud de los viajes cotidianos.



Emisión de MP 2,5

Emisión de material particulado de 2,5 micras por fuentes móviles y fuentes totales

Módulos asociados

Los factores de emisión de contaminantes dependen del tipo de vehículo y de la eficiencia y mantenimiento de su motor. La Tabla muestra los valores máximos y mínimos de emisión de MP 2,5 para diferentes modos de transporte. A partir de un valor promedio y de los datos de viajes de la encuesta origen destino, se estimaron las emisiones asociadas al transporte de personas en cada una de las unidades de análisis. Dentro del rango de factores de emisión, se describen los valores utilizados:

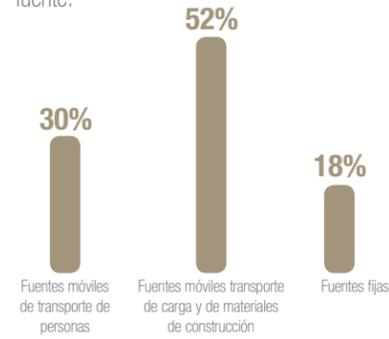
Factores de emisión por modo:

Auto	0,01 gMP 2,5 / km recorrido
BUS (25 pasajeros/vehículo)	1,2 gMP 2,5 / km recorrido
Metroplús-gas (40 pasajeros/vehículo)	0 gMP 2,5 / km recorrido
Metro	0 gMP 2,5 / km recorrido

Límites

En un estudio denominado "techo a las emisiones", AMVA-UPB determinaron la función de relación entre las emisiones diarias de MP 2,5 y la concentración promedio del contaminante en la cuenta atmosférica, para un día soleado y un día frío con mala dispersión. Con base en la norma nacional diaria máxima de 50mg/m³ y la función descrita, se definió un límite de emisión diario para un día con mala dispersión de contaminantes, de 4.100 k/día, que equivale a un

Participación porcentual en las emisiones totales por fuente:



Con base en esta información se estimaron las emisiones totales de CO₂ en el Valle de Aburrá. En el caso de esta variable, el IPS se calculó de manera global, comparando las emisiones totales con los límites derivados de la aplicación de la ecuación del estudio "techo a las emisiones" (UPB- AMVA, 2016).

La información relación entre la emisión total y el aporte de fuentes fijas se obtuvo del inventario de emisiones; la relación entre fuentes móviles asociadas al transporte de carga y personas, a través de cálculos derivados de la encuesta origen-destino.

límite anual de 1.460 ton/año y un límite de 5.400 k/día, para un día con buena dispersión, equivalente a 1.971 ton/año.

Relación emisión concentración en un día frío (MP2,5_c) = 0.0138 (MP 2,5_e) - 5.5452 fuente: AMVA-UPB (2016); MP2,5_c, concentración promedio de MP2,5 en la cuenca atmosférica del Valle; MP 2,5_e, emisión total promedio de MP 2,5.

Fórmula de cálculo

MPTotal/TDF
 MPTotal= Emisiones de MP2,5 totales
 TDF= Techo día con mala dispersión
 MPTotal=FE_MP2.5(M)*V(M)*FTC*FFF
 FTC=factor transporte de carga
 FFF=factor fuentes fijas

Fuentes de información

AMVA (2018); UPB-AMVA (2015); Herrera (2007); UPB-AMVA (2016).

Índice relación de soporte 2018

Emisión MP 2,5
Total



Índice de relación de soporte metropolitano 2018



Figura 387 ▲ Índice de relación de soporte a escala metropolitana de la emisión de MP 2,5. Fuente: urbam EAFT (2018).

Factores de emisión g/km

Modo	Mínimo	Máximo
Auto	0,016	0,02
Bus	0,2	1,6
Metroplús gas	0	0
Metro	0	0
Caminata	0	0
Bicicleta	0	0
Moto	0,02	0,17
Camión	0,6	0,75

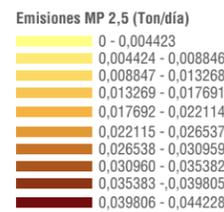
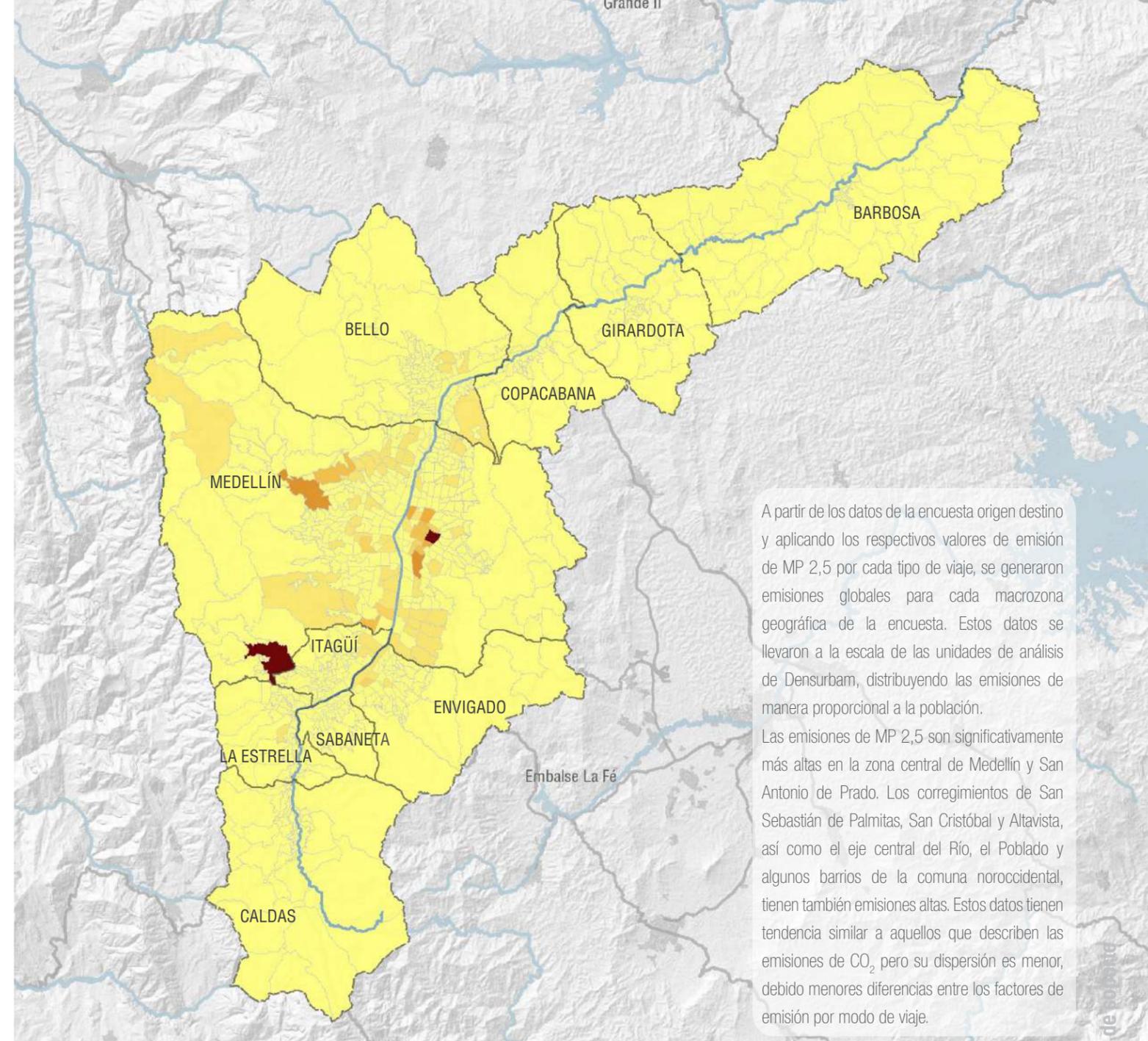
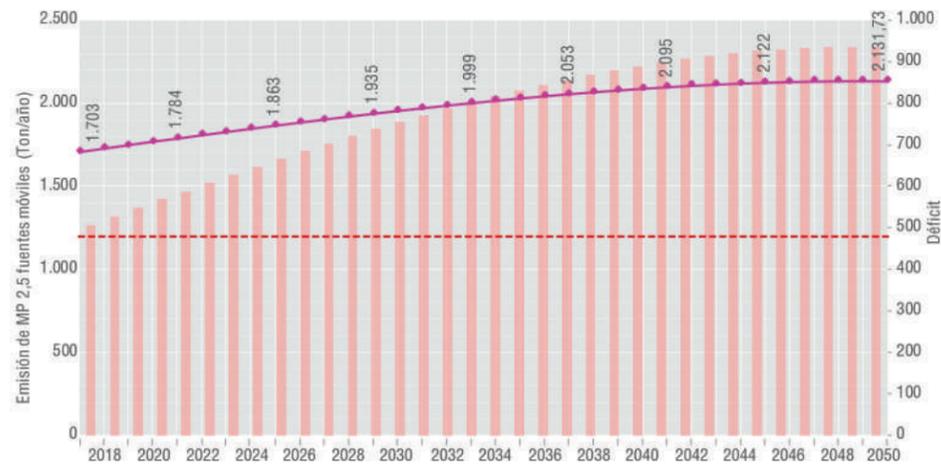


Figura 388 ▲ Emisiones MP 2,5 (Ton/día). Fuente: urbam EAFT (2018).

A partir de los datos de la encuesta origen destino y aplicando los respectivos valores de emisión de MP 2,5 por cada tipo de viaje, se generaron emisiones globales para cada macrozona geográfica de la encuesta. Estos datos se llevaron a la escala de las unidades de análisis de Densurbam, distribuyendo las emisiones de manera proporcional a la población.

Las emisiones de MP 2,5 son significativamente más altas en la zona central de Medellín y San Antonio de Prado. Los corregimientos de San Sebastián de Palmitas, San Cristóbal y Altavista, así como el eje central del Río, el Poblado y algunos barrios de la comuna noroccidental, tienen también emisiones altas. Estos datos tienen tendencia similar a aquellos que describen las emisiones de CO₂, pero su dispersión es menor, debido a menores diferencias entre los factores de emisión por modo de viaje.

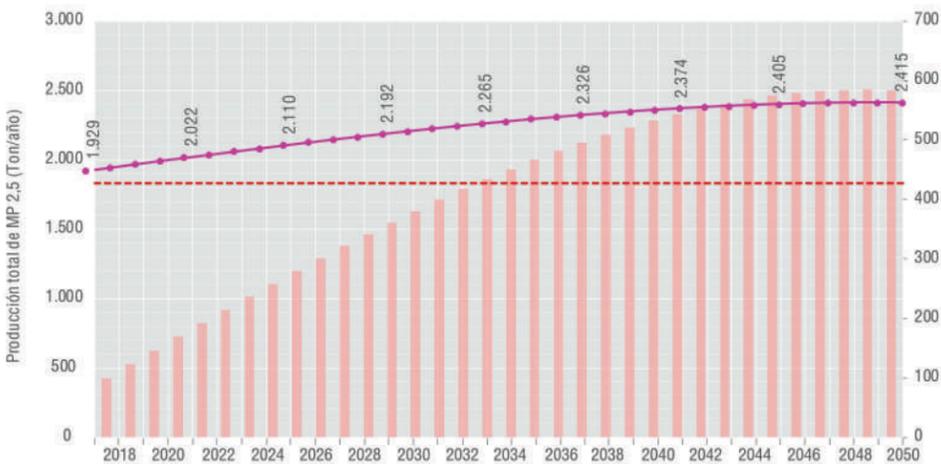
Escenario tendencial



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Emisión de MP 2,5 fuentes móviles (ton/hab-año)
■ Déficit de emisión de MP 2,5 fuentes móviles (ton/hab-año)

Figura 390 ◀ Relación entre la emisión de MP 2,5 y el nivel de referencia para la sostenibilidad según los límites de emisión. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en AMVA (2018), UPB-AMVA (2015) y Herrera (2007).

Escenario 1- Condiciones meteorológicas de un día con buena dispersión atmosférica



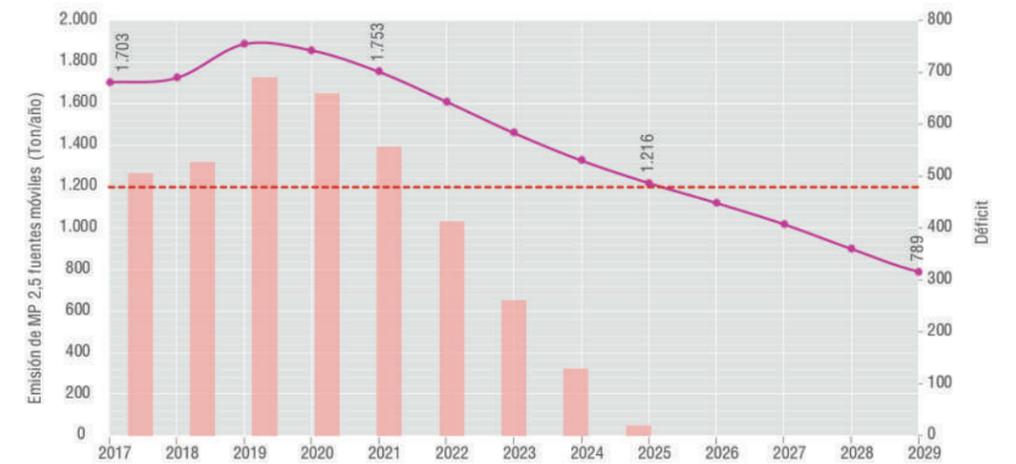
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Emisión de MP 2,5 fuentes móviles (ton/hab-año)
■ Déficit de emisión de MP 2,5 fuentes móviles (ton/hab-año)

Figura 389 ◀ Escenario con condiciones meteorológicas de un día con buena dispersión atmosférica. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en AMVA (2018), UPB-AMVA (2015) y Herrera (2007).

Un escenario de análisis muy importante para el caso de esta variable, es la simulación de las condiciones en un día soleado con alta capacidad de dispersión de los contaminantes. En este caso, los valores de

concentración de MP 2,5 resultantes de las emisiones promedio del Valle de Aburrá, implican una condición peligrosa para la población vulnerable, niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias.

Escenario 2-Implementación del PIGECA



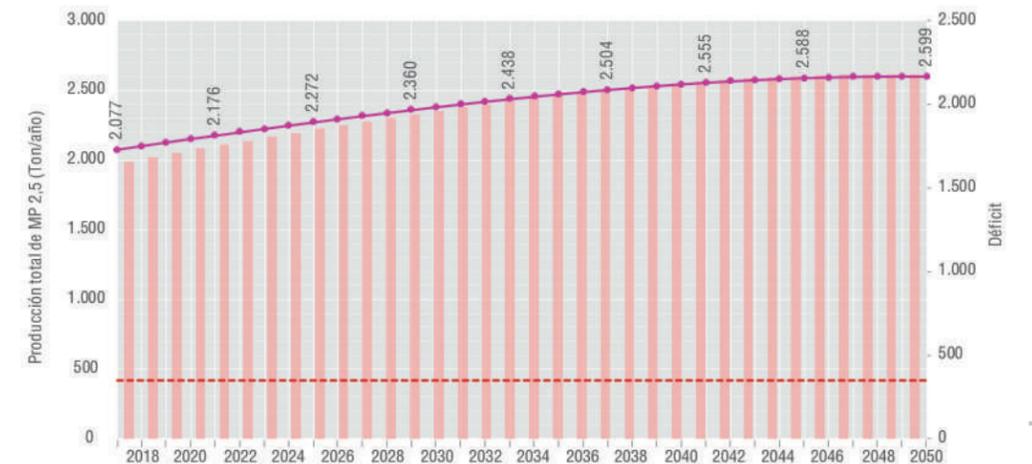
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Emisión de MP 2,5 fuentes móviles (ton/hab-año)
■ Déficit de emisión de MP 2,5 fuentes móviles (ton/hab-año)

Figura 391 ▶ Escenario con la implementación de las medidas propuestas por el PIGECA. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en AMVA (2018), UPB-AMVA (2015) y Herrera (2007).

El Plan de Gestión Integral de la Calidad del Aire proyecta metas de reducción de las emisiones hasta el año 2030. En este caso, las condiciones de

calidad del aire dentro de las normas nacionales se cumplirían en el año 2026.

Escenario 3-Referencia OMS y con mala dispersión



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Emisión de MP 2,5 fuentes móviles (ton/hab-año)
■ Déficit de emisión de MP 2,5 fuentes móviles (ton/hab-año)

Figura 392 ▶ Escenario con la referencia OMS con mala dispersión. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en AMVA (2018), UPB-AMVA (2015) y Herrera (2007).

Utilizando el modelo de dispersión de contaminantes generado por la UPB y la referencia de la OMS que indica que la concentración diaria máxima de MP 2,5 no debe superar los 25mg/m³, se encuentra

que el Valle de Aburrá presenta una condiciones permanentes y extremas de ocupación insegura, en términos de salud pública.

Recomendaciones

Los resultados de la simulación, los datos sobre mortalidad y morbilidad asociada a la polución por MP 2.5 y la comparación de las mediciones de Red Aire con los estándares nacionales e internacionales, muestran que la alta concentración de MP 2.5 en la atmósfera local es el problema ambiental más grave del Valle de Aburrá. La distribución de las emisiones

por tipo de vehículos con base en los datos de la encuesta origen destino es la base para la definición de acciones prioritarias.

De la misma manera que en el caso de las emisiones de CO₂, el mapa de emisiones por unidad de análisis es la referencia para el diseño de acciones correctivas de mayor impacto.



Zonas de recarga potencial

Esta variable describe la relación entre el área urbanizada de las zonas de recarga potencial y el área total de dicha zona.

Módulos asociados

Tasa de impermeabilización de la zona de recarga

Porcentaje de zona urbanizada en la zona de recarga

Municipio	%
Barbosa	5%
Girardota	24%
Copacabana	18%
Bello	71%
Medellín	70%
Envigado	77%
Itagüí	94%
Sabaneta	84%
La Estrella	43%
Caldas	39%

Límites

Se propone como límite mantener libre de urbanización al menos el 70% de la zona potencial de recarga.



Fórmula de cálculo

Zonas de recarga potencial (ha) = Área zona de recarga impermeabilizada / (área total de la zona de recarga potencial * 0,3)



Fuentes de información

Universidad de Antioquia y AMVA (2014)
urbam EAFIT (2018)

Índice relación de soporte 2018

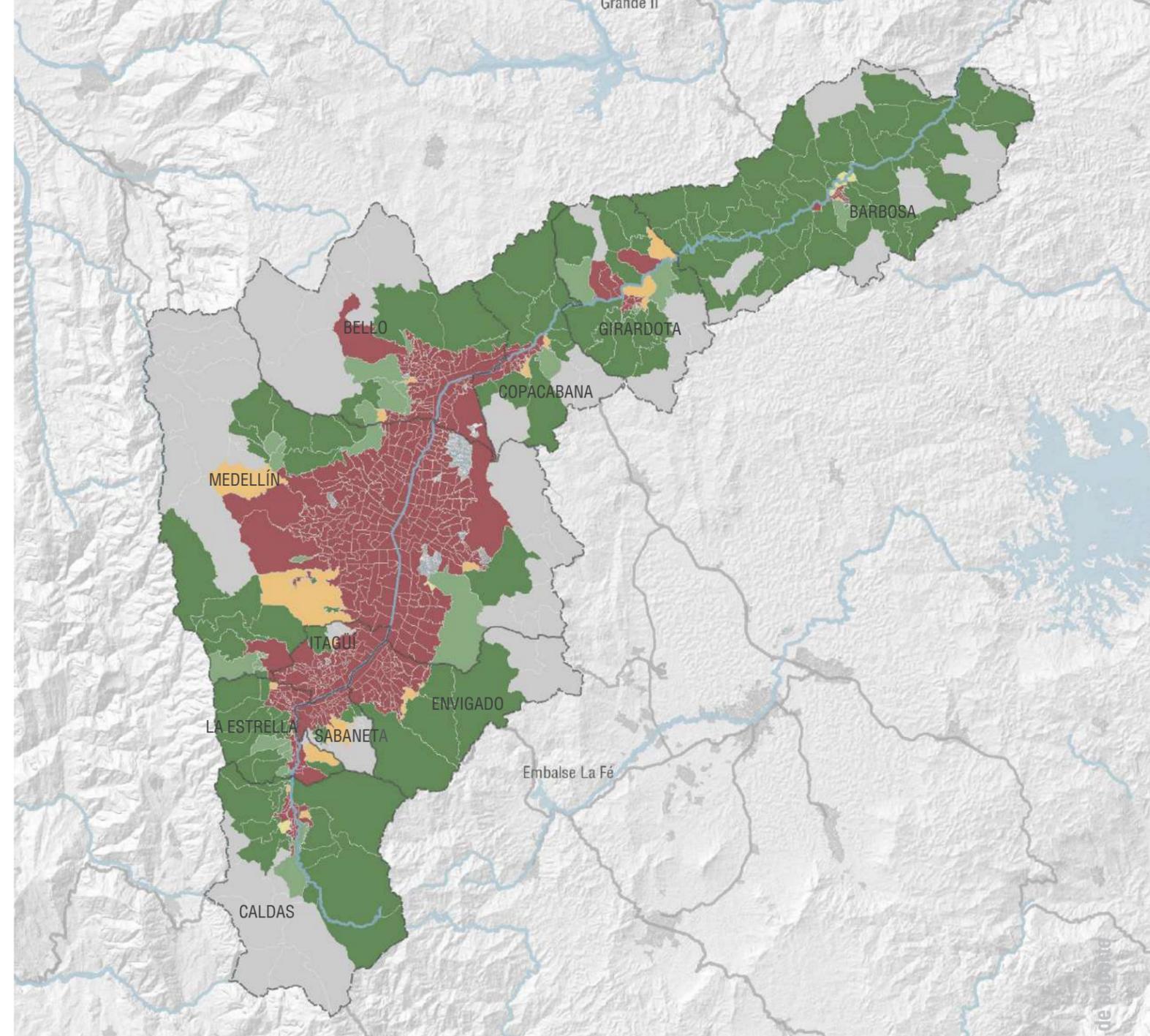
Zona de recarga potencial



Índice de relación de soporte metropolitano 2018

- Sostenible (0-0,50)
- Sostenible (0,51-0,95)
- En el umbral (0,96-1,05)
- Insostenible (1,06-1,50)
- Insostenible (>1,50)
- No aplica

Figura 393 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la zona de recarga potencial. Fuente: urbam EAFIT (2018).

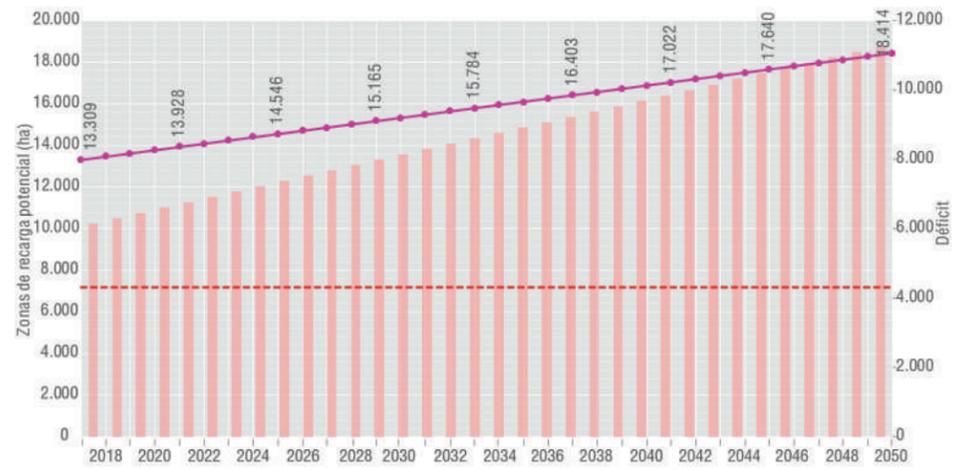


Índice de relación de soporte para la zona de recarga potencial por unidad de análisis

- Sostenible (0-0,50)
- Sostenible (0,51-0,95)
- En el umbral (0,96-1,05)
- Insostenible (1,06-1,50)
- Insostenible (>1,50)
- No hay zona de recarga

Figura 394 ▲ Índice de relación de soporte para la zona de recarga potencial por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urbam EAFIT (2018).

Escenario tendencial



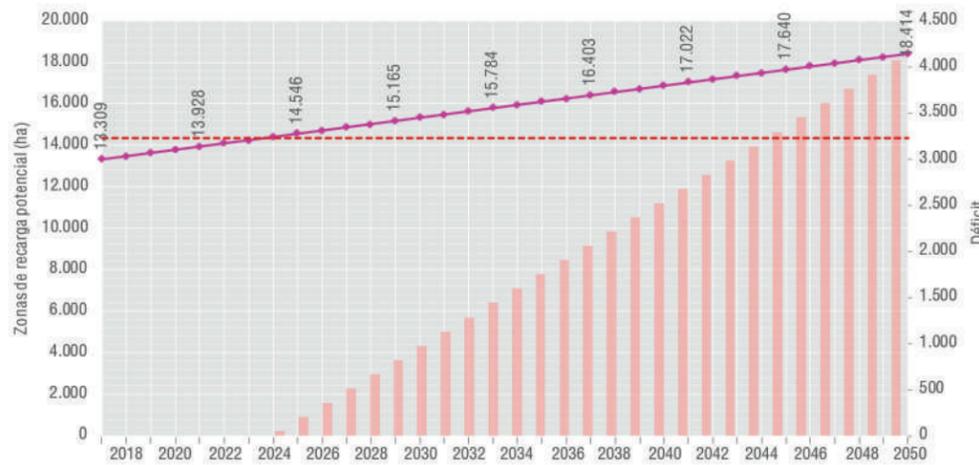
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Zonas de recarga potencial (ha)
■ Déficit en zonas de recarga (ha)

Figura 395 ◀ Relación entre las zonas de recarga potencial y el nivel de referencia para la sostenibilidad si se estima que se mantiene un 70% de la zona de recarga. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Universidad de Antioquia y AMVA (2014).

El escenario tendencial modelado a través de Densurbam para el análisis de las zonas de recarga potencial, permiten concluir que la relación de soporte en el largo plazo será cada vez mayor, es decir, el territorio metropolitano cada vez reducirá más el potencial de la función ecosistémica de

recarga existente en el territorio. Actualmente la relación de soporte es mayor en el centro del valle de Aburrá, siendo un factor más limitante en esta zona, frente a las condiciones actuales que se presentan en el norte y sur del valle de Aburrá.

Escenario 1-Aumento de la permeabilidad en las zonas urbanizadas



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Zonas de recarga potencial (ha)
■ Déficit en zonas de recarga (ha)

Figura 396 ◀ Escenario con aumento de la permeabilidad de las zonas urbanizadas. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Universidad de Antioquia y AMVA (2014).

En el escenario de nueva urbanización bajo criterios de permeabilidad, donde la ocupación de las zonas de recarga obzeca estrictamente al uso de superficies blandas y zonas verdes, que permitan la infiltración así como la construcción de campos de infiltración ,

el IRS para esta variable se mantiene sobre el nivel de referencia para la sostenibilidad hasta el año 2024. A partir de allí el déficit se incrementa con el crecimiento proyectado de la urbanización.

Recomendaciones

El sistema acuífero del Valle de Aburrá se reconoce como un recurso natural estratégico, a través de los procesos de gestión del recurso hídrico y ordenamiento de la cuenca liderados por el AMVA. Su protección es una directriz aceptada e involucra necesariamente la conservación de la permeabilidad en las zonas de recarga.

Según el plan de manejo ambiental del acuífero, formulado por el AMVA, la demanda anual registrada del recurso equivale a una tercera parte de las reservas; esto significa que la presión sobre el sistema es significativa y por lo tanto, la conservación de las zonas de recarga es indispensable para la sostenibilidad de la explotación del recurso.

Esta explotación significa a su vez una menor presión sobre el sistema de aprovechamiento de las aguas superficiales y por lo tanto, es un tema estratégico.

En lugar de ignorar la existencia proceso de urbanización sobre las zonas de recarga, se propone controlar esta urbanización y asegurar que ocurra bajo las condiciones de máxima permeabilidad, según propuestas técnicas universales como pavimentos permeables, zonas de aceleración de la infiltración, conservación de áreas verdes y máxima reforestación.



Vertimientos líquidos domiciliarios

Caudal de aguas residuales entregado a las redes públicas urbanas

Módulos asociados

Producción de vertimientos per cápita por estrato por municipio

Producción per cápita de aguas residuales m³/mes						
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Barbosa	3,91	3,78	3,79	5,93	5,86	5,86
Girardota	3,42	3,55	3,59	3,8	4,17	7,29
Copacabana	3,88	4,05	3,87	6,18	7,23	22,41
Bello	3,59	3,76	3,42	3,31	2,35	2,35
Medellín	3,49	3,83	3,8	3,81	4,04	4,98
Envigado	3,85	4,09	3,96	4,02	4,34	6,44
Itagüí	3,56	3,71	3,56	3,62	2,02	2,29
Sabaneta	3,96	4,2	3,73	4,22	5,98	6,94
La Estrella	3,17	3,89	3,53	3,91	6,83	1,41
Caldas	3,34	3,77	3,85	2,36	0,38	2,36



Índice de relación de soporte municipal 2018



Figura 397 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para vertimientos líquidos domiciliarios. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Límites

La capacidad de tratamiento de aguas residuales es un primer límite a la producción de residuos líquidos, suponiendo que estos deben tratarse antes de verterse sobre el río o sus afluentes. Un segundo

límite, por fuera del alcance del análisis, estaría dado por la capacidad hidráulica de los canales artificiales o aquella definida por la morfología natural de la red hidrológica local.

Volumen de tratamiento de la PTAR San Fernando: 1.2 m³/s; Expansiones previstas a 1.8m³/s y 4.8m³/s

Volumen de tratamiento de la PTAR Aguas Claras: 5 m³/s; Expansiones previstas a 6.5m³/s; 9m³/s

Fórmula de cálculo

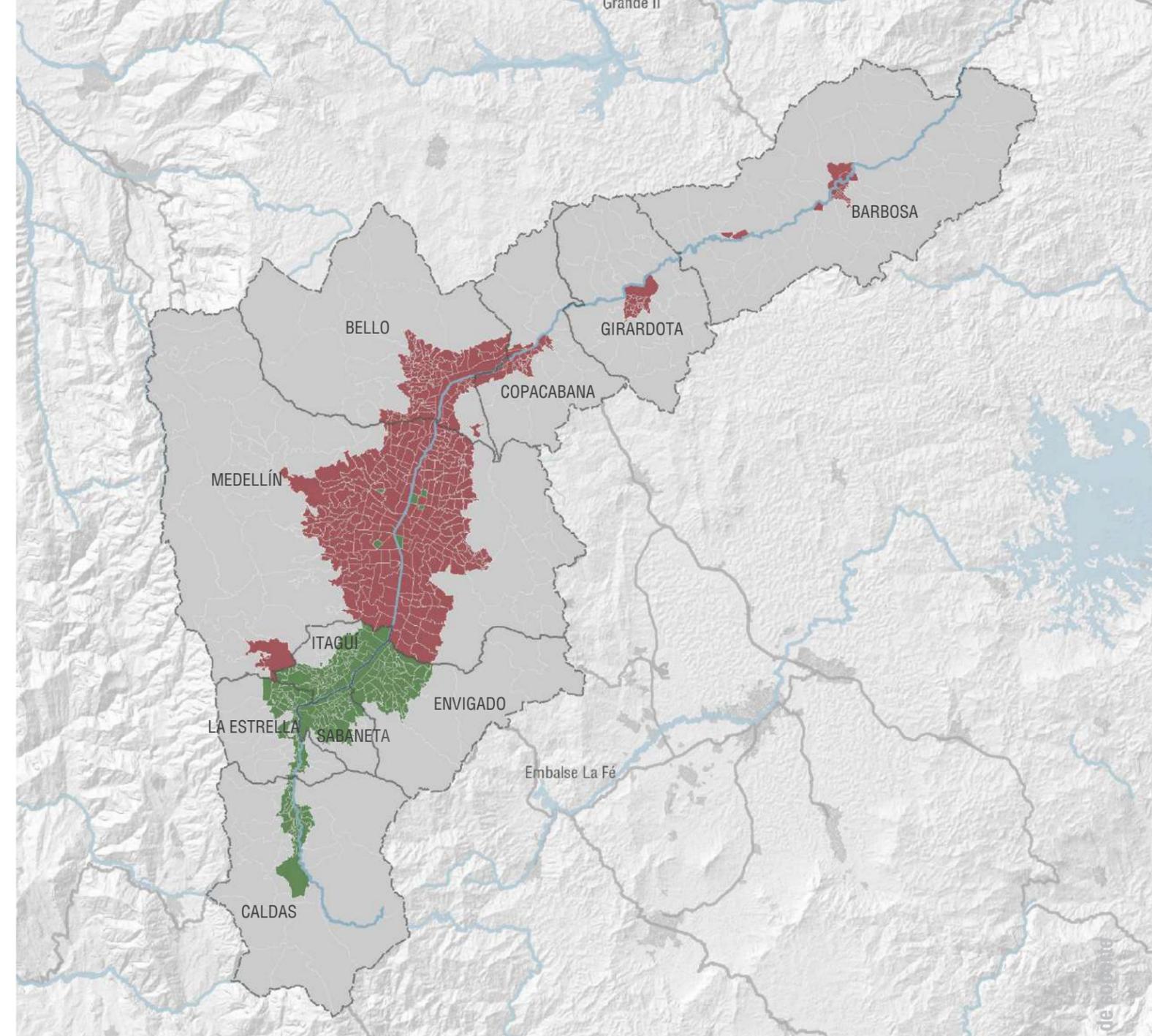
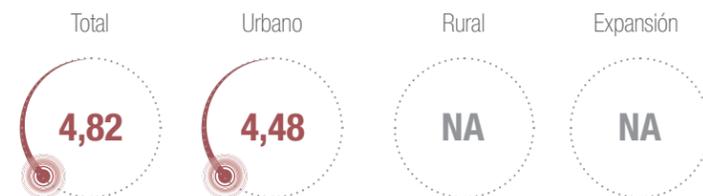
$PVL(p) \cdot Población / CT$
 Producción de vertimientos líquidos per cápita = $PVL(p)$
 CT=Capacidad de tratamiento de las PTAR en operación

Fuentes de información

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, 2017
 EPM (2018)

Índice relación de soporte 2018

Vertimientos líquidos domiciliarios



Índice de relación de soporte de los vertimientos líquidos domiciliarios por unidad de análisis



Figura 398 ▲ Índice de relación de soporte de los vertimientos líquidos domiciliarios por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urbam EAFIT (2018).

Escenario tendencial

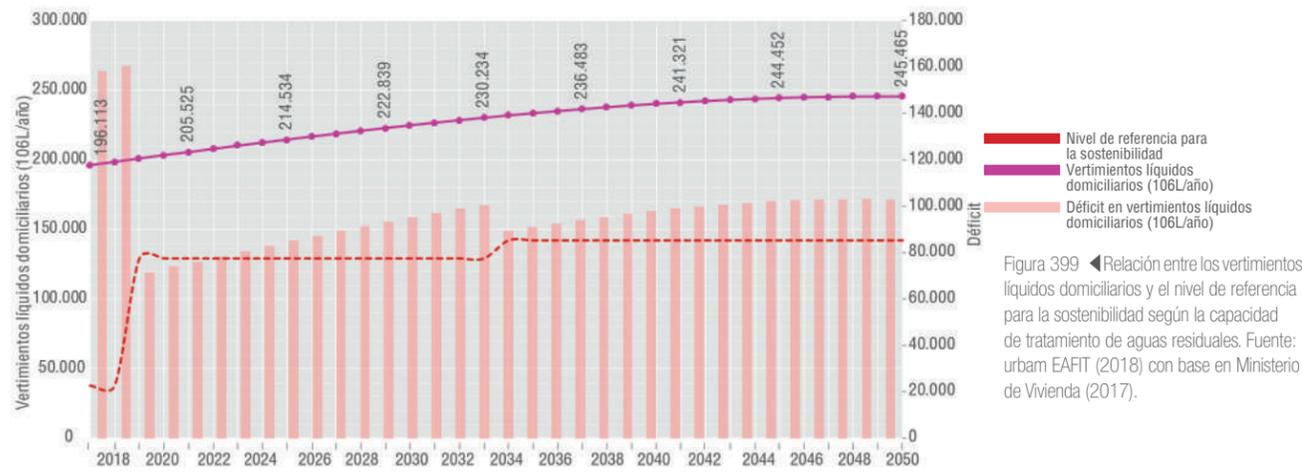


Figura 399 ◀ Relación entre los vertimientos líquidos domiciliarios y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la capacidad de tratamiento de aguas residuales. Fuente: urban EAFIT (2018) con base en Ministerio de Vivienda (2017).

La entrada en operación de la PTAR Aguas Claras reduce pero no resuelve el déficit en la capacidad de El número estimado no considera que existen usuarios del sistema de acueducto urbano administrado por EPM sin conexión al sistema de alcantarillado. Esto

implica que estas aguas residuales no se vincularán al sistema servido por las PTAR actual y proyectadas. El IRS obtenido refleja la relación entre la capacidad instalada y la población urbana del Valle de Aburrá, no la saturación del sistema vinculado a las PTAR.

Escenario 1-Aumento de 50% en la capacidad de tratamiento

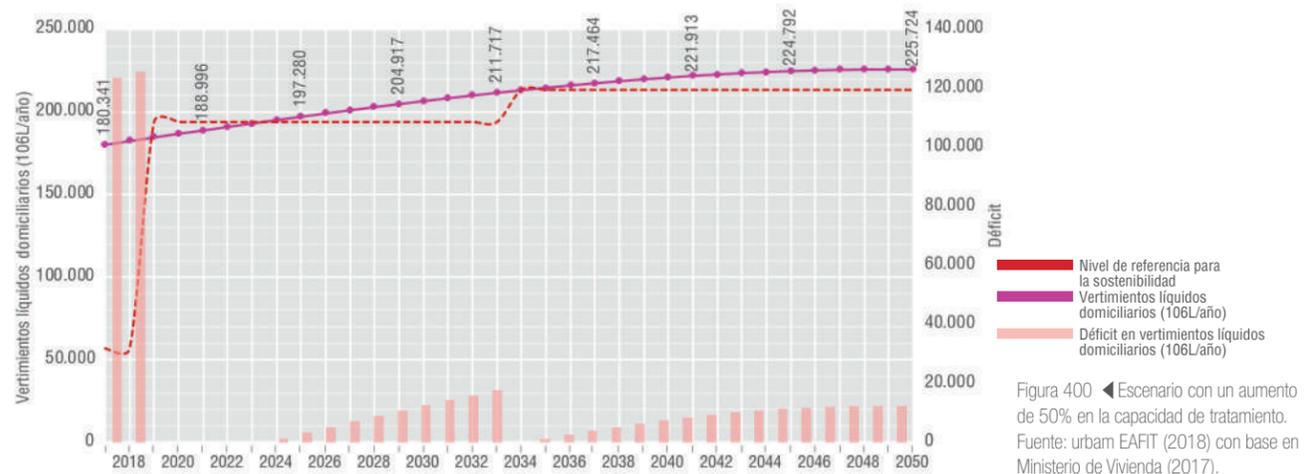


Figura 400 ◀ Escenario con un aumento de 50% en la capacidad de tratamiento. Fuente: urban EAFIT (2018) con base en Ministerio de Vivienda (2017).

Las deficiencias en la capacidad de tratamiento de los vertimientos líquidos no obedecen únicamente a la capacidad de las plantas instaladas, sino al gran número de usuarios urbanos no conectados a los sistemas centrales de colectores e interceptores; por ello, se propone la construcción de sistemas no convencionales que finalmente viertan sobre

colectores e interceptores, e incluso, la instalación de PTAR satélites. El aumento de un 50% en la capacidad de tratamiento, lleva a escenarios de mínimo déficit, como se ilustra en la figura.

Recomendaciones

La presencia de plantas de tratamiento de aguas residuales enmarca las directrices para la gestión de las aguas residuales en el Valle de Aburrá; dicha gestión debe procurar el óptimo funcionamiento de las plantas, lo cuál implica, restricciones en el tipo de sustancias vertidas pero también significa un esfuerzo por aislar las redes de aguas residuales y aguas pluviales para que estas no entren a las PTAR reduciendo su desempeño.

La existencia de redes que combinan la recolección de aguas lluvias y aguas residuales, implica que las PTAR no operan en su rendimiento ideal durante los eventos de lluvia. En estos casos, gran parte de las aguas residuales se vierte directamente a las fuentes de agua. La separación de estas redes es un proyecto prioritario para la óptima operación de las PTAR.

El aumento en la intensidad de los eventos de lluvia asociado al cambio climático, combinado con el efecto de la impermeabilización por las construcciones civiles, implica que la capacidad hidráulica de las redes de aguas pluviales, de las redes combinadas y de los drenajes canalizados o intervenidos, debe revisarse sistemáticamente para prevenir eventos de inundación.

Este tema está por fuera del alcance de Densurbam pero debe atenderse pues es un claro condicionamiento a la seguridad en la ocupación futura del territorio del Valle de Aburrá.

La gestión de las aguas lluvias para favorecer el funcionamiento de las PTAR (en el caso de las redes combinadas) y prevenir desbordamientos en las redes, implica también la implementación de prácticas de construcción que reduzcan la escorrentía, como el uso de techos y muros verdes, la captación y aprovechamiento de las aguas lluvias y la conservación de áreas verdes.

La simulación del modelo incluye el volumen de las aguas residuales generadas, sin embargo, otras variables como la carga orgánica y sólidos aportados son indispensables en el análisis. En este sentido, la eficiencia del sistema es fundamental para el cumplimiento de las metas de calidad del río, por lo tanto, todas las acciones a favor de dicha eficiencia son fundamentales; entre ellas, se destacan: la educación a los usuarios para la gestión de las aguas residuales, el control sobre los productos empleados para el aseo doméstico, la separación de las redes pluviales, las redes de aguas residuales y el control sobre los vertimientos industriales.



Disponibilidad de agua para todos los usos Infraestructura de tratamiento STAP

Agua potabilizada para consumo en las zonas urbanas y cabeceras de los corregimientos de Medellín, excepto Santa Elena

Módulos asociados

Consumo de agua por habitante por estrato por municipio. Pérdidas del sistema= 30%

Consumo per cápita de agua m³/mes							
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	%otros usos
Barbosa	3,91	3,81	3,83	4,65	4,56	4,56	30%
Girardota	3,84	3,57	3,72	6,21	9,19	8,38	34%
Copacabana	3,93	4,07	3,93	7,85	8,29	8,25	14%
Bello	3,64	3,78	3,42	3,29	0,6	7,58	15%
Medellín	3,57	3,87	3,81	3,8	4,04	4,98	18%
Envigado	3,77	4,11	3,97	4,09	4,35	6,5	13%
Itagüí	3,64	3,72	3,56	3,62	2,02	7,4	16%
Sabaneta	4,2	4,22	3,75	4,24	8,09	6,94	28%
La Estrella	3,19	3,93	3,56	4,03	6,8	1,41	30%
Caldas	3,56	3,85	3,87	2,1	0,76	4,57	12%

Límites Infraestructura de tratamiento

Capacidad de las plantas	m³/seg
Caldas	0,2
Barbosa	0,06
Ayurá	9,2
Manantiales	6
San antonio de prado	0,1
San Cristobal	0,23
Alavista	0,03
La Cascada	0,1
La Montaña	0,95
Villa Hermosa	0,98
Total	17,85

Agua Concesionada

Suma de agua concesionada al sistema de acueductos urbanos zona conurbada: 24,76m³/s

Concesión agua acueducto urbano Barbosa: 0,06 L/s

Concesión agua acueducto urbano Caldas: 0,2m³/s

Otros límites no incluidos en el modelo

Capacidad de almacenamiento de agua en los embalses

Rio Grande: 152.000.000 m³

La Fe: 11.580.000m³

Piedras Blancas: 550.000m³

Total 164.130.000m³

Capacidad total almacenamiento en tanques 428.134m³

Fórmula de cálculo

$A(p) = \text{Población} / AC$

$A(p)$ = módulo de consumo de agua por habitante por estrato por municipio

AC = Agua total concesionada (ó tratada) a EPM para los sistemas de acueducto del Valle de Aburrá

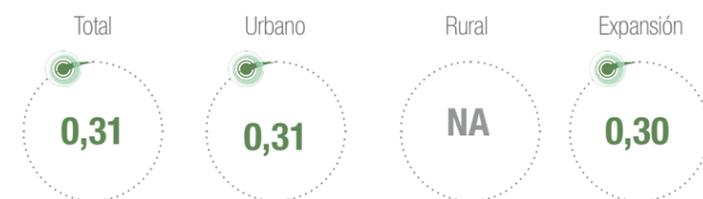
Fuentes de información

Gobernación de Antioquia (2017)

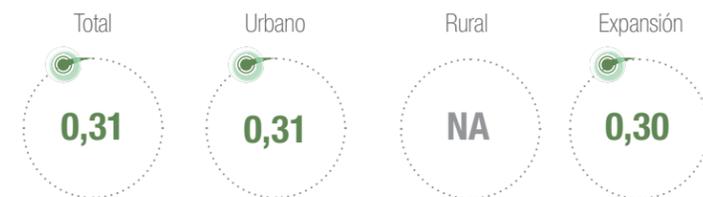
EPM (2015), (2016), (2018).

Índice relación de soporte 2018

Infraestructura



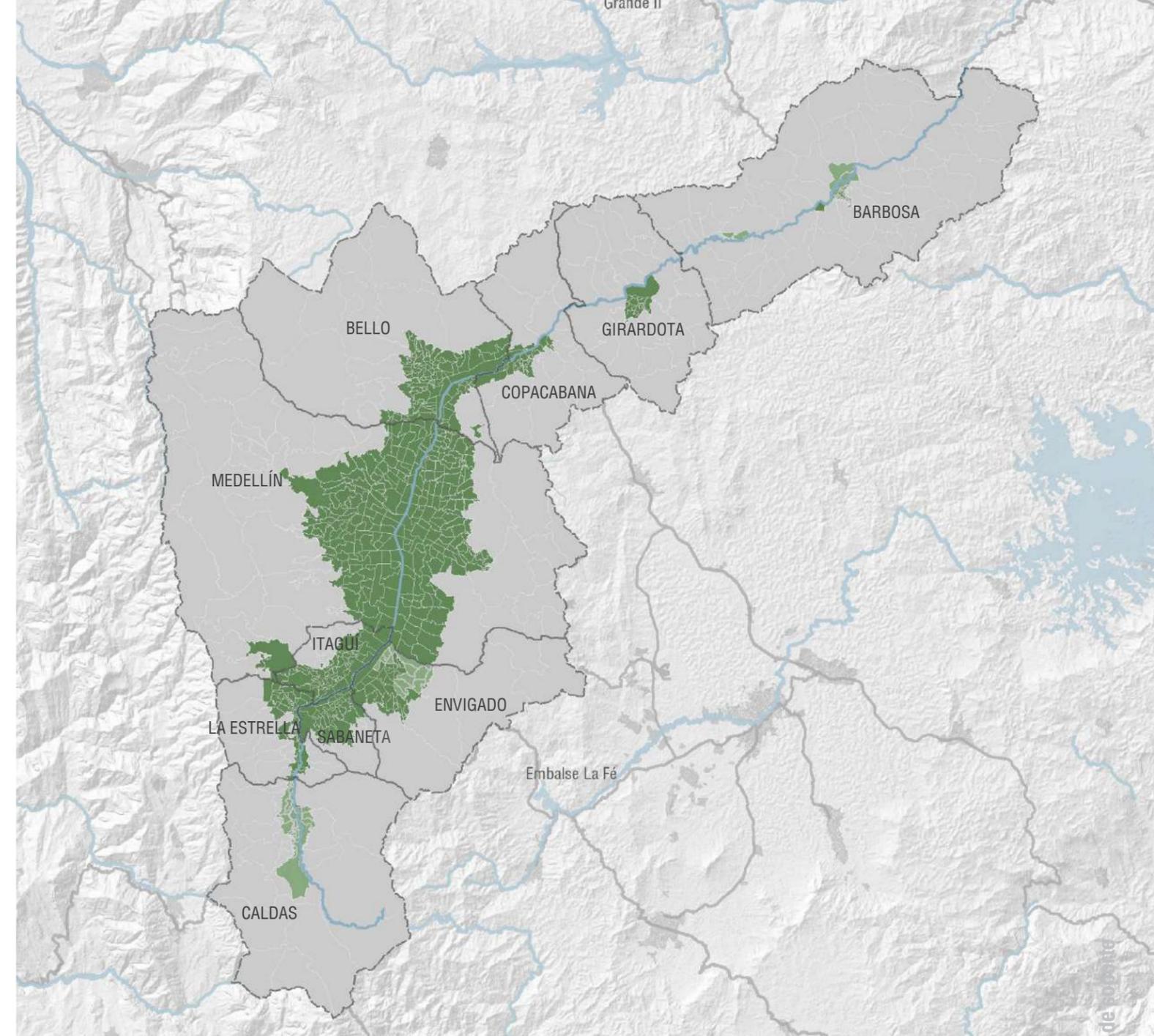
Tratamiento



Índice de relación de soporte municipal 2018



Figura 401 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la infraestructura de tratamiento. Fuente: urban EAFIT (2018).

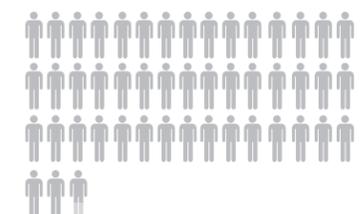


Índice de relación de soporte para la infraestructura de suministro de agua potable por unidad de análisis



Figura 402 ▲ Índice de relación de soporte para la infraestructura de suministro de agua potable por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urban EAFIT (2018).

Tamaño poblacional sostenible



4.770.160 habitantes

Período de sostenibilidad

2040

Escenario tendencial

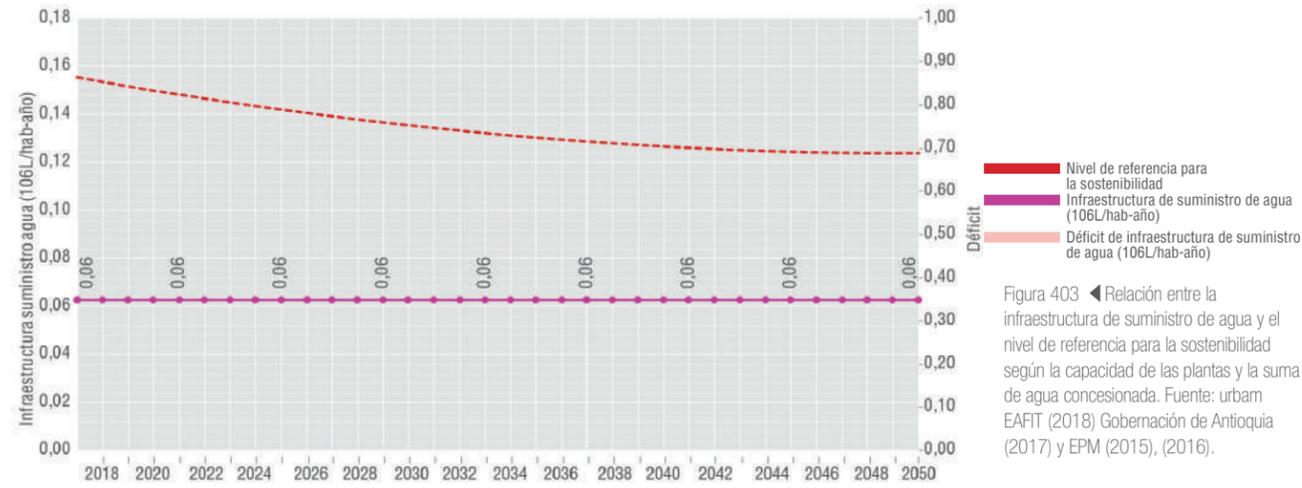


Figura 403 ◀ Relación entre la infraestructura de suministro de agua y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la capacidad de las plantas y la suma de agua concesionada. Fuente: urbam EAFIT (2018) Gobernación de Antioquia (2017) y EPM (2015), (2016).

Escenario 1 - Infraestructura de tratamiento. Reducción al 15% en las pérdidas del sistema, hoy equivalen al 30%

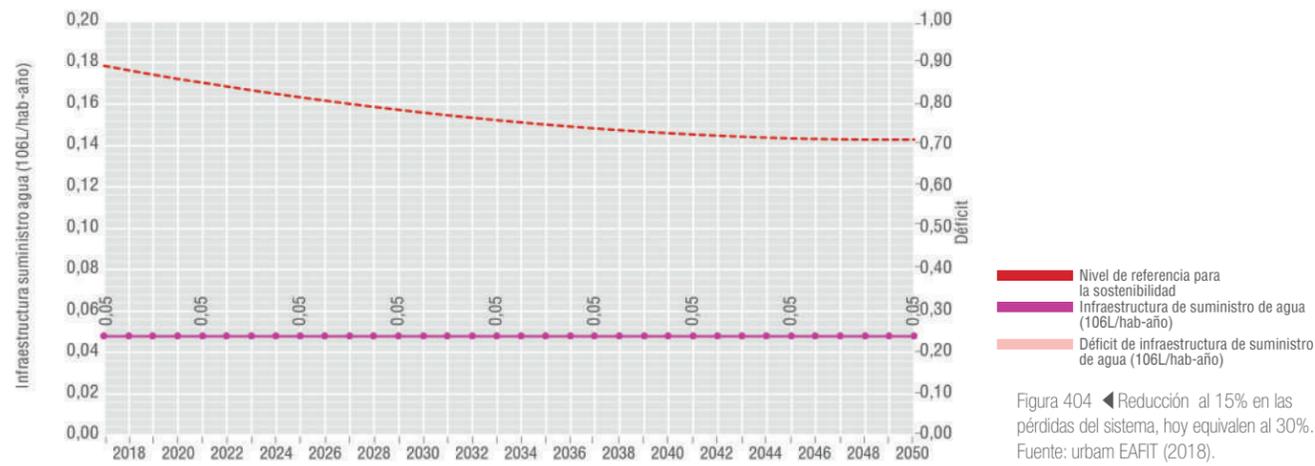


Figura 404 ◀ Reducción al 15% en las pérdidas del sistema, hoy equivalen al 30%. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Una reducción del 30 al 15% de las pérdidas del sistema aumenta la oferta hídrica per cápita en 31000 litros por habitante para el año base.

Por esta razón, las estrategias de ahorro y uso eficiente, reducción de las pérdidas del sistema y principalmente, mantenimiento de coberturas forestales en las cuencas abastecedoras son prioridad.

Escenario 2 - Disponibilidad de agua para todos los usos. Reducción de la oferta hídrica en un 20% por causa del cambio climático

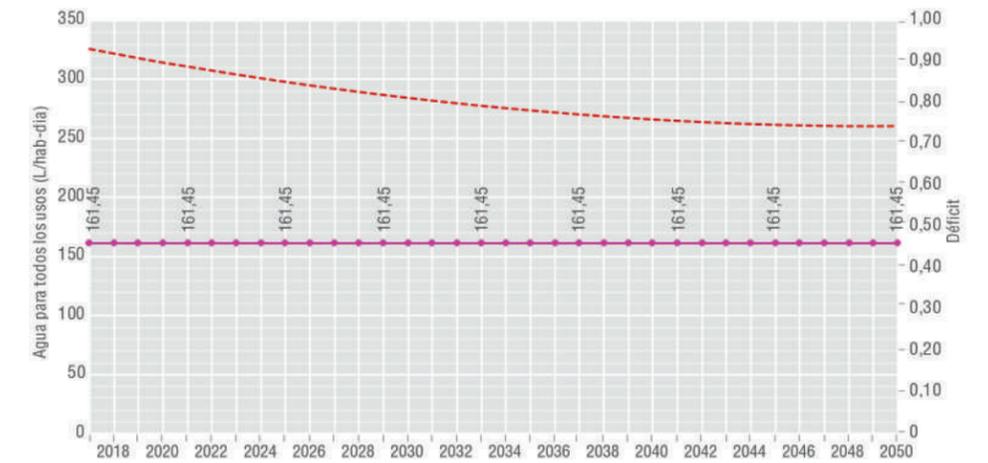


Figura 405 ▶ El escenario de reducción en la oferta hídrica en un 20%, previsto en el marco de la simulación del impacto regional del cambio climático. Fuente: urbam EAFIT (2018).

El escenario de reducción en la oferta hídrica en un 20%, previsto en el marco de la simulación del impacto regional del cambio climático, no implica condiciones críticas dentro del horizonte de análisis

pero significa una reducción en la oferta hídrica del año base, de 407L por habitante por día a 325 L por habitante por día.

Recomendaciones

La oferta hídrica para la zona urbana conurbada es suficiente, considerando la interconexión de los circuitos de Ayurá, Manantiales y aquellos que atienden las zonas periféricas: San Cristóbal, Altavista, Villa Hermosa y San Antonio de Prado. Esta interconexión significa un incremento en la oferta hídrica total producto la redundancia en la cobertura, pero también implica mayores costos de operación, derivados de las eventuales necesidades de bombeo. EPM reporta un incremento en el consumo de energía en el sistema de acueducto de 75.15 a 145.86 GWh entre los años 2013 y 2015.

Se recomienda la implementación de un sistema que permita a los usuarios reconocer cuándo la escasez en los sistemas locales obliga al intercambio entre los diferentes circuitos de acueducto y por lo tanto, al bombeo. En estas épocas, debe haber una autorregulación de cada usuario, para evitar el uso del agua en actividades que no sean vitales y de esta forma, ahorrar energía, extender la duración de las

reservas de agua durante los períodos de sequía y reducir los costos de operación del sistema.

La calidad del agua que llega a las plantas de potabilización determina los costos de operación de dichas plantas. EPM reporta un incremento significativo en los costos de potabilización del agua del embalse de La Fe, debido al exceso de nutrientes y sedimentos derivados de la alta presión urbanística en las cuencas abastecedoras. A pesar de la ocupación con viviendas, la cobertura forestal de estas cuencas puede enriquecerse para favorecer la calidad del agua y la regulación de caudales. El incremento en los costos de potabilización de la planta La Ayurá, evidencia el problema de contaminación del embalse. En 2008, los costos de potabilización reportados fueron de 250 millones de pesos, en 2012, de 1200 millones de pesos (EPM, 2017).



Residuos sólidos domiciliarios Residuos sólidos totales

La producción de residuos sólidos ordinarios está directamente relacionada con el tamaño poblacional, sus ingresos y sus hábitos de consumo. Los municipios del Valle de Aburrá, han privilegiado el uso de rellenos sanitarios como técnica de manejo de los residuos generados en la región metropolitana. La disponibilidad y vida útil de los rellenos sanitarios para la gestión adecuada de los residuos sólidos urbanos es prioritaria en la planeación territorial, entre otras razones, por la escasez de espacios aptos para destinar a estas infraestructuras, tanto por sus requerimientos técnicos, como los impactos generados sobre poblaciones aledañas, constituyéndose en límites y pasivos que el área metropolitana ha adquirido.

➤ Módulos asociados

Producción per cápita de residuos sólidos domiciliarios (kg/hab-día)

Producción de residuos sólidos kg/hab-día							
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Total
Barbosa	1,22	0,60	0,54	0,97	1,18	1,18	0,65
Girardota	0,25	0,37	0,42	0,28	0,84	0,33	0,38
Copacabana	0,44	0,58	0,55	0,49	0,60	0,60	0,56
Bello	0,44	0,53	0,41	0,37	0,32	0,32	0,46
Medellín	0,46	0,51	0,54	0,66	0,81	1,02	0,59
Envigado	0,41	0,55	0,64	0,71	0,80	0,85	0,68
Itagüí	0,76	0,78	0,72	0,84	1,15	-	0,75
Sabaneta	1,07	0,86	0,89	0,86	0,89	1,45	0,88
La Estrella	0,43	0,68	0,71	0,57	0,59	0,58	0,66
Caldas	0,68	0,75	0,82	1,11	1,34	1,34	0,77
Total	0,48	0,55	0,56	0,66	0,81	1,00	0,59

↑ Límites

Según datos del PGIRS, el Valle de Aburrá produce cada día 2640 toneladas de residuos sólidos, el 80% de estos residuos son residenciales. A su vez, el relleno recibe aproximadamente 3300 toneladas-día de residuos, de manera que la participación del Valle de Aburrá en su ocupación, es también del 80%. Ésta proporción fue mantenida para distribuir la capacidad remanente del relleno entre el Valle de Aburrá y las demás regiones que hacen uso de él. Los límites para esta variable están definidos por la capacidad estimada para cada uno de los vasos de ampliación del relleno Sanitario La Pradera que se tienen proyectados. Sin embargo, a la fecha, la modificación de la licencia requerida para ampliar el vaso usado actualmente, Altair, aún no ha sido aprobada por Corantioquia. Evidenciándose la fragilidad del Valle de Aburrá frente a la problemática que desencadenaría un eventual cierre del relleno sanitario, por la emergencia sanitaria que provocaría.

Límites por vaso			
Nombre del vaso	Capacidad remanente estimada (m³)	Capacidad remanente estimada (ton)	Densidad de compactación La Pradera
Altair	3.397.377	3.023.141	1,09
Ampliación Altair	1.084.500	1.182.105	
La Piñuela	6.194.000	6.751.460	
Cumbre I y II	8.000.000	8.720.000	

Datos a julio de 2017

✎ Fórmula de cálculo

Residuos sólidos (103 Ton/año) = $(R(p) \cdot \text{Población} \cdot Ef \cdot FCon) / (m^3 \text{ disponibles relleno sanitario} \cdot \text{Dens comp} \cdot FaLim)$

Total residuos sólidos totales = $R(p) \cdot \text{Población} \cdot FRes \cdot FReg$

R(p) = producción per cápita por estrato por municipio

Ef = Eficiencia

FCon = Factor de Conversión

Dens comp = Densidad de compactación

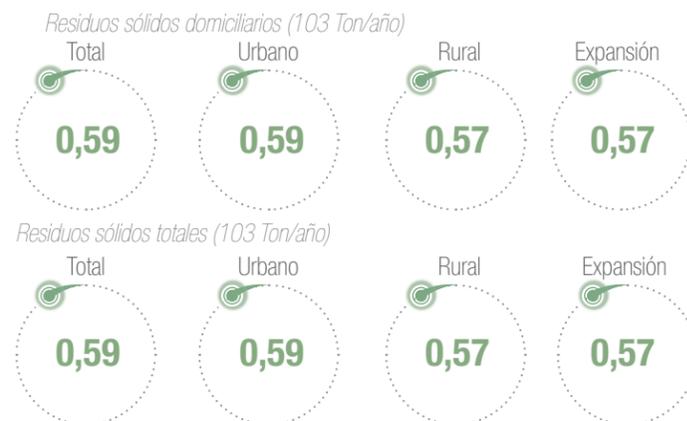
FaLim = Factor Límite

* La fórmula de cálculo aplica para ambas variables

📖 Fuentes de información

PGIRS (2017), Corantioquia (2018), PEMOT (2018), Contraloría General de Medellín (2016).

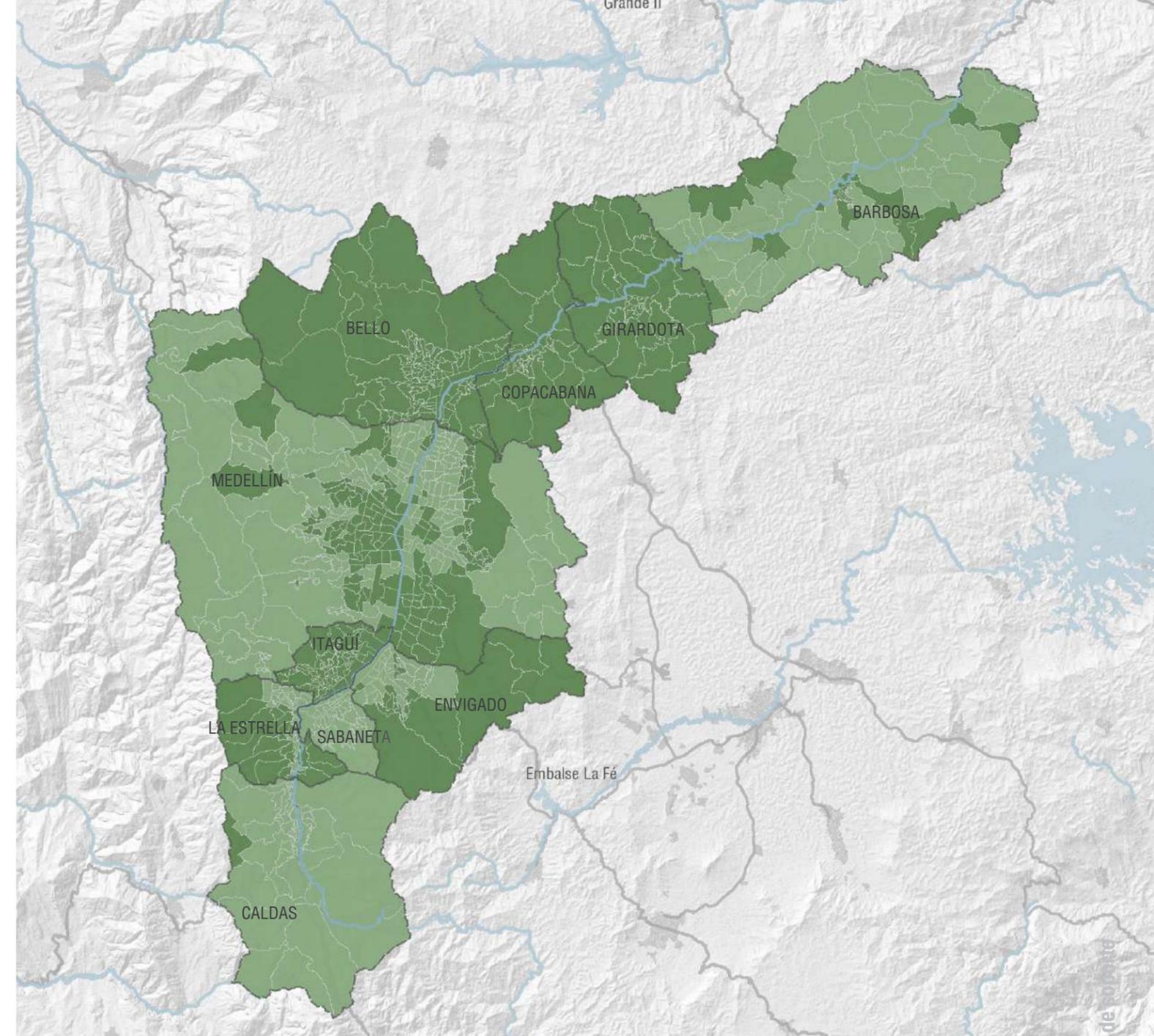
▲ Índice relación de soporte 2018



Índice de relación de soporte municipal 2018



Figura 406 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para los residuos sólidos totales. Fuente: urbam EAFIT (2018).



Índice de relación de soporte para la producción de residuos sólidos totales (ton/año) por unidad de análisis



Figura 407 ▲ Índice de relación de soporte para la producción de residuos sólidos totales (ton/año) por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urbam EAFIT (2018).

👤 Tamaño poblacional sostenible

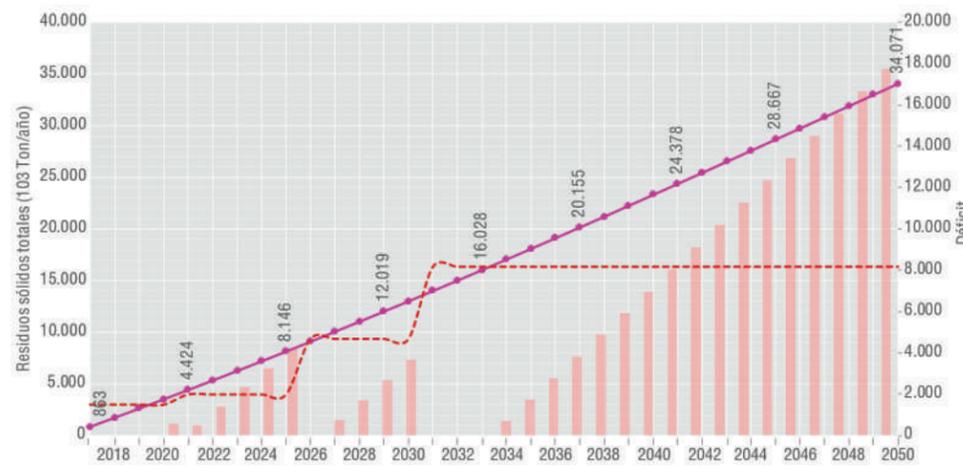


4.037.631 habitantes

🕒 Período de sostenibilidad

2020

Escenario tendencial



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Producción de residuos sólidos domiciliarios
■ Déficit en la producción de residuos sólidos domiciliarios

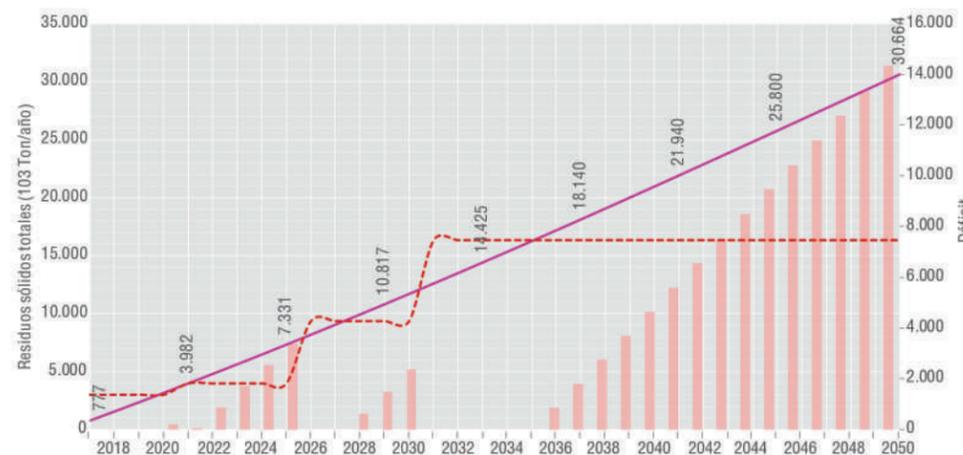
Figura 408 ◀ Relación entre la producción de residuos sólidos totales y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la capacidad de los vasos del relleno sanitario. Fuente: urbam EAFT (2018) con base en PGIRS (2017), PEMOT (2018), Corantioquia (2016), Emvarias, Grupo EPM (2017), Corantioquia (2018).

Modelando el escenario tendencial de los residuos sólidos totales en Densurbam, puede observarse cómo la relación de soporte para esta variable alcanza su nivel de insostenibilidad en el año 2020. Al revisar los PGIRS de los municipios del Valle de Aburrá, se evidencia que cada uno establece una meta distinta para el incremento en la tasa de aprovechamiento de los residuos sólidos generados por su población. Como la técnica de manejo seleccionada (relleno sanitario) se realizó de forma conjunta entre éstos, es claro que debe existir una coherencia y un esfuerzo coordinado y sinérgico en las decisiones adoptadas por los municipios, entre otras cuestiones, tendientes a incrementar la vida útil de los sitios de disposición final.

Dado que las decisiones individuales (de cada municipio), tienen un efecto sobre el sistema general, a continuación, para ejemplificar estos efectos, se presentan dos escenarios, donde con el modelo Densurbam, a través del análisis del índice de relación de soporte para esta variable, se estudia el efecto de una tasa de aprovechamiento de 10% (meta a largo plazo establecida en el PGIRS del municipio de Medellín) y una tasa de 24% (meta a largo plazo establecida en el PGIRS del municipio de Envigado).

Estos escenarios son simulados bajo el supuesto que todos los municipios adoptan la misma meta de aprovechamiento.

Escenario 1- Simulación meta aprovechamiento PGIRS Medellín 2016-2027 (10% del total generado)



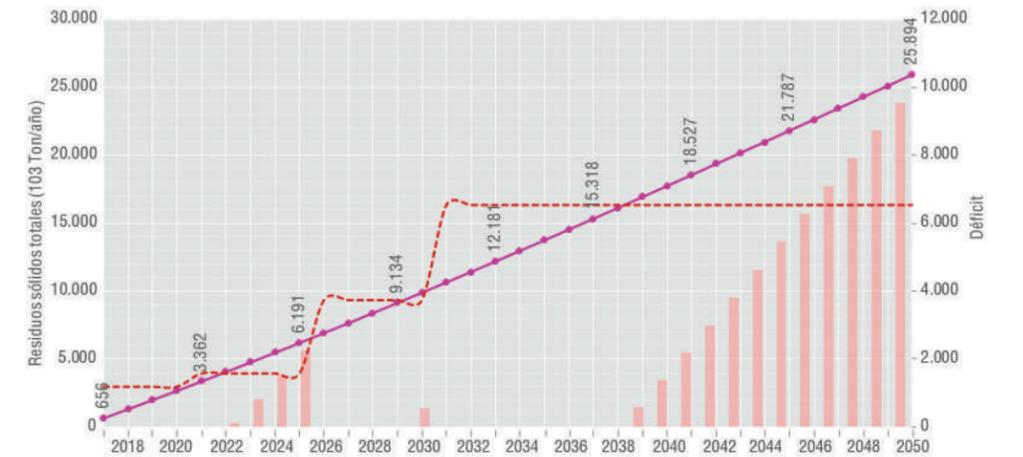
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Producción de residuos sólidos
■ Déficit en la producción de residuos sólidos domiciliarios

Figura 409 ◀ Simulación meta aprovechamiento PGIRS Medellín 2016-2027 (10% del total generado). Fuente: urbam EAFT (2018).

Simulando esta reducción en el modelo Densurbam vía cultura ciudadana (HSD2=0,9), puede observarse una leve reducción del déficit sin embargo, este sigue presentándose en el año 2020 tal como se pronostica en el modelo bajo el

escenario tendencial, antes descrito. Así, esta meta, al parecer, tiene bajo impacto sobre la relación de soporte entre la disposición final y la disponibilidad de espacio existente.

Escenario 2 - Simulación meta aprovechamiento PGIRS Envigado 2016 (24% del total generado)



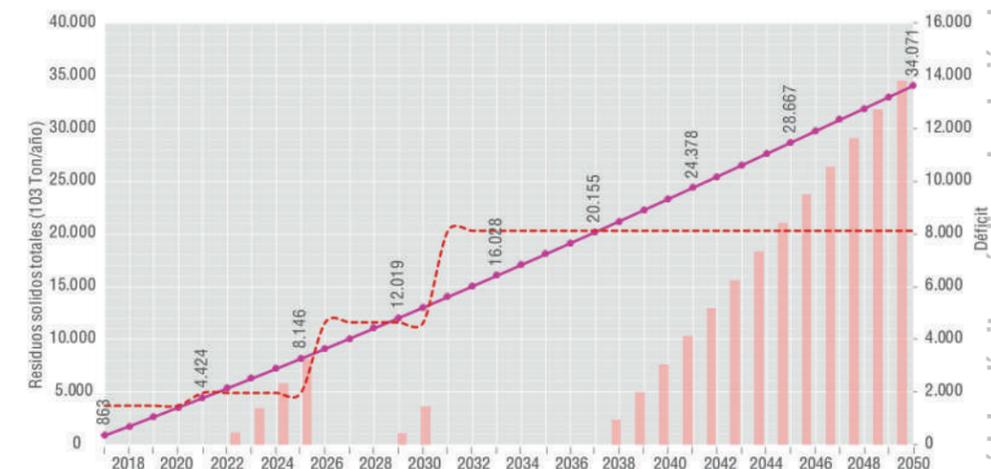
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Producción de residuos sólidos domiciliarios
■ Déficit en la producción de residuos sólidos domiciliarios

Figura 410 ▶ Simulación meta aprovechamiento PGIRS Envigado 2016 (24% del total generado). Fuente: urbam EAFT (2018).

Simulando esta reducción en el modelo Densurbam vía cultura ciudadana (HSD2=0,76), se observa una reducción en el IRS para el horizonte de tiempo analizado y, como es de esperarse, un mejoramiento

en la capacidad general del sistema, retardándose el año en el cual se alcanza la insostenibilidad medida a través de esta variable (2022).

Escenario 3 - Simulación desarrollo de tratamientos térmicos para 24% del total de residuos generados en el valle de Aburrá



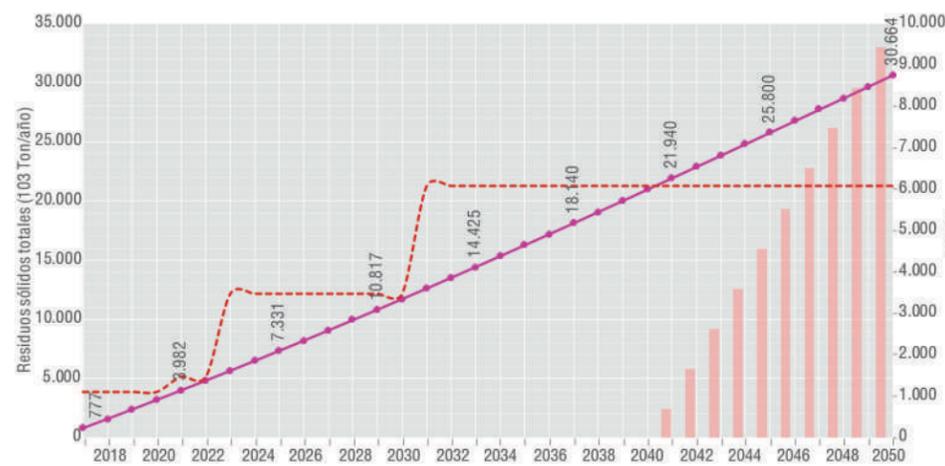
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Producción de residuos sólidos domiciliarios
■ Déficit en la producción de residuos sólidos domiciliarios

Figura 411 ◀ Simulación desarrollo de tratamientos térmicos para 24% del total de residuos generados en el valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFT (2018).

El efecto sobre el sistema general de las acciones descritas en los escenarios 2 y 3 es similar, sin embargo, el orden de magnitud de los déficits es inferior en el escenario 2, frente al tercero. Más allá de este orden de magnitud, adquiere especial importancia considerar los gastos asociados a las acciones/medidas propuestas en ambos escenarios. Ambos simulan cambios en las habilidades sociales para el desarrollo; en el escenario 2, por ejemplo a través de la mejora en la cultura ciudadana en la

separación en la fuente y posterior aprovechamiento de los residuos, esto vía campañas educativas y de cultura ciudadana. Entre tanto, en el escenario 3 por medio de la tecnología. Para que este último escenario sea viable, se requiere inversiones de altas cuantías. Este aspecto es fundamental en el proceso de toma de decisiones y en la elección de la ruta a seguir por parte de los entes planificadores y decisores, dada la escasez de recursos monetarios, para enfrentar múltiples necesidades.

Escenario 4 - Simulación mejoramiento simultáneo en la tecnología de compactación, cambios en la cultura ciudadana frente a la generación y anticipación en la apertura vaso La Piñuela



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
 ■ Producción de residuos sólidos
 ■ Déficit en la producción de residuos sólidos domiciliarios

Figura 412 ◀ Simulación desarrollo de tratamientos térmicos para 24% del total de residuos generados en el valle de Aburrá. Fuente: urban EAFIT (2018).

Simulando un escenario donde las decisiones convergen, son integrales y tendientes a mejorar la gestión de los residuos sólidos totales generados de manera simultánea, por medio de la mejora en 30% de la capacidad de compactación actual, reducción en la generación de residuos sólidos (o incrementos en su aprovechamiento) en 10% y apertura en el

año 2023 del vaso La Piñuela, en lugar de 2026. Bajo este escenario y conservando las fechas estimadas de apertura de los vasos Cumbre I y II, con base en las estimaciones obtenidas con Densurbam, se concluye que, en materia de residuos sólidos urbanos totales, se lograría sostenibilidad hasta el año 2040.

Comparando los resultados obtenidos en los cuatro escenarios simulados, se observa que únicamente a través de una estrategia holística pueden lograrse soluciones a largo plazo para el tratamiento de los residuos sólidos que son generados en el valle de Aburrá.

Recomendaciones

La evolución histórica de las decisiones sobre el manejo de los residuos sólidos en la región metropolitana del Valle de Aburrá, da cuenta del carácter reactivo de éstas. Si bien se ha avanzado en el manejo de los desechos ordinarios y en algunos momentos históricos se ha implementado un modelo que ha sido referente a escala nacional, las decisiones distan de ser planificadas. Evidencia de lo anterior han sido el cierre y clausura del sitio de disposición a cielo abierto Moravia y la apertura del relleno Sanitario Curva de Rodas, asimismo el cierre de este último y el inicio de operaciones del Relleno Sanitario La Pradera, decisiones que fueron realizadas en el marco de la declaratoria de emergencias ambientales y sanitarias, en lugar de obedecer a ejercicios de planeación de largo plazo.

Este panorama y los incrementos de la producción de residuos sólidos domiciliarios esperados por el mayor tamaño poblacional, así como el posible cierre de otros rellenos sanitarios del Departamento de Antioquia, demanda la búsqueda e implementación decidida de alternativas de manejo de los residuos. Algunas de estas alternativas han sido consideradas con antelación, sin concluir en estrategias perdurables en el tiempo.

Entre las alternativas de manejo está la producción de abono orgánico a través de la técnica de compostaje. La condición necesaria para que esta técnica sea exitosa, está en la separación en la fuente, la cual, por medio de las habilidades de la sociedad para el desarrollo, tales como la promoción de la cultura ciudadana, podría convertirse en una vía para incrementar la vida útil del relleno sanitario y convertirse en una alternativa de ingresos para habitantes del Valle de Aburrá que podrían obtener empleo en empresas creadas a partir de los nuevos mercados que se crearían.

Más aún, las medidas a implementar deben ser abordadas a escala metropolitana, entre otras cuestiones, por las economías de escala que pueden lograrse y que son sugeridas desde la normatividad (Decreto 1713 de 2002).

En el actual PGIRS regional se contempla la implementación de plantas de compostaje con capacidad de 21,5 ton/día y el aumento en la capacidad de la infraestructura para recuperación de materiales reciclables, en 35 ton/día. Estos valores son insuficientes frente a la magnitud de generación de residuos en el Valle de Aburrá (2640 ton/día). La magnitud del problema demanda proyectos como los propuestos en el PGRIS-R, pero con órdenes de magnitud mayores.

También, se recomienda iniciar estudios de factibilidad para proyectos de aprovechamiento energético de los residuos como la generación de biogas, pirólisis o termólisis, iniciativas que han sido consideradas en décadas pasadas, sin ser ejecutadas.

Asimismo, la promoción de estrategias educativas y mecanismos que incentiven el reciclaje, para impulsar el efecto potencial que tienen las habilidades de la sociedad para el desarrollo desde la cultura ciudadana.

Pese a lo anterior, las estrategias que se adopten serán insuficientes si no se anticipa la adecuación de los vasos proyectados en el relleno sanitario La Pradera.

La ampliación del vaso Altaír, bajo las condiciones tendenciales, es insuficiente para un horizonte de mediano y largo plazo y evidencia, nuevamente, soluciones reactivas que podrían conducir a la declaratoria de emergencias sanitarias.

La adecuación, licenciamiento y demás trámites requeridos para el vaso La Piñuela, deberán realizarse para garantizar que a 2022, el vaso inicie operaciones.

Finalmente, se sugiere realizar una evaluación socio-económica de las distintas alternativas propuestas.



Generación acumulada de escombros

Los residuos de construcción y demolición son aquellos que se generan en el entorno urbano y no están clasificados dentro de los residuos sólidos urbanos (residuos domiciliarios y comerciales). De acuerdo con información del PGIRS Regional (2018), anualmente son dispuestos en las escombreras ubicadas en el valle de Aburrá aproximadamente 5.830.251 toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD). La generación de RCD está directamente relacionada con la actividad edificadora en la región metropolitana y la dinámica de este sector económico.

Módulos asociados

El módulo de esta variable está dado por la cantidad de residuos de construcción y demolición producidos en el Valle de Aburrá, calculados a partir del volumen de escombros generados por una vivienda de 100 m². Por 1 m² construido se genera 1,35 m³ de residuos de escombros.



Figura 413 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la variable generación de residuos de construcción y demolición. Fuente: urban EAFIT (2018).

Generación de residuos de construcción y demolición				
Año	Generación de escombros por demolición 1,35 m ³ /m ²	Generación de escombros por demolición (densidad 1,4 ton/m ²)	Generación acumulada de escombros por demolición (ton/m ²)	Capacidad de disposición final de escombros (ton)
2017	3.140.004	4.396.006	4.396.006	61.217.636

Límites

El límite para esta variable está dada por la capacidad de las escombreras localizadas en el Valle de Aburrá. Según información del PGIRS Regional (2018), la vida útil restante es 10,5 años, con una disposición anual estimada de aproximadamente 5830251 toneladas de escombros. A través de un proyecto de expansión contemplado en este plan estratégico se espera que la vida útil se amplíe 3,9 años alcanzando una vida útil total de 14,4 años.

Fórmula de cálculo

Total producción de residuos de construcción y demolición= total m² construidos Valle de Aburrá *1,35m³/m² *1,4 ton/m³ (factor de conversión)

Donde, 1,35 m³/m² corresponde a la estimación de generación de residuos de construcción y demolición generada por metro cuadrado demolido ((Bocanumeth, 2004), citado en AMVA -UPB (2015). Política Pública de Construcción Sostenible y PGIRS Regional (2006)). Y 1,4 ton/m³ es la densidad aproximada de los RCD.

Fuentes de información

Cálculos propios urban EAFIT (2018), con base en: AMVA-UPB (2015). Política Pública de Construcción Sostenible. Línea Base. PGIRS -Regional (2006). PGIRS -Regional (2017). Actualización del PGIRS

Índice relación de soporte 2018



regional del Área metropolitana del Valle de aburrá 2017-2027. CONVENIO CD 1114_2016. Área Metropolitana del Valle de Aburrá_ ACODAL Seccional Noroccidente

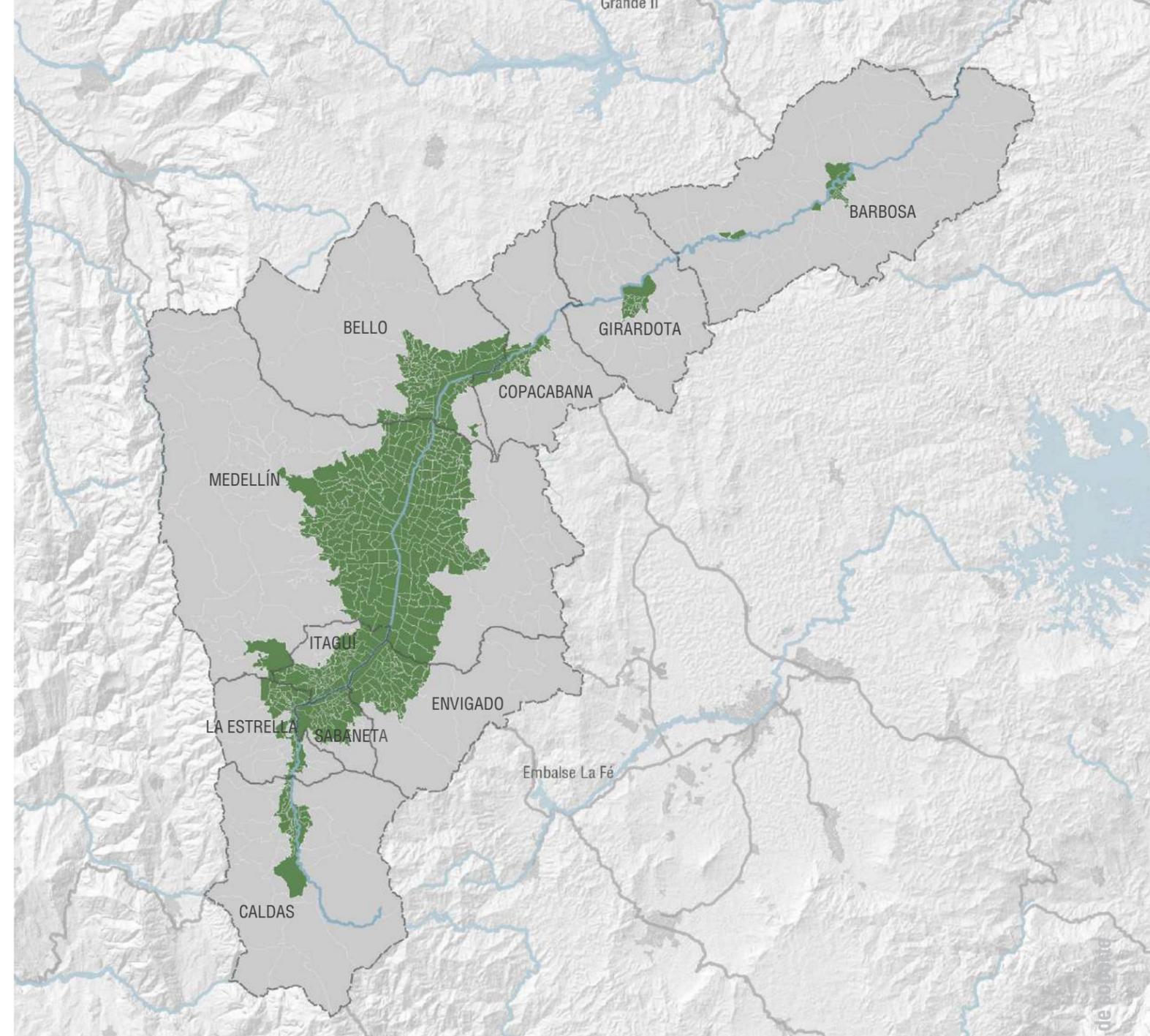


Figura 414 ▲ Índice de relación de soporte para la variable residuos de construcción por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urban EAFIT (2018).

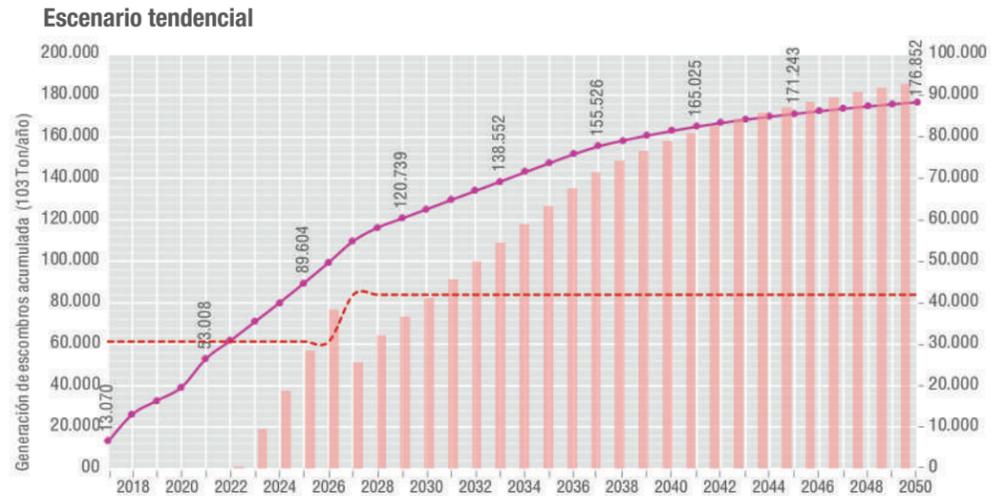
Tamaño poblacional sostenible



4.126.364 habitantes

Período de sostenibilidad

2022



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
— Generación de residuos de construcción
■ Déficit en generación de residuos de construcción

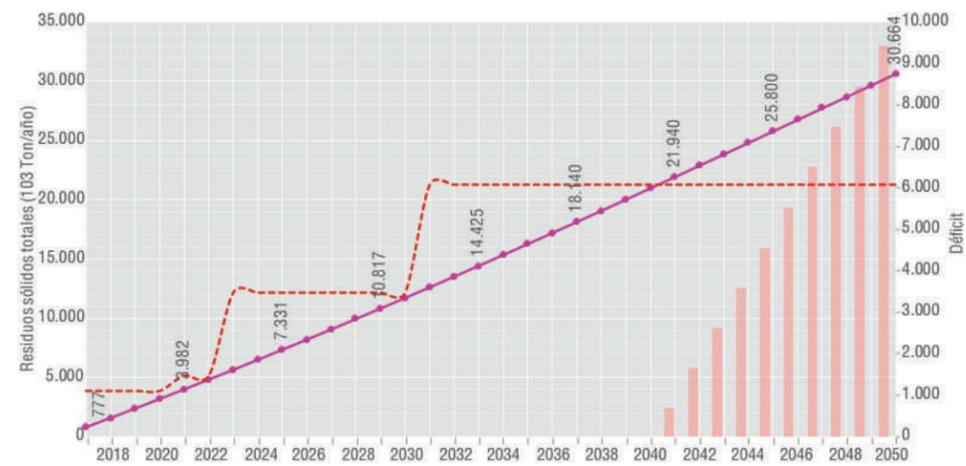
Figura 416 ◀ Relación entre la generación de residuos de construcción y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la capacidad de las escombreras del Valle de Aburrá. Fuente: urban EAFIT (2018) con base en AMVA-UPB (2015). Política Pública de Construcción Sostenible. Bocanumeth (2004). Línea Base. PGIRS -Regional (2006).

Modelando el escenario tendencial para la generación acumulada de RCD en Densurbam, y teniendo en cuenta que el índice de relación de soporte para esta variable relaciona la producción acumulada de escombros por metro cuadrado construido, con la capacidad de las escombreras reportadas en el inventario realizado en el PGIRS Regional (2017), se puede concluir que a partir del año 2022 la demanda supera la oferta y se sobrepasa el nivel de sostenibilidad. Según datos oficiales, la recepción anual en las escombreras es aproximadamente

5.830.251 toneladas, lo cual revela la magnitud del problema que provocaría un eventual déficit en los espacios requeridos para este tipo de residuos, frente a la generación de RCD.

Por lo anterior, al igual que ocurre con los residuos sólidos ordinarios, debe propenderse por soluciones integrales. Así, se proponen las siguientes medidas, que fueron modeladas en Densurbam y permiten observar una ampliación del tiempo de sostenibilidad de este factor limitante.

Escenario 1 - Simulación incremento reutilización RCD y ampliación infraestructura



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
— Generación de residuos de construcción
■ Déficit en generación de residuos de construcción

Figura 415 ◀ Simulación incremento reutilización RCD y ampliación infraestructura. Fuente: urban EAFIT (2017) con base en EPM (2016) (2017).

Suponiendo un incremento en la reutilización de los RCD generados del 30%, esto es, fomentar la economía circular y con ello la creación de mercados para los escombros y a su vez, un incremento en la infraestructura por medio de la ampliación de las

escombreras en 20% respecto a la capacidad inicial. Con estas decisiones simultáneas se logra ampliar el horizonte de sostenibilidad de este factor limitante, hasta 2035, es decir, durante 13 años más, respecto al escenario tendencial.

Recomendaciones

El potencial de aprovechamiento de los RCD es alto. En alianza entre actores claves del sector económico como Camacol, empresas constructoras, entre otras y el AMVA, podría liderarse en el marco de la Política de Construcción Sostenible, la creación de mercados para la compra y venta de este tipo de residuos, esto es, fomentar la economía circular. Con ello, también sería posible hacer frente a uno de los problemas

identificados con este tipo de residuos en el Valle de Aburrá, esto es, la disposición ilegal en retiros de quebradas y el río Aburrá, tal como es reportado en la mencionada Política, con las consecuencias que ello conlleva sobre estos ecosistemas.

También son relevantes los inventarios de estos espacios y monitoreo permanente.



Materiales de construcción

El crecimiento del área urbana conlleva una mayor demanda de materiales para la construcción, esto es, tal como es expresado en la Política Pública de Construcción Sostenible AMVA-UPB (2015), “el crecimiento urbano en el Valle de Aburrá, va acompañado por una creciente actividad edificatoria” y esta a su vez por un aumento de la demanda de los materiales.

Cada técnica constructiva requiere una cantidad distinta de materiales. Según información del AMVA, el sistema constructivo más usado en el Valle de Aburrá es la mampostería confinada (77%), seguido del sistema industrial (14,9%) y la mampostería estructural (6,4%). Con base en esta información y estudios de la UPME, PNUD, ECOINGENIERÍA S.A.S. (2012), se calculó la demanda aproximada de materiales en el Valle de Aburrá con base en información histórica del área construida y el consumo promedio de materiales por m² construido bajo este sistema constructivo.

Módulos asociados

2,4 ton/ha construida

Límites

El límite se estimó a partir del supuesto que los vehículos de carga alcanzan las emisiones máximas permitidas de MP 2,5 anuales (límite normativo) en

un año determinado. Para ese año, se determina el valor aproximado de la demanda de materiales, y este constituye el límite de esta variable (oferta).

Fórmula de cálculo

Total consumo de materiales = total m² construidos Valle de Aburrá * 2,4ton/m².

Donde, 2,4 ton/m² corresponde al valor del consumo promedio de materiales bajo el sistema constructivo de mampostería, el cual equivale al 77% de la técnica de construcción empleada en el Valle de Aburrá (UPME, PNUD, ECOINGENIERÍA S.A.S.,2012)

Fuentes de información

AMVA-UPB (2015). Política Pública de Construcción Sostenible. Línea Base.

UPME, PNUD, ECOINGENIERÍA S.A.S. (2012).



Figura 417 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la variable materiales de construcción. Fuente: urbam EAFIT (2018).

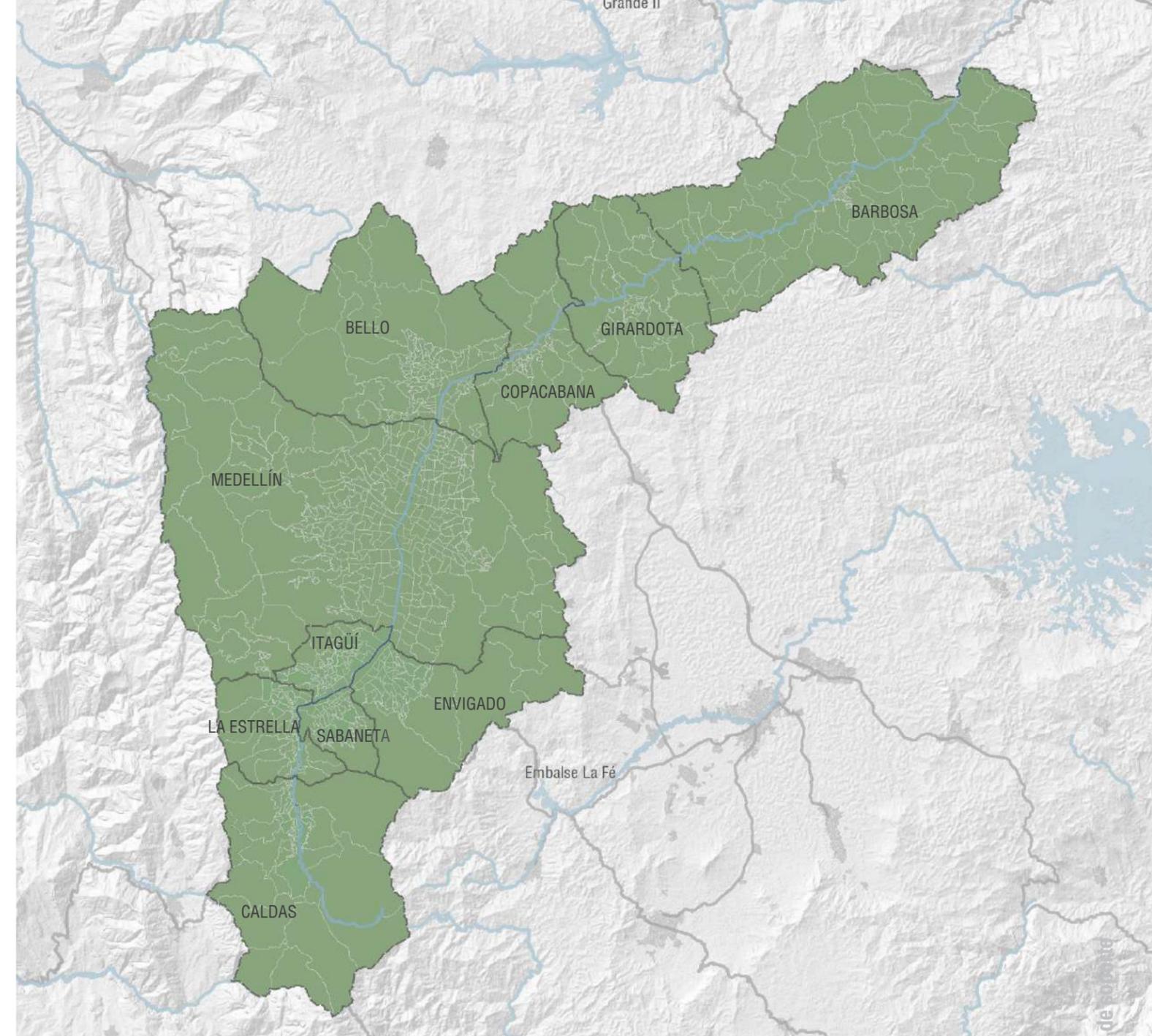
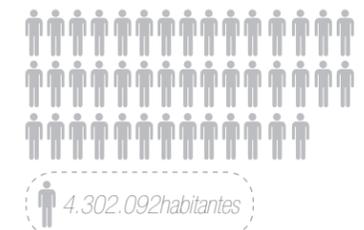


Figura 418 ▲ Índice de relación de soporte para la variable materiales de construcción por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urbam EAFIT (2018).

Índice relación de soporte 2018



Tamaño poblacional sostenible



Período de sostenibilidad

2026

Escenario tendencial

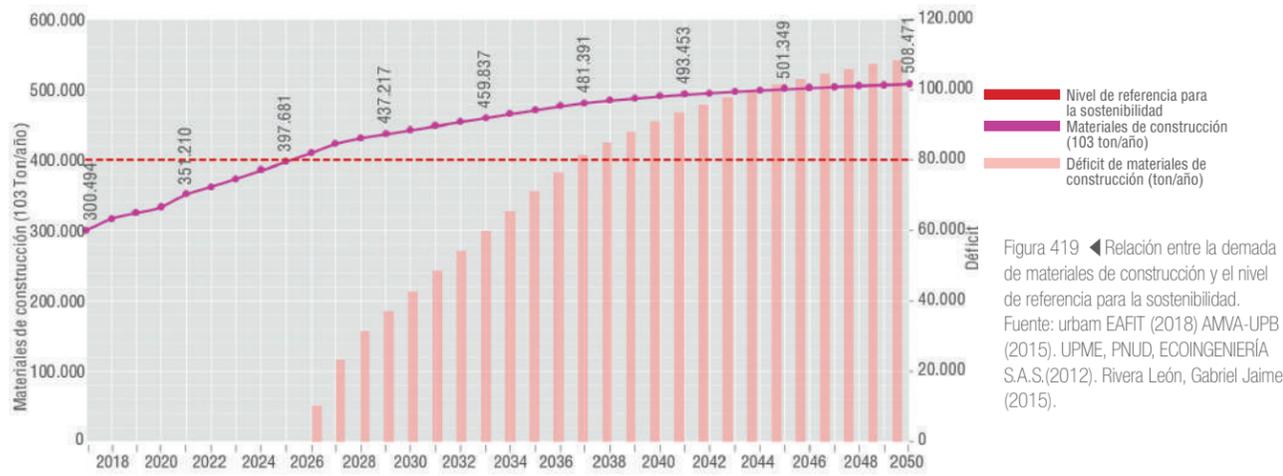


Figura 419 ◀ Relación entre la demanda de materiales de construcción y el nivel de referencia para la sostenibilidad. Fuente: urbam EAFIT (2018) AMVA-UPB (2015). UPME, PNUD, ECOINGENIERÍA S.A.S.(2012). Rivera León, Gabriel Jaime (2015).

Simulando en Densurbam el escenario tendencial para la variable de materiales de construcción, se observa que de continuar con esta senda de crecimiento, en el año 2026, sobrepasará el límite, llegándose a una condición de insostenibilidad a partir de allí.

Ahora bien, si las metas a largo plazo de construcción se mantienen según el tamaño esperado de la población a futuro y con ello sus demandas, a continuación son simulados dos escenarios de crecimiento en la vivienda en el valle de Aburrá.

Escenario 1 - Simulación crecimiento exponencial de la vivienda

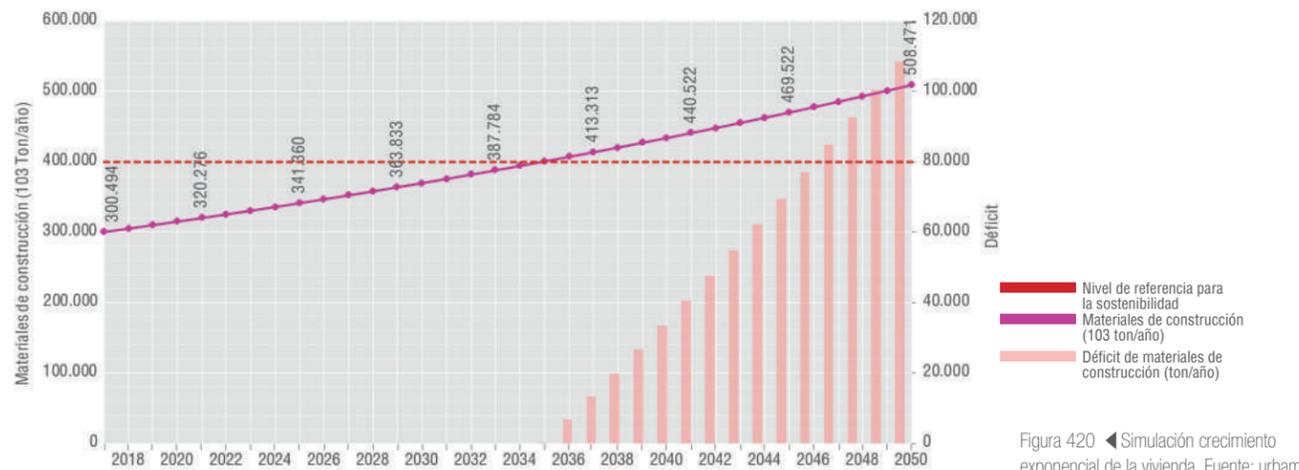


Figura 420 ◀ Simulación crecimiento exponencial de la vivienda. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Bajo este escenario, la tasa de crecimiento es variable en el tiempo. Inicialmente el crecimiento es lento mientras el sistema se ajusta, posteriormente, de forma gradual, se incrementa la tasa de crecimiento.

Tal como puede observarse en el gráfico, debido a este comportamiento el IRS sobrepasa el umbral de la sostenibilidad en el año 2035.

Escenario 2 - Simulación crecimiento logarítmico de la vivienda

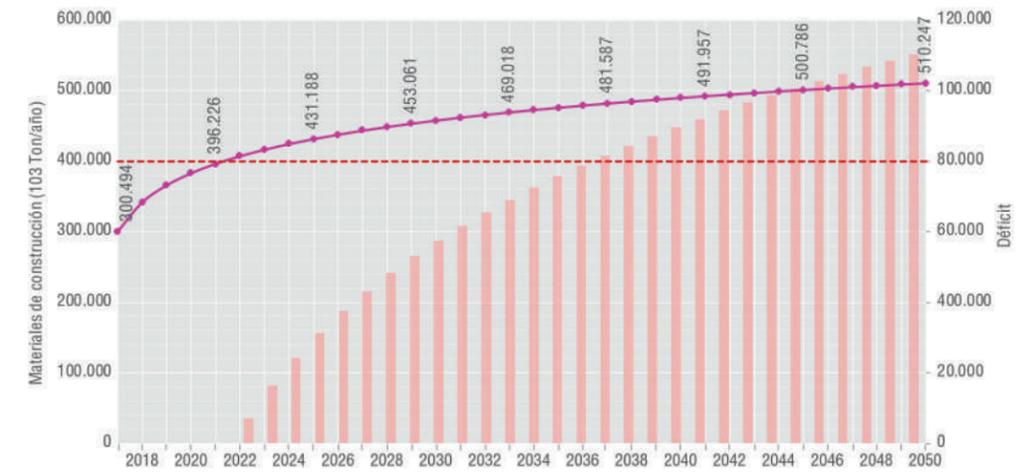


Figura 421 ▶ Simulación crecimiento logarítmico de la vivienda. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Entre tanto, simulando un crecimiento logarítmico de la vivienda durante el horizonte de planeación analizado, el cual está dado por un comportamiento opuesto al descrito en el escenario anterior, esto es, un rápido

crecimiento inicial y posteriormente una disminución gradual del mismo; se observa cómo la relación de soporte supera el umbral de la sostenibilidad desde el año 2022.

Recomendaciones

El comportamiento del crecimiento de la vivienda, incide sobre la demanda de materiales de construcción y por ende en la sostenibilidad de este factor limitante.

Planificar y regular el modelo de crecimiento de ocupación del territorio, tal como es observado a través de esta modelación, es vital para sostener la capacidad de soporte durante un horizonte mayor



Cantidad de vehículos particulares (10³ vehículos)
Recorrido anual medio (10⁶ km)
Consumo de combustible autom3viles particulares (10³ L/año)

Índice que relaciona la cantidad de vehículos por cada 1.000 habitantes. Internacionalmente, los vehículos son representados por carros, en este ejercicio se respetan estos estándares y adicionalmente se incluyen las motocicletas como vehículos particulares de uso cotidiano debido al alto impacto que tienen en países tropicales.

M3dulos asociados

Tasa de motorizaci3n: N3mero de veh3culos / 1.000 habitantes. Recorrido por veh3culo VKR: Inventario de

emisiones AMVA-UPB. Consumo de combustible por veh3culo: Calculadora UPME

L3mites

L3mite asociado a la relaci3n de veh3culos y personas que no puede debe superar el valor de

F3rmula de c3lculo

$CVP = VPV * FC / DHV$
 $RAM = CVP * Mram * FC$
 $CAP = CVP * Mcap * FC$

CVP=Cantidad de veh3culos particulares
 RAM=Recorrido anual medio
 CAP=Consumo de combustibles autom3viles particulares
 VPV=Veh3culos por vivienda
 DHV=Densidad habitacional por vivienda
 FC= Factores de conversi3n asociados a cada variable
 Mram=Modulo asociado al recorrido anual medio de un auto
 Mcap=Modulo asociado al consumo de combustible de un auto

*Estas variables son expresadas en t3rminos per capita

Fuentes de informaci3n

Ajuntament de Barcelona. (2002), Corporaci3n Andina de Fomento (CAF). (2010), Deb, A. (9 de diciembre de 2016), Deutsche Gesellschaft f3r Internationale Zusammenarbeit (giz). (2012), Fabio Botero-Secretar3a de Educaci3n y Cultura de Medell3n (s.f.), Luis Fernando Gonz3lez - UNAL (2007), MinTransporte (2016), RUNT (2017), ANDI - Fenalco (2017), DANE (1976), Secretar3a de Transportes y Tr3nsito de Medell3n (2012)



Figura 422 ▲ Índice de relaci3n de soporte a escala municipal para la variable cantidad de veh3culos particulares. Fuente: urban EAFIT (2018).

Índice relaci3n de soporte 2018

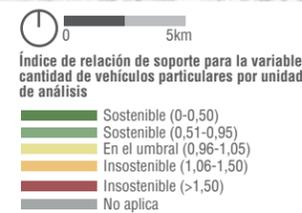
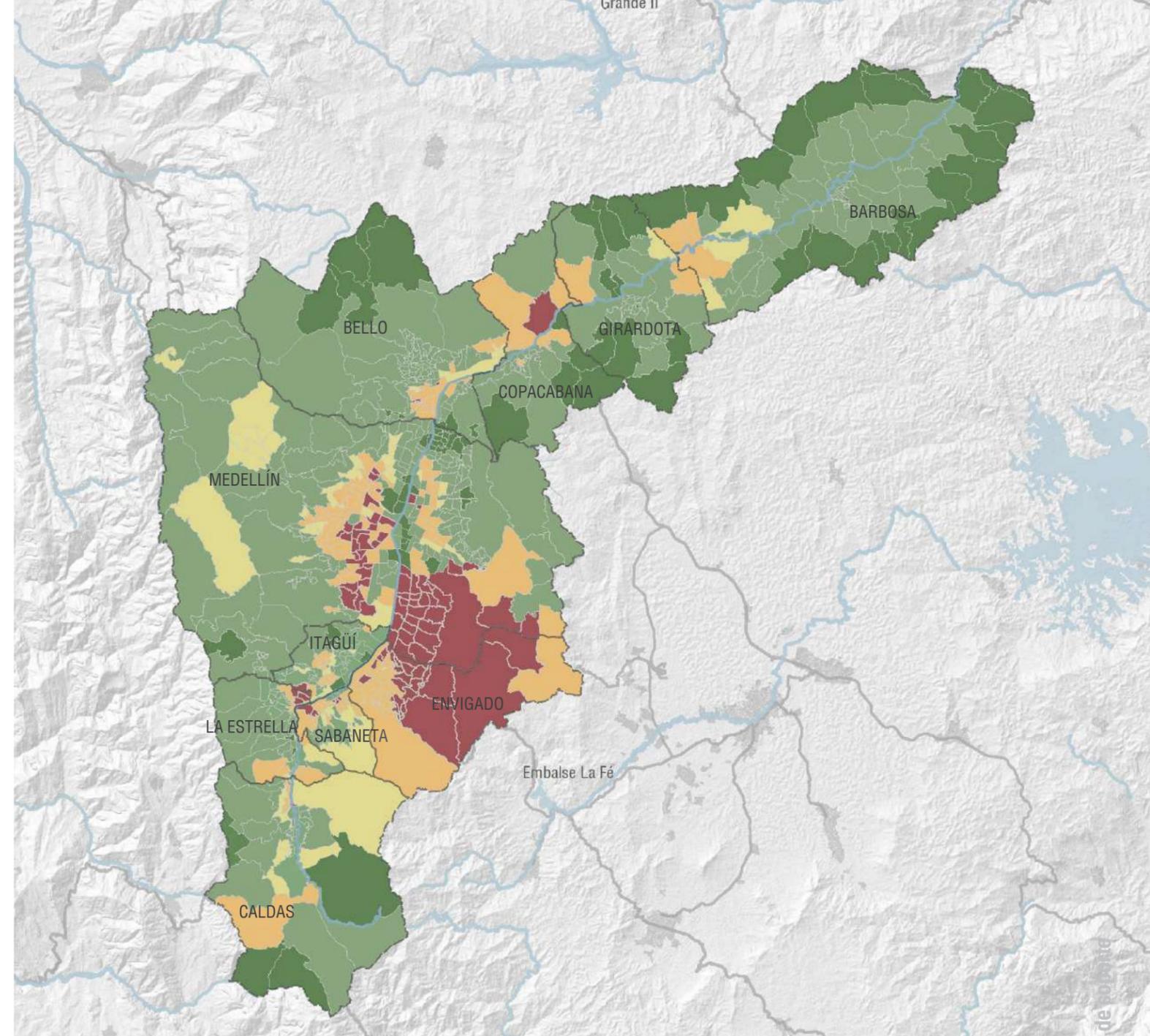
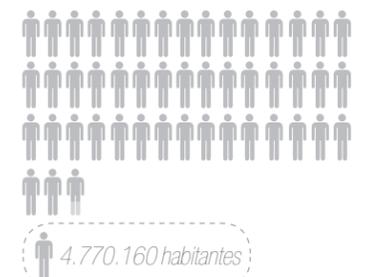


Figura 423 ▲ Índice de relaci3n de soporte para la variable cantidad de veh3culos particulares por unidad de an3lisis (Barrio/Vereda). Fuente: urban EAFIT (2018).

Tamaño poblacional sostenible



Per3odo de sostenibilidad

2040

Escenario tendencial

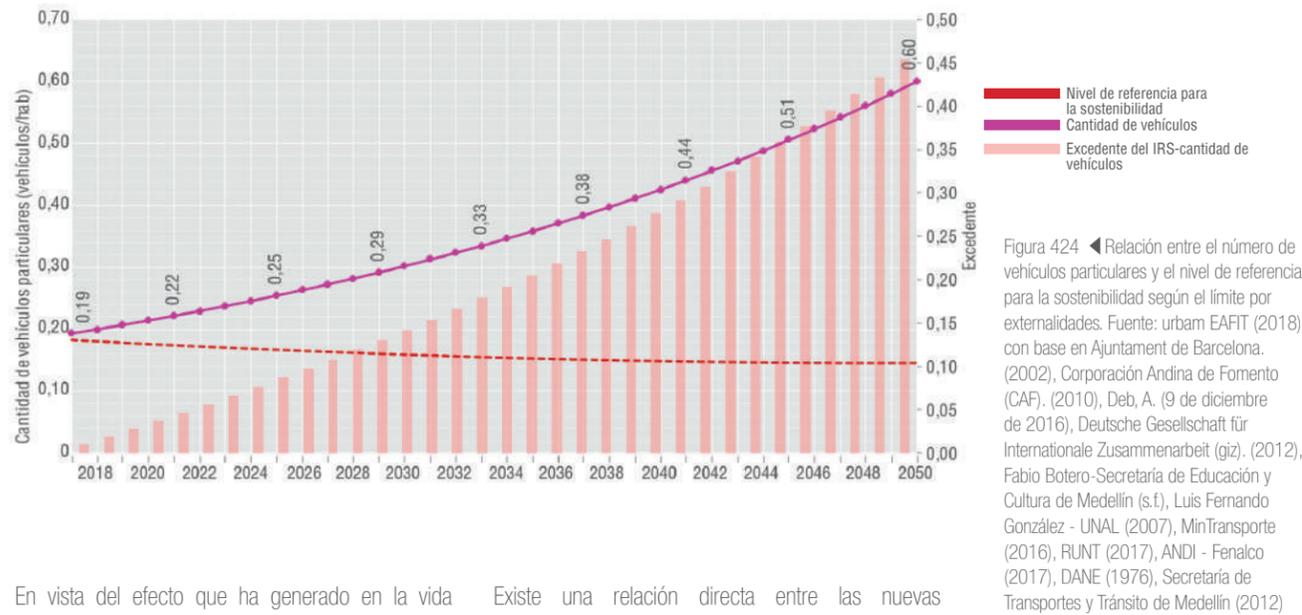


Figura 424 ◀ Relación entre el número de vehículos particulares y el nivel de referencia para la sostenibilidad según el límite por externalidades. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Ajuntament de Barcelona. (2002), Corporación Andina de Fomento (CAF), (2010), Deb, A. (9 de diciembre de 2016), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (giz). (2012), Fabio Botero-Secretaría de Educación y Cultura de Medellín (s.f), Luis Fernando González - UNAL (2007), MinTransporte (2016), RUNT (2017), ANDI - Fenalco (2017), DANE (1976), Secretaría de Transportes y Tránsito de Medellín (2012)

En vista del efecto que ha generado en la vida urbana la presencia de vehículos motorizados, principalmente la de carros y motos particulares, es importante evaluar la motorización como un aspecto que afecta las capacidades de una sociedad en cada territorio de manera específica. Los resultados obtenidos en este ejercicio, muestran el foco de concentración de vehículos en el sur oriente del valle, lo que por sí solo debería acarrear problemas de estacionamiento, pero es paradójicamente el modelo de ocupación y la normativa urbanística los que han “resuelto” la oferta de espacios para dichos vehículos.

Existe una relación directa entre las nuevas construcciones en Envigado y Sabaneta con el aumento de la tasa de motorización en esa zona, debido a que las licencias aprobadas, se ubican principalmente en sectores sin oferta de transporte público, a grandes distancias para ser recorridas caminando o en altas pendientes dificultando la integración ciclista. Asimismo, el rezago de oferta de servicios respecto a la vivienda es una de las razones por las que los recorridos medios aumentan. Como parte de este ejercicio, fue posible estimar un número de vehículos; carros y motos para el total del valle y distribuirlos por zonas y por estratos.

Tanto planes parciales como proyectos de edificación construidos antes de la nueva norma en Medellín exigían un número mínimo de celdas de parqueo y esto a su vez propició el crecimiento del parque automotr, aumentando los problemas de congestión y contaminación en el mediano plazo. La representación del uso del carro, confirma la información que había sido analizada y presentada para la actualización del plan rector del metro en 2016.

La estimación utiliza datos históricos, y combina el análisis de las últimas dos encuestas de movilidad (2012 y 2017). De esta proyección resultó una cuestión más importante que la tenencia de vehículos particulares que es el uso, por día y por hora. Según la encuesta del 2017, a pesar de haber más de 1'600.000 vehículos, el número de éstos que salen cada mañana, no supera los 900.000 y su distribución horaria en la franja de mayor demanda, entre las 6 y las 9 de la mañana, apenas supera los 400.000 carros y motos que se desplazan durante

esas 3 horas, una diferencia importante respecto al total de vehículos cuando se quiere determinar el espacio disponible o con aptitud para la movilidad. De esta manera se explica la importancia de los horarios escalonados, los horarios flexibles o el teletrabajo.

La motorización mide el número de carros por cada 1.000 habitantes, pero más allá de ser un indicador macroeconómico para el sector automotriz, la clave de la motorización para este estudio radica en sus efectos sobre el sistema urbano puesto que impactan

nuestras capacidades y afectan de manera directa la calidad de vida.

Asuntos como la congestión, el ruido, la velocidad, la interacción humana, el comercio, la seguridad vial, el consumo energético y las emisiones contaminantes, son consecuencia no solo de la motorización, sino del diseño urbano y el uso de vehículos particulares, así que combatir la motorización con estrategias integradas de usos del suelo, diseño vial y planificación del transporte, es clave para aumentar los índices de sostenibilidad territorial.

Recomendaciones

Con la estimación del número de vehículos que podrían circular para los próximos años en el valle, se hace necesario imaginar límites que no tendrían que asociarse directamente al número de vehículos comercializados, sino a los efectos de usarlos, principalmente las emisiones y la ocupación del espacio. Estos costos sociales o externalidades deben ser transeferidos a los usuarios de vehículos en la medida de sus viajes, es decir, por kilómetro recorrido o por viaje realizado y es en este punto en el que deben aprovecharse las herramientas tecnológicas con nuevas políticas públicas que permitan el fortalecimiento de las entidades de control sin que esto implique arbitrariedades ni autoritarismo. Con la información evaluada y los procedimientos aplicados (de no revertir la tendencia), se podría sufrir un cambio en los próximos 30 años que dejaría en jaque al sistema de transporte público, así como a la infraestructura vial, pero que amenaza principalmente la oferta mixta del espacio público y todas las actividades que dependen de una buena distribución del mismo.

Pues de seguir enfrentando la congestión como problema central de la movilidad, utilizando métodos tradicionales, es necesitarían ampliaciones permanentes y nuevos intercambios elevados, agotando las zonas verdes disponibles, generando mayor impermeabilidad de suelos y obstruyendo de manera definitiva la ciudad a escala humana que invita a sus habitantes a caminar y encontrarse en la calle.

En 2018, según datos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la distribución entre carros y motos es del 45 y 55 por ciento respectivamente y hay un vehículo circulando por cada 2.4 habitantes, para 2050, este número podría ser menor a 1.7 habitantes por cada vehículo circulando y el porcentaje de motos ascender al 70% del parque automotor. Situaciones similares se presentaron durante los últimos 20 años en varias ciudades de sudeste asiático y hoy parece imposible revertir esa condición en la que hasta el 95% de los vehículos que circulan a diario, son motocicletas.



Espacio para el sistema metro (m²)
Espacio para el bus (m²)
Espacio para la movilidad (m²)

Es la síntesis sobre la evaluación del espacio requerido por cada modo de transporte que conjugado con la Encuesta de Origen y Destino y los repartos modales estimados compara las ofertas y demandas de los espacios físicos para efectuar los desplazamientos cotidianos a escala metropolitana y los distribuye espacialmente para cada unidad de análisis.

Módulos asociados

Caminata 1m², bicicleta 5m², tranvía 3m², metro 1m², BRT 5m², bus 10m², auto 60m² y moto 20m²

Límites

Áreas de los perfiles viales 5.400 hectáreas. 5% del área total del valle. Áreas con potencial para la movilidad (APM) 45.000 hectáreas. 38% del área total del valle.

- Espacio para la caminata 40.350ha
- Espacio para la bicicleta 39.850ha
- Espacio para el tranvía 5ha
- Espacio para el sistema metro 50ha
- Espacio para el BRT 5ha
- Espacio para el bus 1.000ha
- Espacio para el auto 2.750ha
- Espacio para la moto 1.000ha

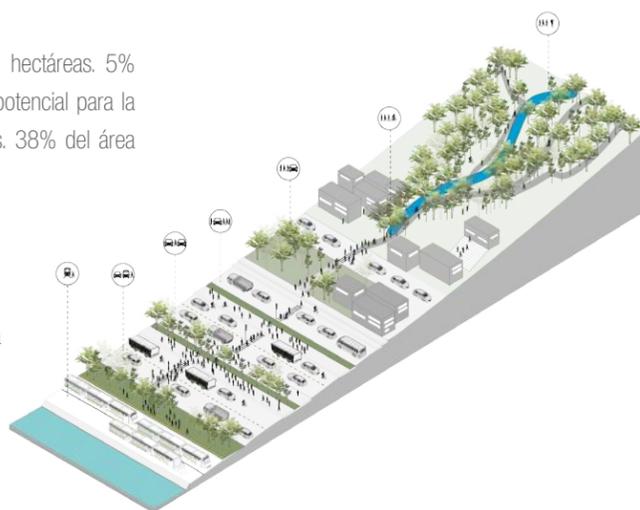


Figura 425 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la variable espacio para la movilidad. Fuente: urban EAFIT (2018).

Figura 426 ◀ Esquema de las áreas con potencial para la movilidad. Fuente: urban EAFIT (2018).

Fórmula de cálculo

Número de usuarios por modo x área ocupada por cada modo

Fuentes de información

Alcaldía de Medellín; Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012), Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017), Botma, H., & Papendrecht, H. (1991), Corporación Andina de Fomento (CAF). (2010), Global Designing Cities Initiative; NACTO. (2016), Hamid, H., Umar, R., Farhan, A., & Mohamad, D. (2004), Navarro, R. A., Heierli, U., & Beck, V. (1985), Vivier, J. (1999).

Índice relación de soporte 2018

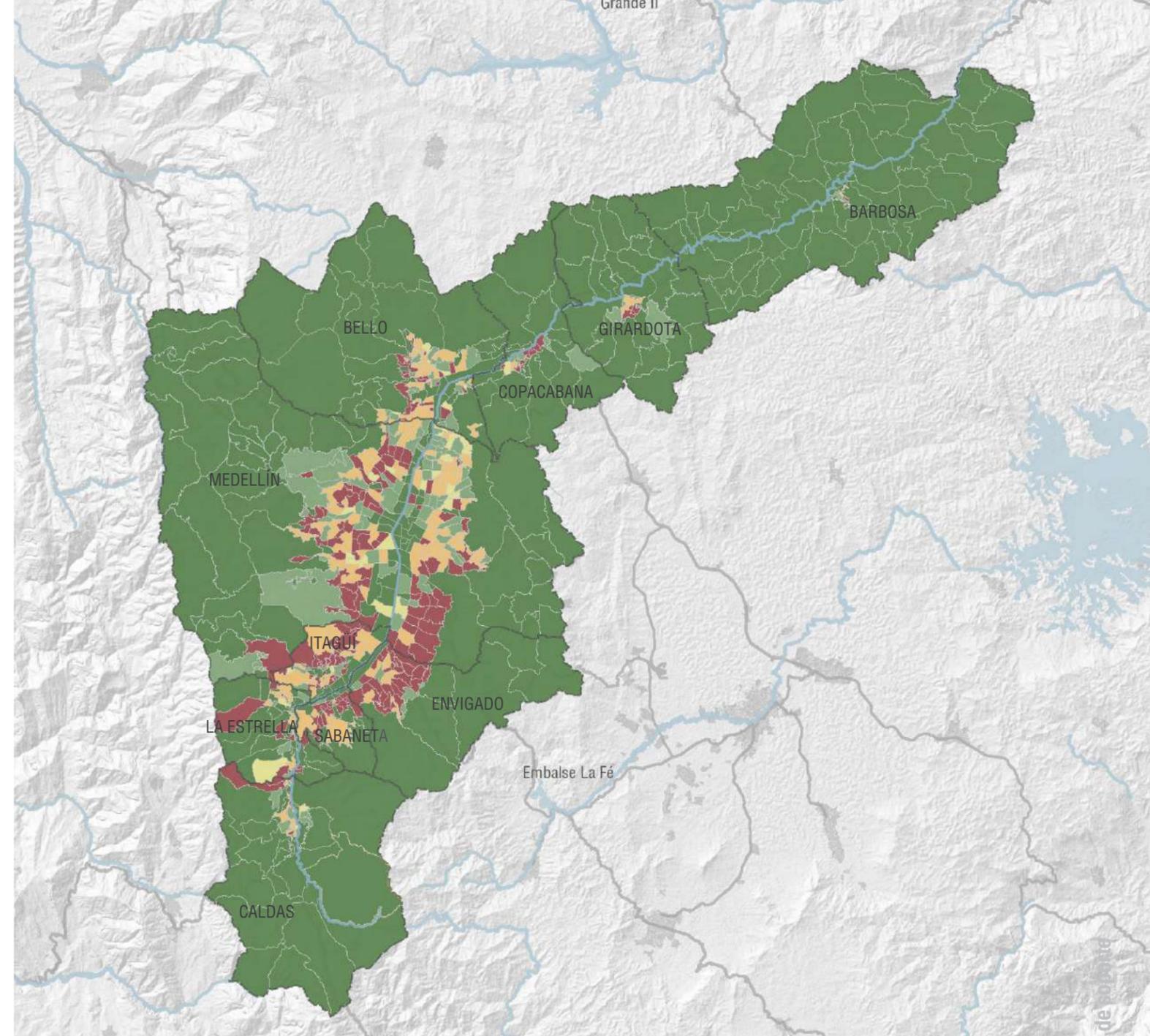
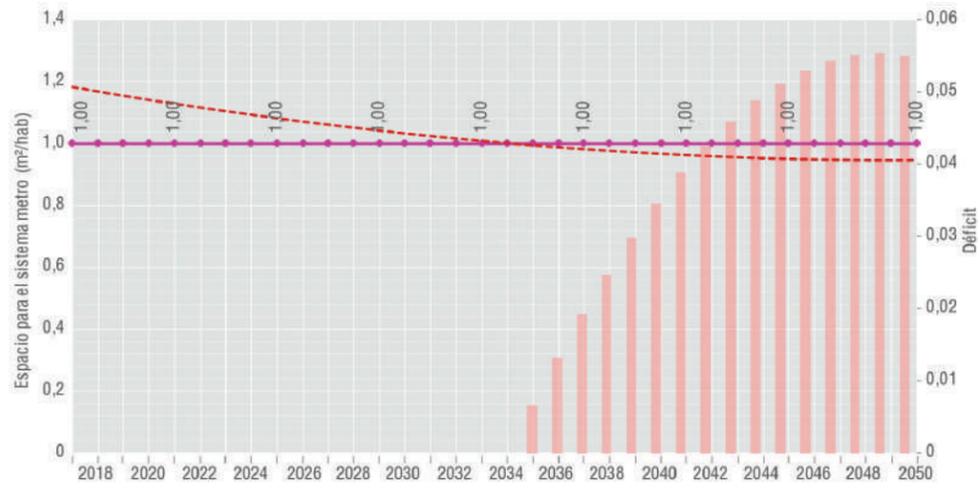


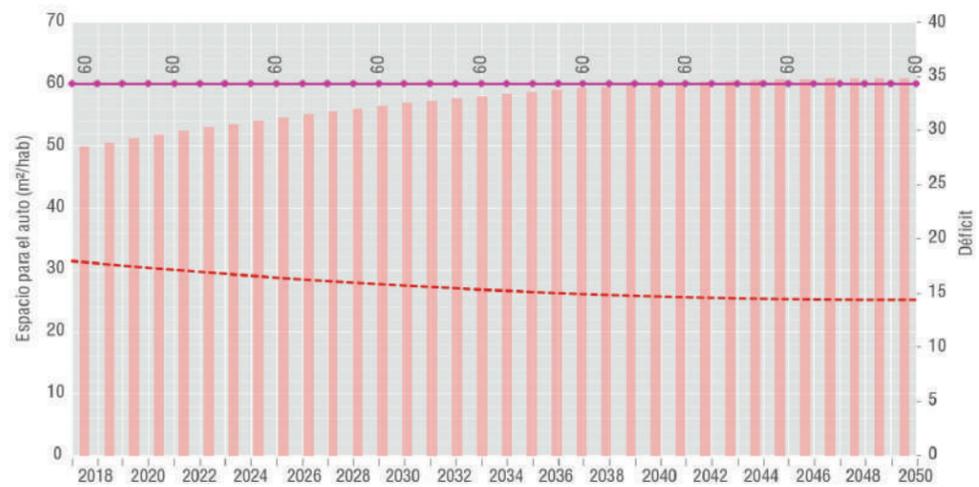
Figura 427 ▲ Índice de relación de soporte para la variable espacio para la movilidad por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urban EAFIT (2018).

Escenarios tendenciales



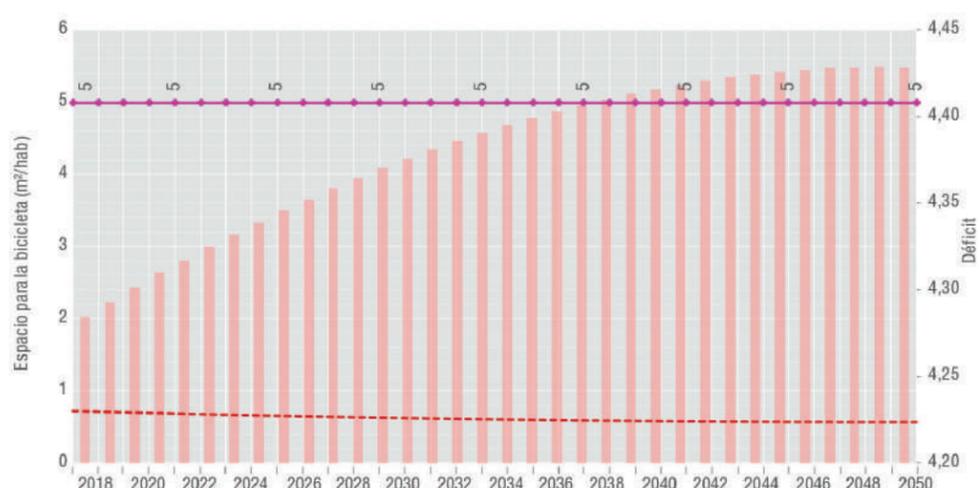
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Espacio para el sistema metro
■ Déficit de espacio para el sistema metro

Figura 428 ◀ Relación entre el espacio requerido para el sistema metro y el nivel de referencia para la sostenibilidad según el espacio disponible para este sistema y el reparto modal. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Alcaldía de Medellín; Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012), Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017), Botma, H., & Papendrecht, H. (1991), Corporación Andina de Fomento (CAF). (2010), Global Designing Cities Initiative; NACTO. (2016), Hamid, H., Umar, R., Farhan, A., & Mohamad, D. (2004), Navarro, R. A., Heierli, U., & Beck, V. (1985), Vivier, J. (1999).



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Espacio para el auto
■ Déficit de espacio para el carro

Figura 429 ◀ Relación entre el espacio requerido para el auto y el nivel de referencia para la sostenibilidad según el espacio disponible para este modo y el reparto modal. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Alcaldía de Medellín; Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012), Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017), Botma, H., & Papendrecht, H. (1991), Corporación Andina de Fomento (CAF). (2010), Global Designing Cities Initiative; NACTO. (2016), Hamid, H., Umar, R., Farhan, A., & Mohamad, D. (2004), Navarro, R. A., Heierli, U., & Beck, V. (1985), Vivier, J. (1999).

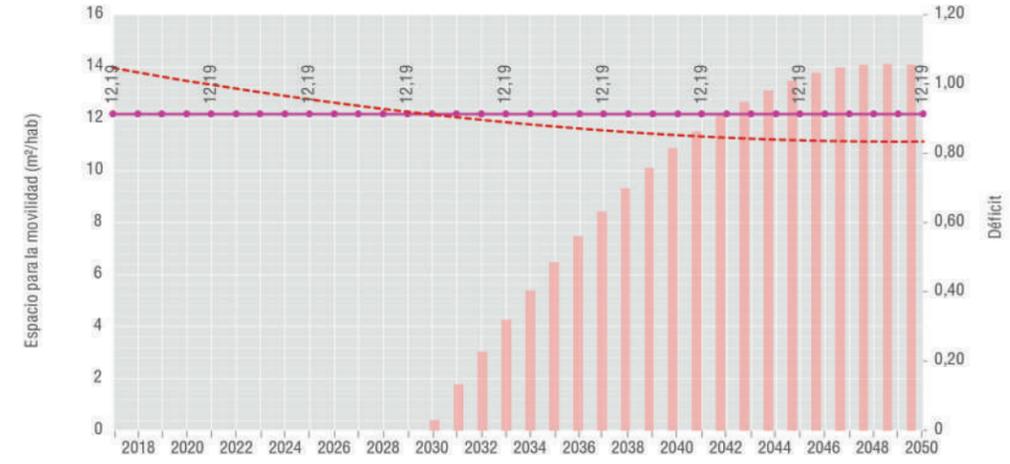


■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Espacio para la bicicleta
■ Déficit de espacio para la bicicleta

Figura 430 ◀ Relación entre el espacio requerido para la bicicleta y el nivel de referencia para la sostenibilidad según el espacio disponible para este modo y el reparto modal. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Alcaldía de Medellín; Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012), Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017), Botma, H., & Papendrecht, H. (1991), Corporación Andina de Fomento (CAF). (2010), Global Designing Cities Initiative; NACTO. (2016), Hamid, H., Umar, R., Farhan, A., & Mohamad, D. (2004), Navarro, R. A., Heierli, U., & Beck, V. (1985), Vivier, J. (1999).

■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Espacio para la movilidad
■ Déficit de espacio para la movilidad

Figura 431 ◀ Relación entre el espacio requerido para la movilidad y el nivel de referencia para la sostenibilidad según el espacio disponible para la movilidad y el reparto modal. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Alcaldía de Medellín; Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012), Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017), Botma, H., & Papendrecht, H. (1991), Corporación Andina de Fomento (CAF). (2010), Global Designing Cities Initiative; NACTO. (2016), Hamid, H., Umar, R., Farhan, A., & Mohamad, D. (2004), Navarro, R. A., Heierli, U., & Beck, V. (1985), Vivier, J. (1999).



En el plano general, la movilidad se posiciona como un determinante territorial que refuerza el conocido modelo de crecimiento “hacia adentro”. Tras la construcción de dos capas independientes de espacios con aptitud para la movilidad, la permanencia de franjas verdes (representando la mejor relación entre demandas y ofertas) en el centro del valle, sintetizan el mensaje que destaca a la expansión y a la construcción en laderas como uno de los principales causantes de la congestión. Uno de los llamados de atención que puede verse directamente en los mapas, es la concentración de viajes en pocas zonas del valle, confirmando así la baja oferta de servicios variados en relación con la vivienda y la dependencia de los desplazamientos por vías principales debido a la baja conectividad, incluso peatonal, que ha dejado el tipo de desarrollos cerrados y lineales que aíslan a los barrios entre sí. El resultado de esta variable, la demanda espacial o la congestión, explica apenas una de las consecuencias que se puede percibir sobre la forma en que se ha dado la planificación territorial y de transporte, pero es importante en la medida que permite ver límites físicos y no teóricos al crecimiento continuo. Con este análisis multidimensional es posible entender que las grandes apuestas por movilizar y permitir el flujo de tantos autos como sea posible dentro de las ciudades han sido insuficientes, no solo porque han fracasado en función de su objetivo, sino porque han generado un círculo vicioso de insostenibilidad urbana afectando cada vez más, otras variables del sistema.

En el caso de la demanda espacial, la ineficiencia en la movilidad urbana, puede explicarse desde la infraestructura, pero no por falta de la misma, sino por la mala distribución de espacios o por los diseños inadecuados que simulan autopistas en centros urbanos. La coexistencia de vías rápidas y dinámicas locales, sean comerciales, educativas o industriales producen desequilibrios que se traducen en inseguridad vial, horas perdidas en congestión, sobrecostos en la prestación de servicios y pérdida de la calidad de vida por ruido, contaminación o fragmentación urbana. Los resultados validan, entre otras cosas, la importancia que tiene un sistema integrado de transporte público. Si bien la demanda espacial plantea límites físicos a los desplazamientos cotidianos y alumbrando restricciones diferenciales a los modos utilizados según el sector, la evaluación de capacidades de los diferentes sistemas de transporte sirve para mostrar las oportunidades y estimar cómo la forma en que éstos interactúan puede mejorar la eficiencia del sistema general de la movilidad urbana. Tomando como base una vía de 3 a 3,5 metros de ancho, se han reunido estudios que estiman la capacidad máxima de pasajeros que pueden viajar cada hora según el modo de su elección. Este ejercicio de capacidades, documentado y mejorado desde hace más de 25 años, expone eficiencias de los diferentes sistemas públicos y colectivos que superan entre 3 y 50 veces la de los autos particulares.

Escenario 1 - Plan Maestro Metropolitano de la Bicicleta 2030

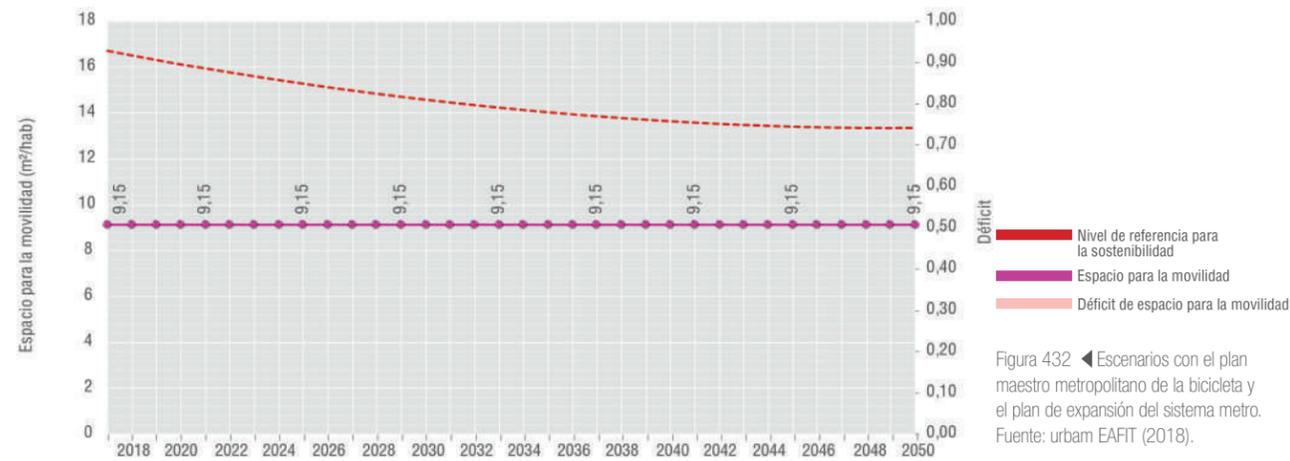


Figura 432 ◀ Escenarios con el plan maestro metropolitano de la bicicleta y el plan de expansión del sistema metro. Fuente: urbam EAFIT (2018).

En teoría, uno de los planes con mayor impacto sobre la demanda espacial es el Plan Maestro Metropolitano de la Bicicleta con vigencia a 2030. En este documento se explican algunos elementos clave para incidir sobre las decisiones cotidianas y aumentar significativamente la participación ciclista en el reparto modal del valle. Sin embargo, en términos de espacio, pasar del 1% actual, al 10% de la meta, puede o no representar cambios sustanciales y eso se explica por el público objetivo en el que se busca la demanda ciclista. Según el plan, sólo el 5.1% de los viajes potenciales en bicicleta

vendrían de usuarios de carros y motos, siendo apenas el 2.3% correspondiente a conductores de carros dispuestos a modificar su modo de viaje, por lo tanto, al calcular la demanda espacial resultante por ciclistas que antes utilizaban el sistema metro, por ejemplo, la mejora en eficiencia espacial no es la esperada. Sólo incrementando la integración de la bicicleta con todo el sistema integrado de transporte (SITVA), sería posible aumentar el número de ciclistas que migren específicamente de carros y motos, llegando a necesitar tan solo 11.1m² por habitantes.

Escenario 2 - Plan Rector de Expansión del Metro 2035

Se ha hecho un énfasis necesario en la oferta de los sistemas de transporte público y el Plan Rector de Expansión del Metro es una de las apuestas con las que el sistema masivo busca conectar la red metropolitana que ha sido reinterpretada para romper el “péndulo” norte-sur, aportar en la saturación del tronco alimentador de la línea A, mejorar los flujos oriente-occidente y ampliar la oferta para viajes cortos. Los viajes potenciales para las 16 ampliaciones que conformarían el sistema completo (2 a 2019, 5 a 2023, 9 a 2027 y 16 a 2035) serían casi 1.400.000, correspondientes al

23% de los viajes realizados cada día en toda el área metropolitana para el 2017 o aproximadamente un 18% de los viajes que se proyectan para 2035. De contar con estas ampliaciones, el sistema metro sería responsable de la reducción de la demanda espacial así: actualmente se requieren 12,2m² y en 2035 con operación completa 9,2m² por habitante. A este escenario se le suma el primero con el 10% viajes en bicicleta que se espera para 2030.

Recomendaciones

El Plan Maestro Metropolitano de la Bicicleta debe ser una de las guías de planificación territorial, pero es necesario introducir nuevos conceptos que permitan una migración de viajes principalmente desde los motorizados individuales, no desde los sistemas de transporte público. Esta guía debe orientar la reconfiguración de calles existentes para que sean incluyentes y multipropósito, ya que resultan más eficientes y al mismo tiempo son espacios más agradables, lo que aumenta la cohesión

social, mejora la seguridad, dinamiza el comercio y valoriza el suelo. Para lograrlo, una reducción en la velocidad es necesaria de manera urgente, así que la reconfiguración de calzadas, intersecciones, señalización y cicloinfraestructura serán la mejor estrategia asociada a una distribución espacial más eficiente, permitiendo aumentar el número de viajes en espacios cada vez más reducidos.



Espacio público efectivo

El espacio público efectivo se define como los espacios acondicionados para el esparcimiento de los ciudadanos (parques, plazas, plazoletas y zonas verdes recreativas). La normativa colombiana en el Decreto 1504 de 1998, Conpes 3718 y La OMS (Organización Mundial de la Salud) definen el indicador de espacio público efectivo por habitante para determinar el déficit de esta variable en las ciudades contemporáneas, como meta se definen 15m² por habitante teniendo una relación general de

➤ Módulos asociados

15 m² de espacio público efectivo por habitante
10 m² de espacio público efectivo por habitante
6,8 m² de espacio público efectivo por habitantes (promedio meta POT municipios Valle de Aburrá)

↑ Límites

21.898.318,83m² meta de largo plazo (2026 POT Medellín)

📖 Fuentes de información

Información PEMOT 2017, Administraciones municipios del Valle de Aburrá, Planes de Ordenamiento y restitución con imágenes.

Fuentes construcción de criterios:

SEDEDOL (Secretaría Desarrollo Social México), CAT-MED (Changing Mediterranean Metropolises Around Tiem), Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, La ciudad de los ciudadanos, Acuerdo 1504 de 1999

los m² de espacio público efectivo de los polígonos municipales con el total de su población. Por su parte Visión Colombia II Centenario define como meta para el año 2019 un índice de 10m² por habitante en ciudades mayores a 100.000 habitantes. Sin embargo, los municipios que conforman el Valle de Aburrá dentro de sus planes de ordenamiento establecen una meta en promedio de 6.8 m² de espacio público por habitante.

📐 Fórmula de cálculo

Metros cuadrados de espacio público efectivo / Número de habitantes

📊 Índice relación de soporte 2018

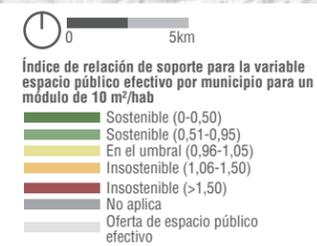
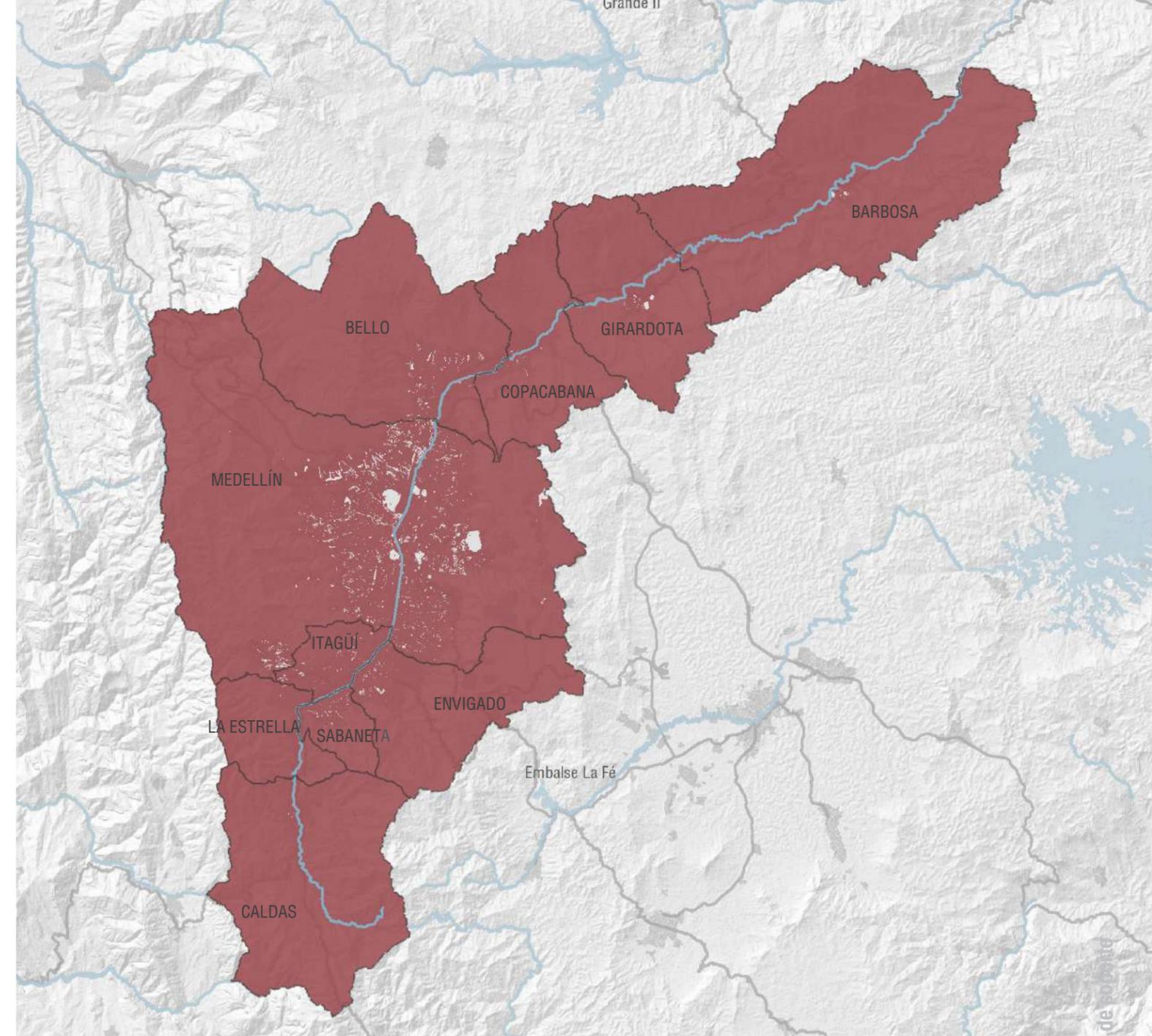


Figura 433 ▲ Índice de relación de soporte para la variable espacio público efectivo por municipio. Fuente: urban EAFIT (2018)

Escenarios tendenciales

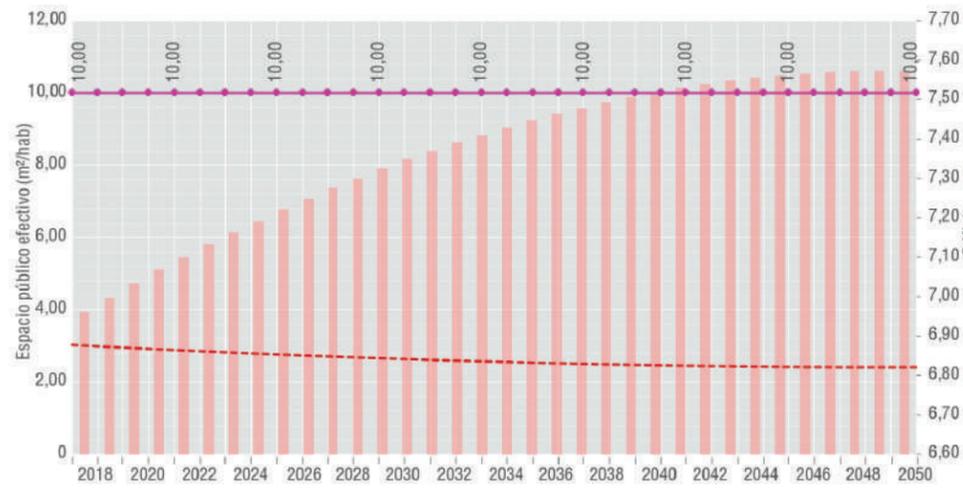


Figura 434 ◀ Relación entre la demanda de espacio público efectivo 10m²/hab y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la oferta de espacio público efectivo del Valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Universidad Nacional de Colombia y AMVA (2018).

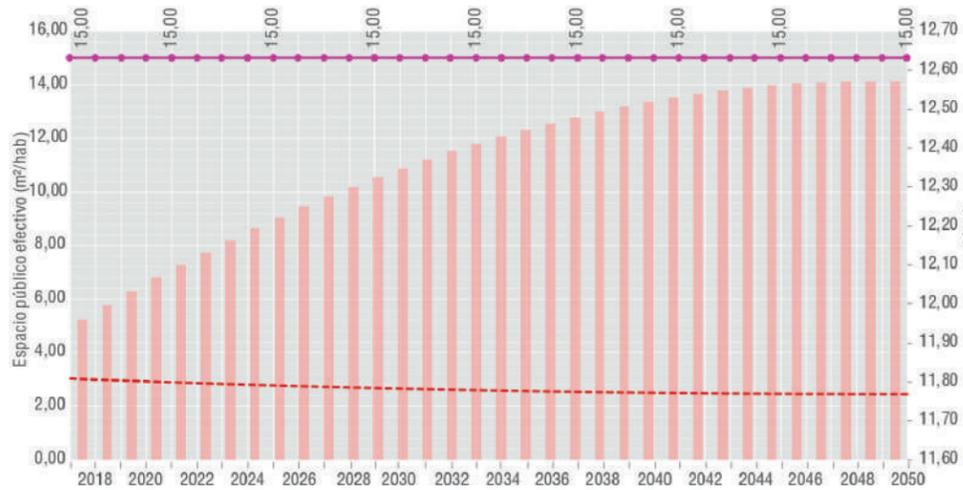


Figura 435 ◀ Relación entre la demanda de espacio público efectivo 15m²/hab y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la oferta de espacio público efectivo del Valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Universidad Nacional de Colombia y AMVA (2018).

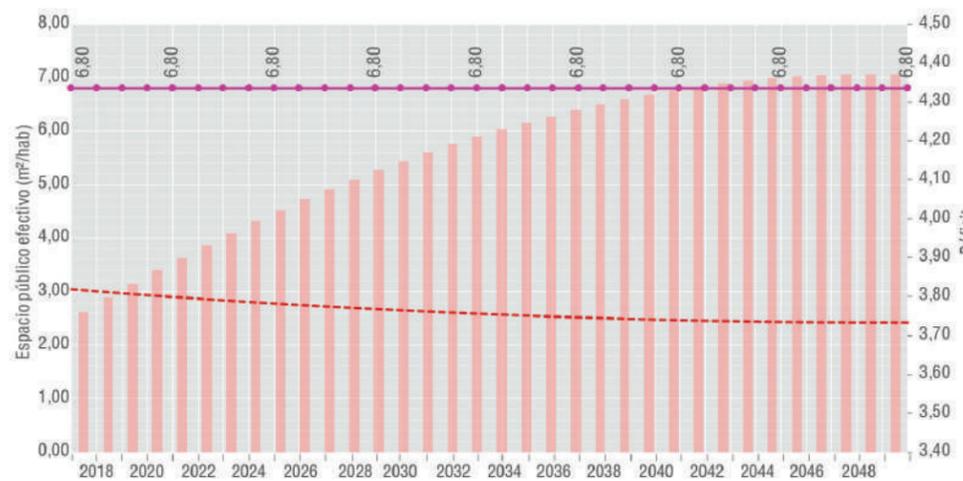


Figura 436 ◀ Relación entre la demanda de espacio público efectivo 6,8m²/hab y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la oferta de espacio público efectivo del Valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Universidad Nacional de Colombia y AMVA (2018).

El Plan Visión Colombia II Centenario establece un índice de 10m² de espacio público para el año 2019. Con relación a la población de ese año, son necesarias 3.989 hectáreas de espacio público efectivo para alcanzar la meta del indicador, es decir, más de 3 veces el espacio público que se tiene para el año 2018.

el municipio de Girardota la fija como objetivo en su plan de ordenamiento. Para lograr esta meta en el año 2018, se deberían adecuar 4.728 hectáreas nuevas de espacio público efectivo y, en una proyección al año 2050 serían necesarias 7.310 hectáreas es decir, 84 % más de lo que se dispone actualmente.

El indicador de los 6.8m² de espacio público efectivo por habitante corresponde al valor promedio de las metas establecidas en los POT de los municipios del Área Metropolitana; teniendo en cuenta la información suministrada por el PEMOT 2018 y los municipios (donde se identifican los espacios públicos efectivos en la cartografía), el índice de espacio público actual para el Área es de 3,0 m² por habitante, lo que arroja un déficit de 3,8 m², que para el año 2018, equivale a 1.464 hectáreas de espacio público y para la población de 2026, fecha donde se cumple la meta fijada en el POT de Medellín, esta área total de espacio público debiera ser 3.313 hectáreas. Sin embargo, actualmente se cuenta con 1.183 hectáreas, es decir, que para la meta del año 2026 es necesario aumentar en un 74% el área actual de espacio público efectivo en el Valle de Aburrá.

Si siguiendo lo anterior, los municipios del Valle de Aburrá no están cerca de cumplir las metas establecidas para el indicador de espacio público efectivo, por ejemplo, en el panorama más factible, el de 6.8 m² por habitante, es necesario un aumento del 56% del área de espacio público con la que cuenta para el año 2018 y en la meta más ambiciosa, un aumento del 70%. Por esto, es necesario la revisión del suelo disponible para la localización de usos públicos y la incorporación de suelo de espacio público definido a través del pago obligaciones en instrumentos como los planes parciales con el fin de identificar áreas disponibles.

Los 15m² cuadrados por habitante corresponden a la meta establecida en la normativa nacional, a ella, deben articularse los planes de ordenamiento en Colombia, sin embargo, en el área metropolitana, solo

En este sentido, también es necesario explorar criterios asociados a la proximidad; a las diferentes categorías; ámbitos y; características cualitativas, como variables que pueden tener mayor impacto en el desarrollo de las actividades urbanas y, que permitan reinterpretar la distribución del índice de metros cuadrados de espacio público por habitante.

Escenario 1-Pago de obligaciones de ley de espacio público efectivo e incorporación de proyectos estratégicos

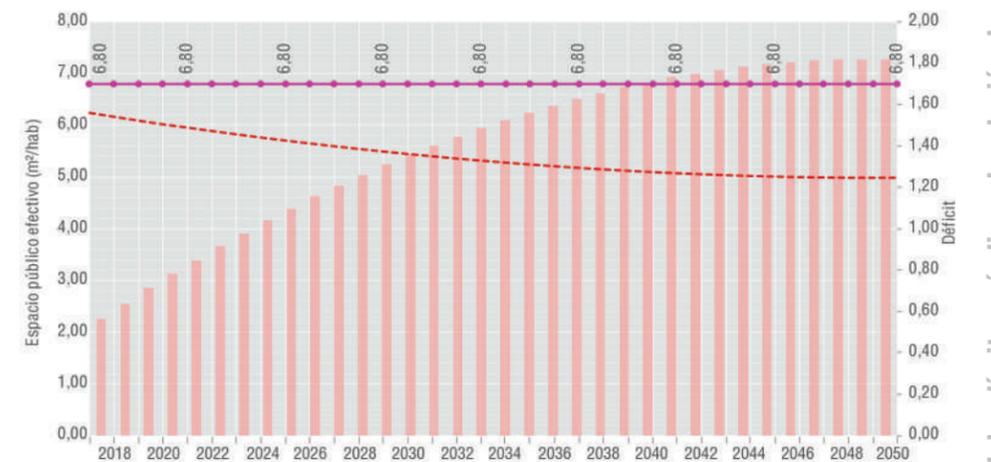


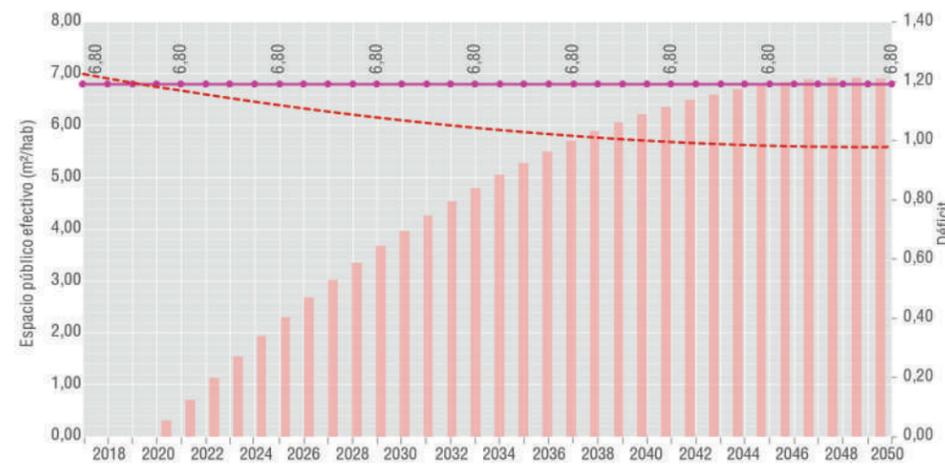
Figura 437 ▶ Escenario con el pago de las obligaciones de ley de espacio público efectivo e incorporación de proyectos estratégicos. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Para aproximarse al cumplimiento de las metas del índice de m^2 de espacio público efectivo por habitante en el Valle de Aburrá, se plantea un primer escenario desde el cumplimiento de la ley donde se incorporan a las áreas actuales el pago de obligaciones de los planes parciales en el espacio público según las condiciones planteadas sobre cargas y beneficios de cada municipio y los tratamientos urbanos definidos y los proyectos relevantes para el Valle de Aburrá en espacio público efectivos reconocidos por el PEMOT (Camino del Indio, Parque de los Meandros, Centralidad Norte, Centralidad Sur, Macroproyecto Río, Frente de Agua

la Tablaza, Frente de Agua Copacabana y Parque de los Meandros).

En este sentido, estas áreas aumentarían en un 105% el espacio público efectivo del Valle de Aburrá, pasando aproximadamente de 1.183 hectáreas a 2.428 modificando para la población del 2018 el indicador de espacio público efectivo por habitante de $3,0 m^2$ por habitante a $6,2$. Si se plantea como escenario la incorporación de estas áreas para el año 2027 como cumplimiento de los POT este indicador en relación al aumento de la población llegaría a los $5,6 m^2$ por habitante.

Escenario 2-Pago de obligaciones de ley de espacio público efectivo, incorporación de proyectos estratégicos y aprovechamiento de grandes superficies de equipamientos



Como una segunda posibilidad se propone la incorporación del 15 % del área de superficies (según porcentajes de ocupación de edificaciones) de equipamientos superiores a 5 hectáreas para el desarrollo de espacio público efectivo que pueden acondicionarse desde un libre acceso y dotación para el encuentro de los ciudadanos. En este sentido, estas áreas aumentarían en un 130% el espacio público efectivo, pasando de 1.183 hectáreas en la actualidad a 2.723 y que modificaría para la población del 2018 el indicador de espacio público efectivo por habitante de $3 m^2$ por habitante a $6,9$. Si se plantea como escenario la incorporación de estas áreas para el año 2027 como cumplimiento de los POT e incorporación de

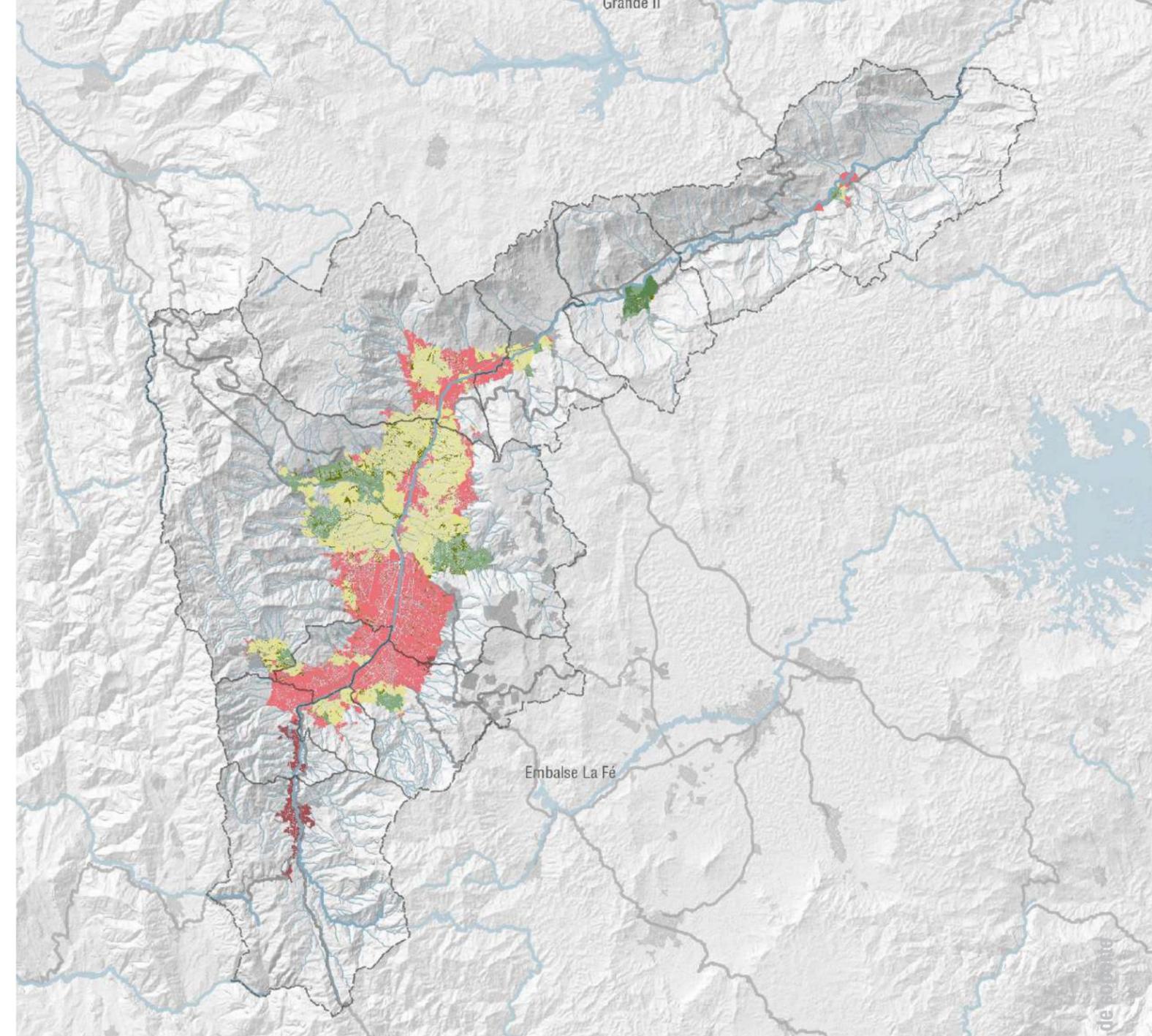
las superficies de equipamientos este indicador en relación al aumento de la población llegaría a los $6,2 m^2$ por habitante.

En consecuencia, ninguno de los dos escenarios para el año 2027 (fin de vigencia de los POT) cumpliría con los $6,8 m^2$ por habitante definidos en este ejercicio como un promedio de las metas municipales, ni muchos menos con las metas nacionales e internacionales. Sin embargo, otras áreas de la estructura ecológicas y zonas verdes asociadas a las vías pueden acondicionarse para el espacio público efectivo, estas áreas potenciales requieren de análisis de riesgos, tenencia, proximidad y accesibilidad para definir su viabilidad a la incorporación de los indicadores.



- Nivel de referencia para la sostenibilidad
- Demanda de espacio público efectivo
- Déficit de espacio público efectivo

Figura 438 ◀ Escenario con el pago de obligaciones de ley de espacio público efectivo, incorporación de proyectos estratégicos y aprovechamiento de grandes superficies de equipamientos. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Universidad Nacional de Colombia y AMVA (2018).

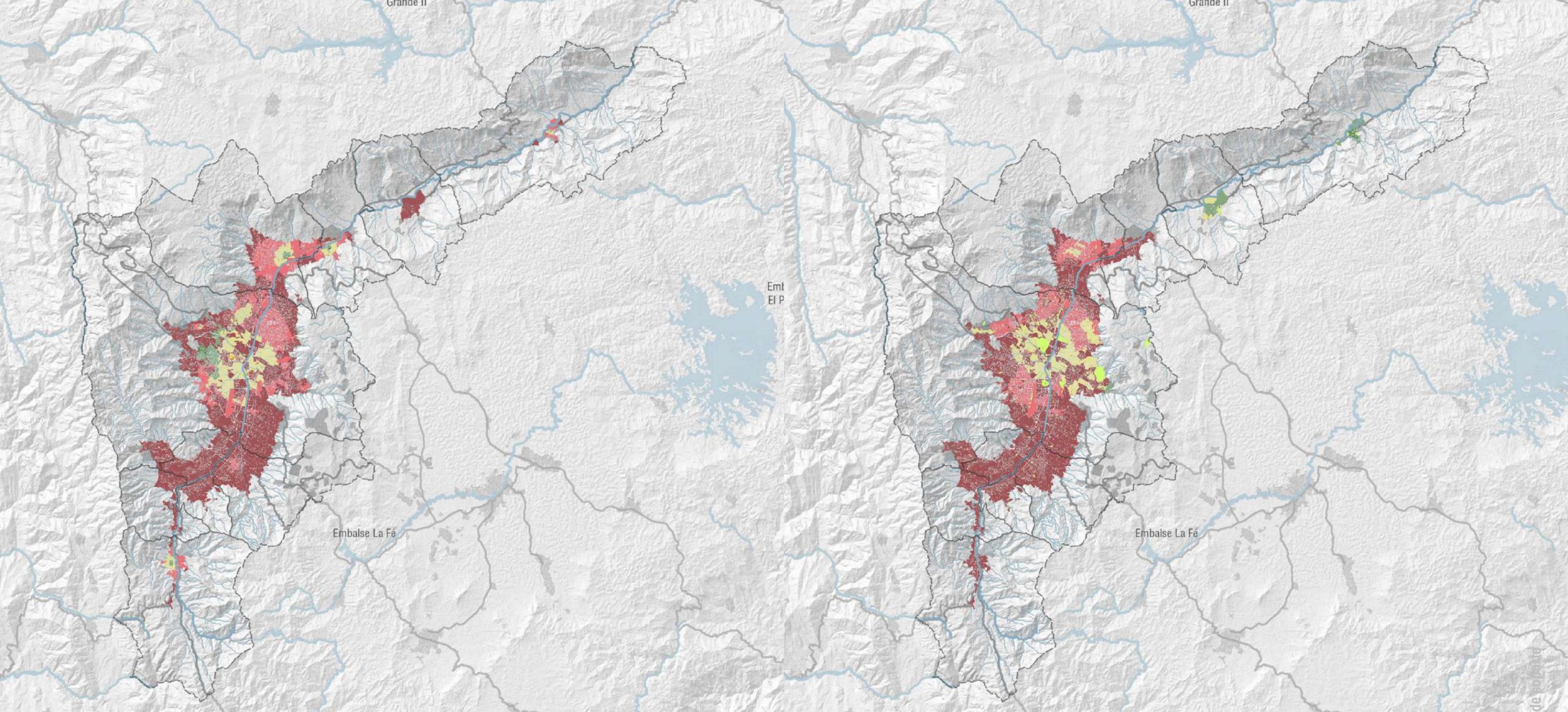


- Zonas verdes
- Nivel 1
- Nivel 2
- Nivel 3
- Nivel 4
- Nivel 5

Figura 439 ▲ Proximidad a zonas verdes. Fuente: urbam EAFIT (2018).

La proximidad mide el total de espacios públicos disponibles frente a la distancia, en metros lineales, para alcanzar estas dotaciones; los cinco niveles de este indicador representan las condiciones actuales de distribución y localización de los espacios públicos en el área metropolitana. De esta manera, es posible disminuir los desequilibrios territoriales, dotando de nuevo espacio público las zonas en niveles 4 y 5 y,

mejorando el espacio disponible en las zonas con los niveles 1 y 2 según el indicador. Esto para cada una de las categorías que define la norma y que determinan, al final, el espacio público efectivo real -no potencial- al que tienen acceso los habitantes en el área metropolitana.



Recomendaciones

Los índices de espacio público efectivo por habitante corresponden a metas de ciudad, estos funcionan para medir los estándares habitacionales en las concentraciones urbanas, por ello, no son la unidad de medida recomendada para unidades de análisis submunicipales, por ejemplo, polígonos barriales, ya que las condiciones de espacio público en este nivel, dependen de criterios de proximidad y de jerarquía para la prestación de servicios metropolitanos, de ciudad, zonal, local o barrial.

Es necesario formular un plan de espacio público metropolitano donde se relacionan las áreas

para la prestación del servicio según: los ámbitos -metropolitano, de ciudad, zonal, local o barrial-; según las categorías -parques, plazas y zonas verdes y, ambos, en función a la proximidad de la población a los distintos espacios, para consolidar un sistema jerárquico y accesible a la población del área metropolitana.

Identificar espacialmente los déficits y establecer las metas metropolitanas de espacio público a partir de módulos que relacionen el área y las distancias ideales de acceso para las distintas jerarquías y categorías del



Proximidad a plazas

- Plazas
- Nivel 1
- Nivel 2
- Nivel 3
- Nivel 4
- Nivel 5

Figura 440 ▲ Proximidad a plazas. Fuente: urbam EAFIT (2018).



Proximidad a parques

- Parques
- Nivel 1
- Nivel 2
- Nivel 3
- Nivel 4
- Nivel 5

Figura 441 ▲ Proximidad a parques. Fuente: urbam EAFIT (2018).

espacio público por habitante.

Definir criterios para la incorporación del espacio público rural que por sus condiciones de accesibilidad desde las áreas urbanas, pueden aumentar el índice de espacio público efectivo.

Establecer el pago de obligaciones urbanísticas a nivel metropolitano, permitiendo direccionar las intervenciones según la distribución espacial de los déficits en las categorías y ámbitos de espacio público efectivo como herramienta general para la consolidación de un sistema de espacio público. Además del pago de obligaciones de espacio

público para el área metropolitana en m²/habitante, en coherencia con las metas municipales definidas en los planes de ordenamiento territorial.

Se deben determinar módulos que relacionen el área y la distancia ideal para cada categoría, es decir, metros cuadrados de parques, plazas y zonas verdes por habitante, y la impedancia, en tiempo o distancia, para lograr un acceso real a estos espacios.



Espacio equipamientos general

Los equipamientos colectivos se destinan para el desarrollo de las actividades básicas sociales de la comunidad, sea un espacio público o privado que presta un servicio público. Dentro de las categorías homologadas para los municipios del Valle de Aburrá se establecen módulos que permitan establecer criterios de la demanda del servicio según el

grupo etaria, la población a la que están enfocados los servicios y los horarios. A diferencia del espacio público, los módulos de equipamientos no se identifican según la superficie de suelo destina para este uso sino por los metros cuadrados construidos por categoría de equipamiento en relación a la población según los criterios descritos.

Módulos asociados

Demanda equipamientos (m ² construidos/hab)			
Equipamiento	m ² /hab	Equipamiento	m ² /hab
Adulto mayor	7	Educación secundaria	5,7
Comercio	0,4	Administrativo	0,55
Comunitario	1,3	Recreación y deportes	1
Culto	0,7	Salud	7
Cultural	0,7	Seguridad y convivencia	0,14
Educación pre-escolar	5,7	Social	0,7
Educación primaria	5,7	Transporte público	0,4

Límites

7.879.352,35 m² de equipamientos construidos actuales



Fórmula de cálculo

Metros cuadrados de equipamientos construidos / Número de habitantes



Fuentes de información

Información PEMOT 2017, Administraciones municipios del Valle de Aburrá, Planes de Ordenamiento y restitución con imágenes.

Fuentes construcción de criterios SEDEDOL (Secretaría Desarrollo Social México), CAT-MED (Changing Mediterranean Metropolis Around Tiem), Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, La ciudad de los ciudadanos, DTS Sistema de Equipamientos POT Medellín.

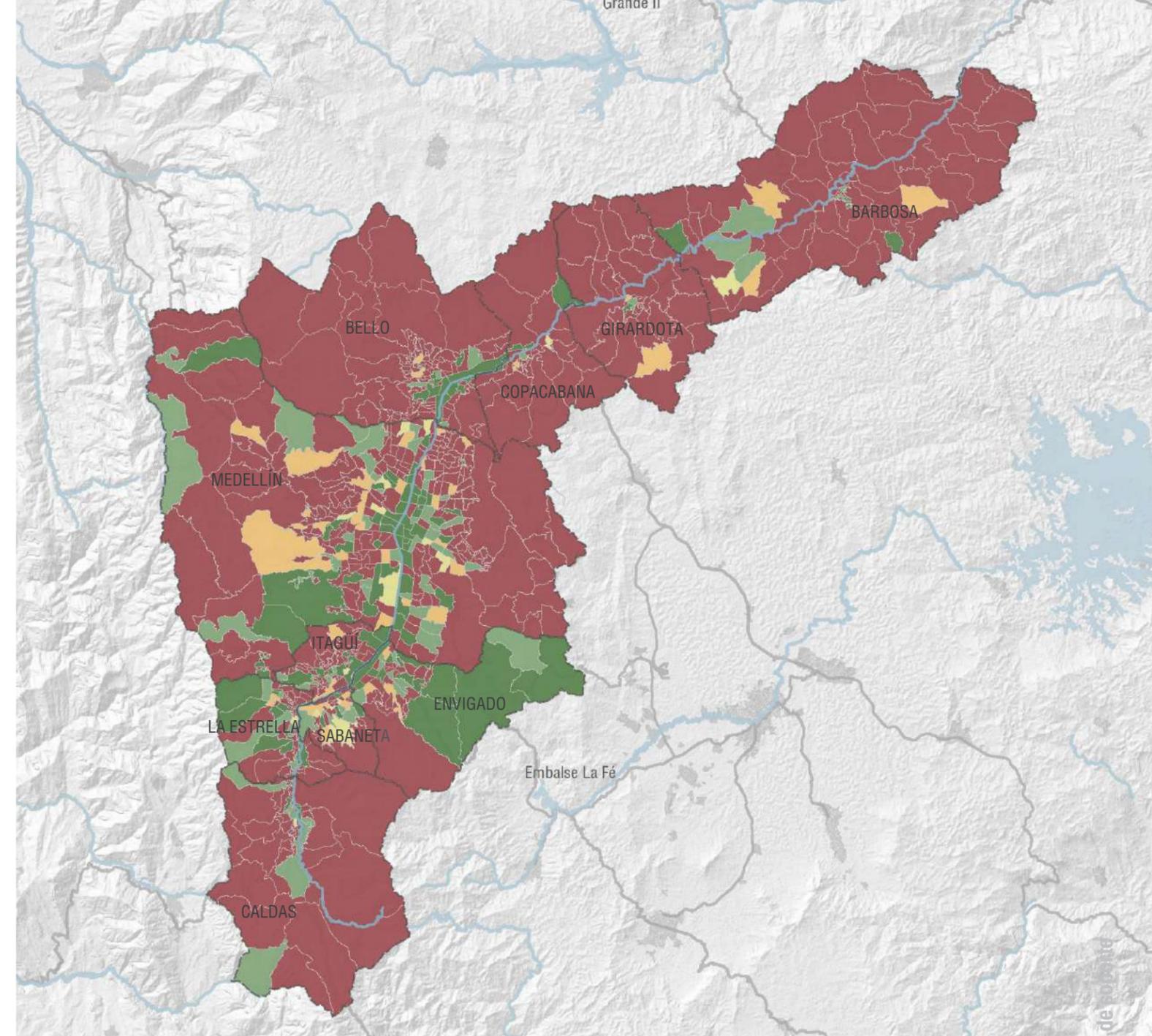


Índice de relación de soporte municipal 2018



Figura 442 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la variable de equipamientos. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Índice relación de soporte 2018 Equipamientos básicos sociales



Índice de relación de soporte para la variable equipamientos por unidad de análisis



Figura 443 ▲ Índice de relación de soporte para la variable equipamientos por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urbam EAFIT (2018).

Escenario tendencial

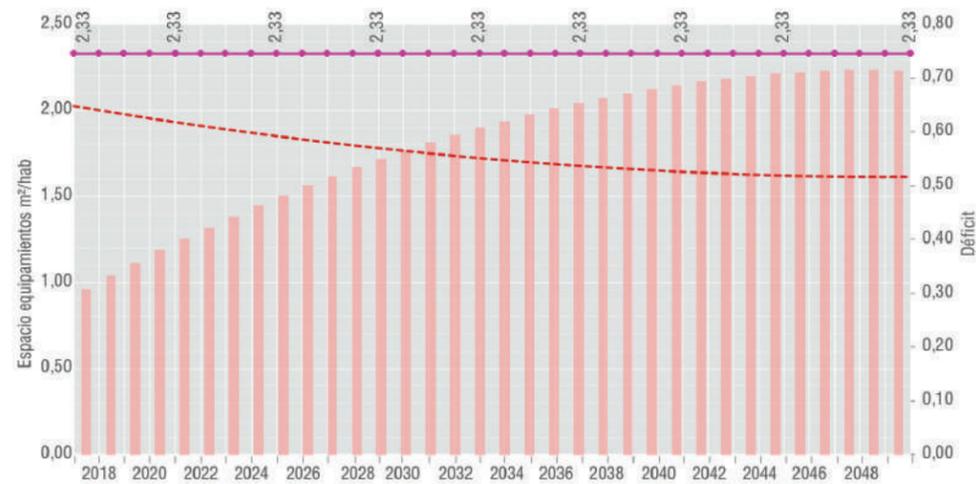


Figura 444 ◀ Relación entre la demanda de equipamiento y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la oferta de equipamientos del Valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en PEMOT 2017, Administraciones municipios del Valle de Aburrá, Planes de Ordenamiento y restitución con imágenes.

El análisis de la capacidad de soporte de los equipamientos en el Valle de Aburrá se concentra en la prestación de servicios básicos sociales: educación, salud y recreación y deporte. También se analizan los espacios de equipamientos en general, considerando como meta el promedio de los metros cuadrados construidos entre todas las categorías de equipamiento (ver tabla de eficiencias de equipamientos). Dentro de la normativa nacional y local no se establecen módulos concretos para definir los m² por habitante que se requieren para cada servicio, como tampoco se establece una meta a escala municipal o metropolitana de los m² necesarios, lo que hace necesario una identificación de referencias internacionales de áreas en relación a la población según el servicio que se presta, además de la búsqueda de criterios para definir los módulos en un contexto local.

Los servicios de educación agrupan las categorías de pre-escolar, escolar, media y superior. En este sentido, los establecimientos que ofrecen educación pre-escolar no demuestran un déficit en los m² construidos en relación a la población que demanda estos servicios, la implementación de nuevas áreas se hace necesaria a partir del año 2019. El nivel escolar (educación primaria) se encuentra en déficit en la actualidad siendo necesario un 47% más del área a la actual. Los colegios (educación secundaria)

cuentan con un déficit del 28% en su área construida y la educación superior y media en un 60%. Por su parte, las áreas construidas para la prestación de servicios de salud cuentan con un déficit del 18% de su área en relación con el total de la población que demanda este servicio y tomando como criterio las tasas de morbilidad del Valle de Aburrá como un criterio para establecer la verdadera demanda del servicio. Las áreas para la prestación de servicios de recreación y deporte mantienen una mejor relación entre la oferta y la demanda, para este servicio no se identifica déficit, incluso la implementación de áreas para este uso en el total del Valle de Aburrá solo se hace necesario a partir del año 2022 teniendo en cuenta el aumento de la población.

En términos generales para las categorías determinadas de equipamientos en el Valle de Aburrá, se cuenta con un déficit del 18% de los m² construidos para el 2018. Dentro de la distribución de equipamientos la zona sur mantiene las mejores condiciones, cumpliendo en términos generales con los 2,3 m² de equipamientos por habitante, haciendo crítica la relación oferta y demanda a partir del año 2024. Para la zona centro, Medellín, el déficit es del 13% mientras que la zona norte tiene la situación más crítica con un déficit de 45%, siendo aún más crítica en la prestación de servicios de educación escolar (primaria).

Escenario 1-Pago de obligaciones de ley para equipamientos

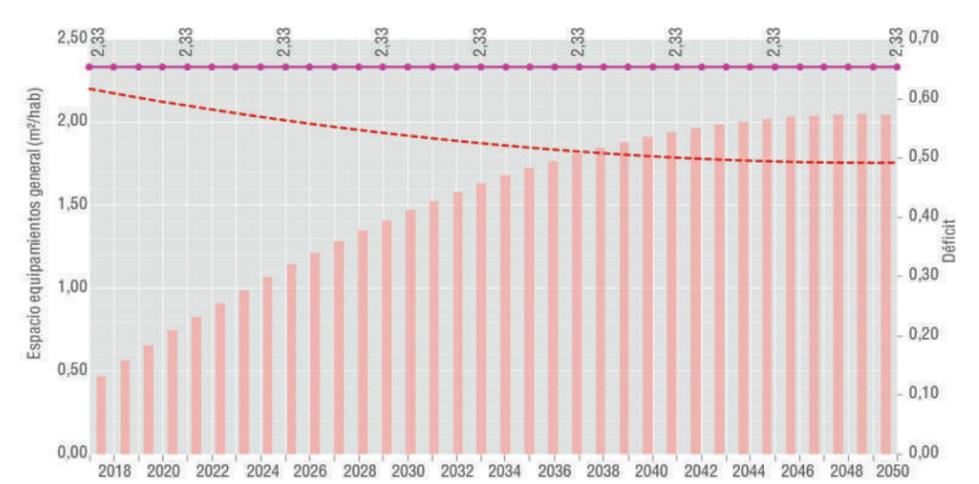
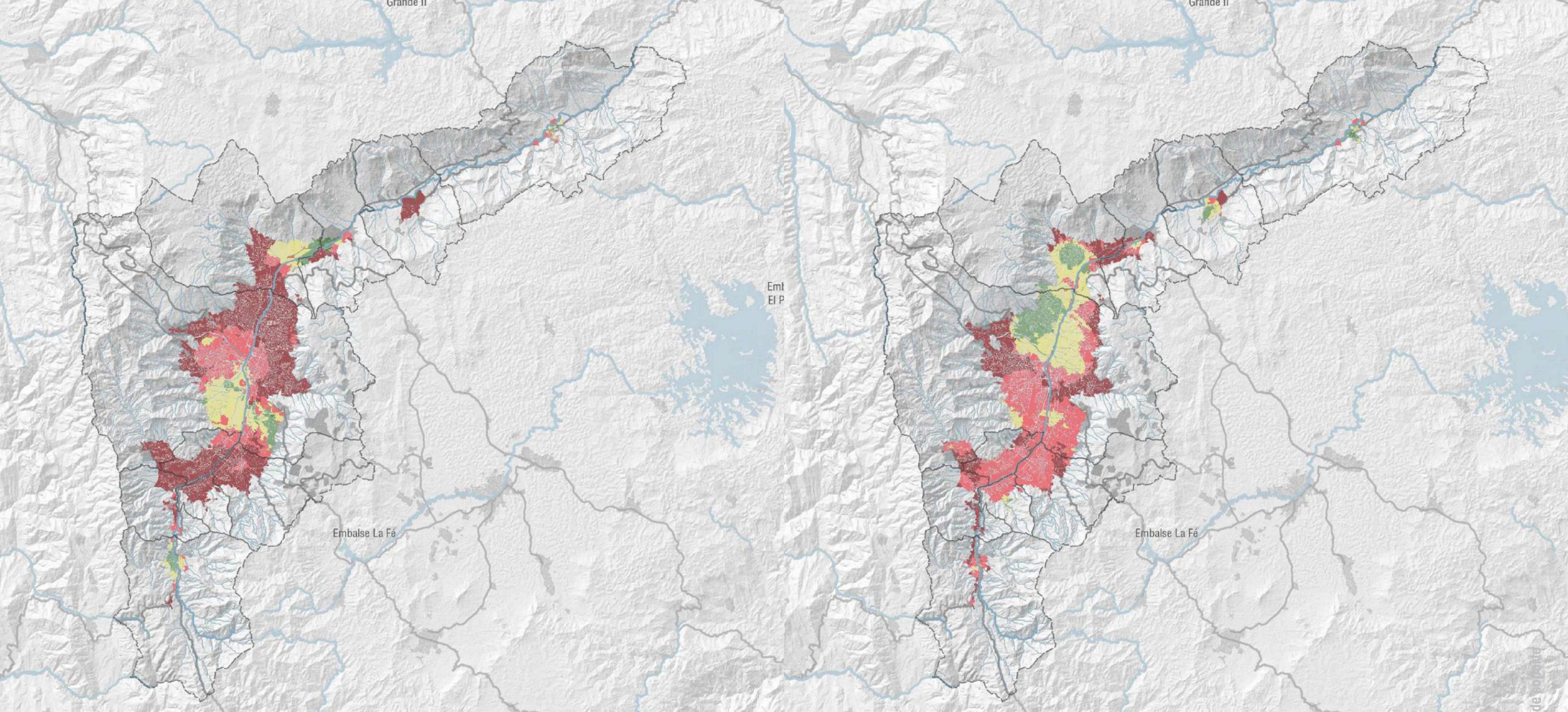


Figura 445 ▶ Escenario con el pago de obligaciones de ley para equipamientos. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Teniendo en cuenta que el Valle de Aburrá y sus municipios no establecen metas de áreas construidas de equipamientos por habitantes, no se define una proyección en relación a la población. En los documentos de los POT y planes de desarrollo se manifiestan las intenciones de generar una mayor cantidad de equipamientos para ciertos servicios, sin embargo, no se especifica su localización, ámbito ni categoría. En este sentido se establece como escenario de obligaciones de ley el cumplimiento del pago de cargas de los planes parciales, teniendo en cuenta la normativa para cada municipio, según los aprovechamientos en relación a los tratamientos urbanos y que el pago de las obligaciones se realiza

en sitio. De esta manera el pago de obligaciones para equipamientos construidos por planes parciales en el Valle de Aburrá es de 689.623 m², lo que aumentaría en un 9% el valor actual, contando con un total de 8.568.977 m² de equipamientos general. En relación con la población y el modulo establecido de 2,3 m² de equipamiento por habitante, con este escenario se lograría en el año 2018 un aumento del 2.1 m² por habitante a 2.2 y para el año 2027 (vigencia de los POT) a un 1,8 m² por habitante. De esta manera, la incorporación del pago de obligaciones en equipamientos construidos de los planes parciales no cubre el déficit en el Valle de Aburrá.



La proximidad mide el total de m² de equipamientos disponibles frente a la distancia, en metros lineales, para alcanzar estas dotaciones; los cinco niveles de este indicador representan las condiciones actuales de distribución y localización de los equipamientos de educación superior, salud y, recreación y deportes en el Área Metropolitana.

A partir de los resultados obtenidos se evidencia para los equipamientos de educación superior, el efecto que sobre la proximidad, causa la

disponibilidad en el territorio de cualquier dotación de este tipo, evidenciando, no sólo la concentración de estos equipamientos en la zona central del Área Metropolitana, sino también el papel de las instituciones localizadas en las laderas occidental y oriental del Valle de Aburrá y su aporte en la mejora de las condiciones de accesibilidad.

En el caso de los equipamientos de salud y, recreación y deporte, los niveles de proximidad están determinados por la distribución histórica que estas



Figura 446 ▲ Proximidad a equipamientos deportivos y recreativos. Fuente: urbam EAFIT (2018).



Figura 447 ▲ Proximidad a equipamientos de salud. Fuente: urbam EAFIT (2018).

dotaciones han tenido en el área metropolitana. En el caso de los primeros, destacan la zona noroccidental de Medellín y la zona central del municipio de Bello, las cuales tienen una mayor disponibilidad y por tanto, una mejor localización estratégica frente al resto de zonas en el área metropolitana. Para los segundos, los de recreación y deporte, por su área y por la distribución en el territorio, se genera una relación frente a la distancia que castiga considerablemente los niveles de proximidad, de este modo, solo las zonas con cercanía a equipamientos de recreación de

escala metropolitana tienen un buen nivel de acceso, en la medida en que el tamaño de dichos espacios, determina el valor absoluto del indicador.

En ese sentido, es posible disminuir los desequilibrios territoriales, dotando las zonas en niveles 4 y 5 y, aumentando la capacidad de los equipamientos en las zonas con los niveles 1 y 2 según los resultados del indicador.

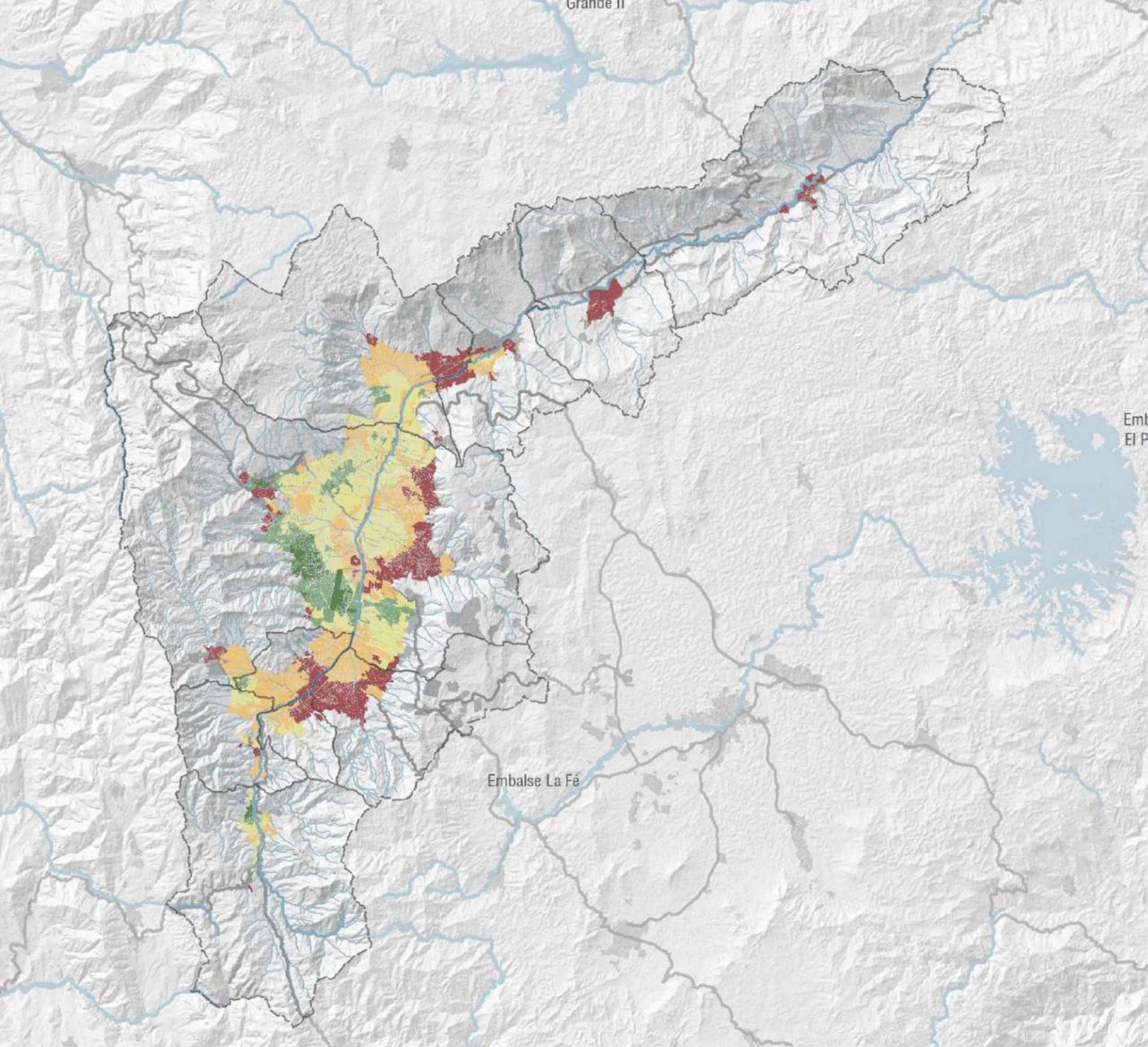


Figura 448 ▲ Proximidad a equipamientos de educación superior Fuente: urban EAFIT (2018).

Recomendaciones

Formular un plan de espacio público y equipamientos para el Área Metropolitana, considerando que son elementos constitutivos artificiales o construidos del sistema de espacio público y, que deben articularse en una escala metropolitana, con los medios de transporte de mediana y alta capacidad con el fin de generar un reparto de las actividades públicas y colectivas para el fácil acceso de toda la población.

Homologar la clasificación de las categorías y ambitos de los equipamientos con el fin de integrar los servicios de manera sistémica en la red urbana a través de políticas claras.

Diferenciar los metros cuadrados de superficie de suelo para equipamientos y los metros cuadrados construidos para la prestación de servicio, según la categoría de equipamientos definir el porcentaje de ocupación del lote, en una relación de las áreas construidas y las áreas vacías para la prestación de servicio de forma óptima como en el caso de equipamientos educativos o recreativos. De esta manera las grandes superficies de equipamientos pueden ser destinadas a espacios públicos efectivos sin intervenir en la prestación de los servicios. Interpretar los equipamientos según los programas y categorías para definir módulos de los servicios que se prestan teniendo en cuenta: grupos etarios, jornadas de uso de los espacios, poblaciones a las que se enfoca (población en edad escolar, edad de

trabajar, población económicamente activa, índices de morbilidad, entre otros) la población inmediata y la población flotante que pueden atender dichas edificaciones para definir módulos y metas de metros cuadrados construidos por equipamiento.

Reconocer la función sistémica de las diferentes categorías como la salud, la educación y la recreación. Teniendo en cuenta que cada una de ellas cuentan con módulos de áreas diferentes y distancias mínimas de la población, en relación con los ámbitos según sea el nivel que se desea suplir: metropolitano, ciudad, zonal, local o barrial.

Definir en el pago de obligaciones los m² de equipamientos a construir, pero desde la especificación de ámbitos y categorías para cumplir las metas metropolitanas, teniendo en cuenta la localización de las áreas en relación al Valle de Aburrá y la población que se atiende en el contexto.

Definir criterio de proximidad para cada uno de los servicios, contemplando la localización estratégica para la construcción de nuevos equipamientos, donde beneficie la mayor cantidad de población local y flotante teniendo en cuenta el sistema de transporte público metropolitano.



Demanda de gas

Consumo total de gas natural por red en el Valle de Aburrá, doméstico, industrial, comercial y de otros usos.

Módulos asociados

Se ilustran en la tabla a continuación

Consumo de gas m ³ /mes							
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	% no residencial
Barbosa	4,23	3,72	3,65	4,61	0	0	22%
Girardota	4,27	3,77	3,56	4,77	4,75	0	33%
Copacabana	4,51	4,42	3,79	6,48	9,67	8,51	23%
Bello	3,79	3,75	3,3	3,26	3,65	0	14%
Medellín	3,96	4,11	3,78	3,67	4,47	7,41	26%
Envigado	4,43	4,4	4	4,25	5,75	12,5	18%
Itagüí	3,92	3,81	3,49	3,77	0	0	35%
Sabaneta	4,77	4,22	3,95	4,7	9,09	0	34%
La Estrella	3,66	4,18	3,71	4,75	8,81	11,64	45%
Caldas	3,9	4,12	4,11	3,68	3,1	0	24%

Límites

Sobre las reservas nacionales probadas, se aplica un factor de distribución que representa la demanda de Antioquia sobre la demanda nacional: 5%, y la demanda del Valle de Aburrá sobre la demanda de Antioquia: 83%

Fórmula de cálculo

Consumo total de gas = $M_{gas} \cdot P_i$

M_{gas} = Modulo de consumo de gas
 P_i = Población

Fuentes de información

EPM (2016)

Índice relación de soporte 2018

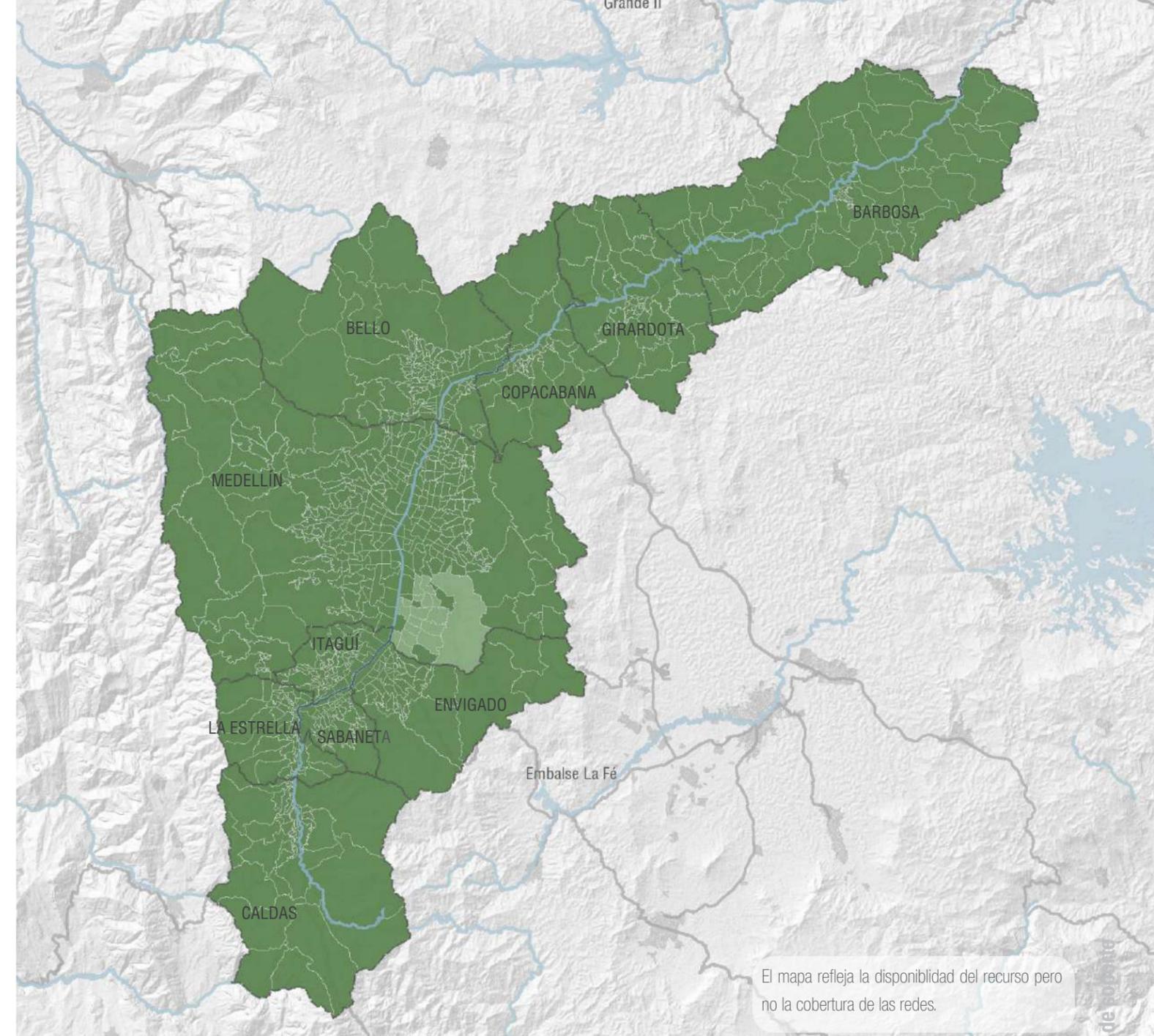
Disponibilidad de gas



Índice de relación de soporte municipal 2018

- Sostenible (0-0,50)
- Sostenible (0,51-0,95)
- En el umbral (0,96-1,05)
- Insostenible (1,06-1,50)
- Insostenible (>1,50)
- No aplica

Figura 449 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la variable de consumo de gas Fuente: urbam EAFIT (2018).



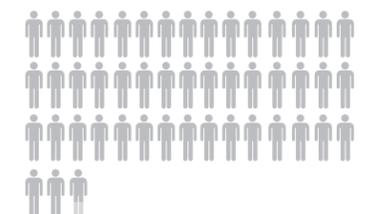
Índice de relación de soporte para la variable disponibilidad de gas por unidad de análisis

- Sostenible (0-0,50)
- Sostenible (0,51-0,95)
- En el umbral (0,96-1,05)
- Insostenible (1,06-1,50)
- Insostenible (>1,50)
- No aplica

Figura 450 ▲ Índice de relación de soporte para la variable disponibilidad de gas por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urbam EAFIT (2018)

El mapa refleja la disponibilidad del recurso pero no la cobertura de las redes.

Tamaño poblacional sostenible



Período de sostenibilidad

2040

Escenario tendencial

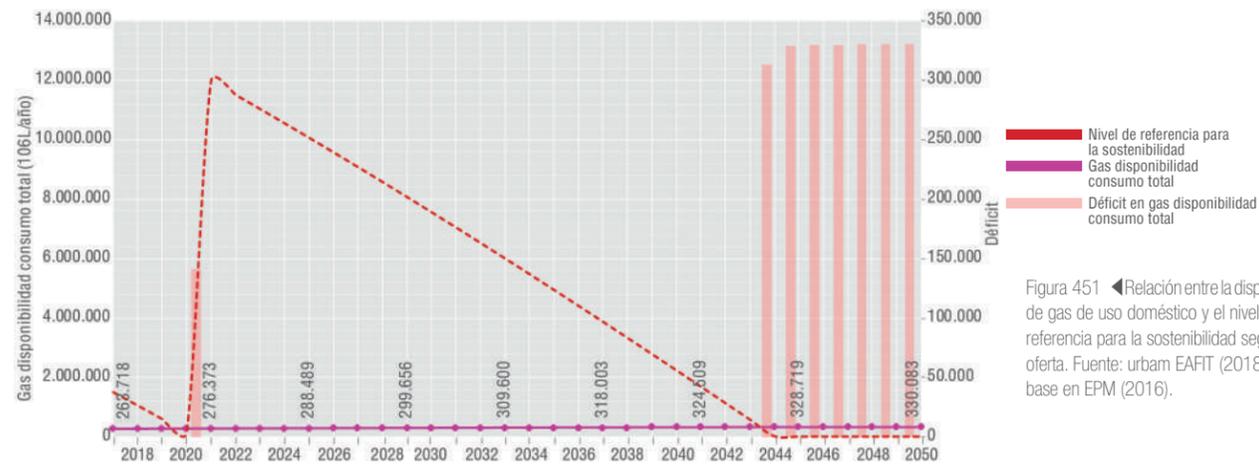


Figura 451 ◀ Relación entre la disponibilidad de gas de uso doméstico y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la oferta. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en EPM (2016).

El escenario tendencial muestra que un posible déficit en el año 2020 se resolvería con la entrada

en explotación de nuevos campos de esta forma hay reservas suficientes del recurso hasta el año 2044.

Escenario 1 - Escenario con agotamiento del recurso en el año 2025

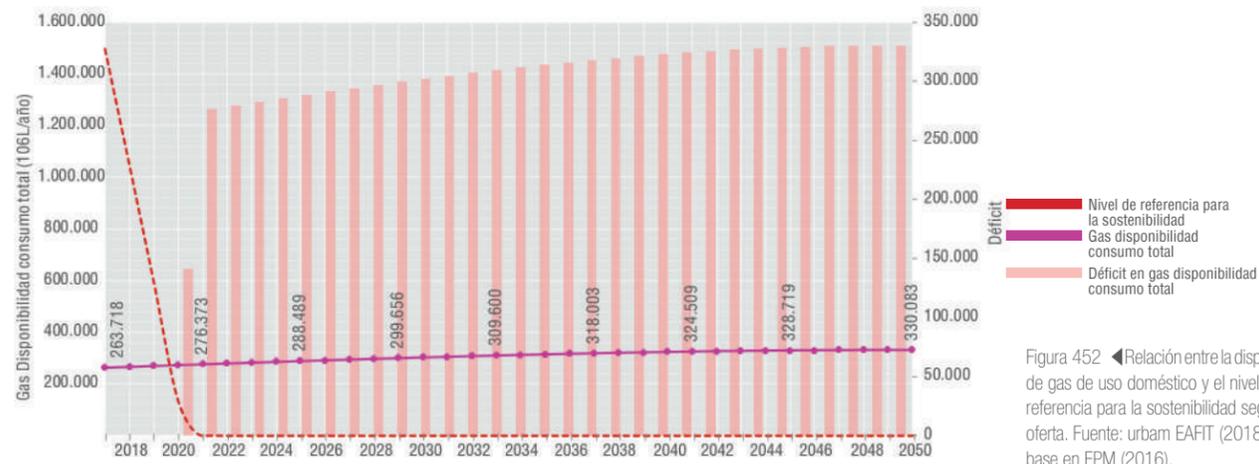


Figura 452 ◀ Relación entre la disponibilidad de gas de uso doméstico y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la oferta. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en EPM (2016).

La UPME propone un escenario donde la incorporación de reservas se da en las cuencas donde se ubican la mayor parte de las reservas probadas, siguiendo con la tendencia histórica de concentración en los Llanos.

Orientales y Magdalena Medio, aunque éste último en una magnitud inferior; en este caso, no entran a explotación los campos "offshore" en el Caribe y el recurso se agota alrededor del año 2025.

Recomendaciones

El uso del gas natural para el consumo doméstico, industrial y vehicular, ha crecido de manera significativa en los últimos 15 años. En el escenario de mantenimiento de la demanda promedio actual por usuario, las reservas probadas en Colombia, se agotarían en la próxima década. Dadas las ventajas de este combustible, por su alta eficiencia y bajas emisiones de MP 2,5, es importante buscar nuevas reservas, alternativas de provisión e incluso, fuentes

locales como la descomposición de los residuos orgánicos urbanos. En cualquier caso, la expansión de las redes domésticas o el estímulo a su uso como combustible para vehículos, debe reconocer las estimaciones de disponibilidad proyectadas por la UPME.



Consumo de energía (total - hogares)

Energía eléctrica consumida por usuarios domésticos, comerciales e industriales en zonas urbanas y rurales

Módulos asociados

Consumo promedio por usuario

Límites

Capacidad instalada de transformadores

Fórmula de cálculo

$$CE(U) * P * F_P / CT$$

CE(u) - Consumo de energía promedio por tipo de usuario en cada unidad de análisis

P=Población por unidad de análisis

F_P=Factor de conversión unidades de potencia

CT=Capacidad de los transformadores en la unidad de análisis

Proyectos de expansión EPM

Corto plazo:

Ampliación subestación Guayabal, 2019: 22.5 MVA

Ampliación subestación Central, 2020: 60MVA

Ampliación subestación Rodeo, 2020: 60 MVA

Reconfiguración Piedras Blanca, Villa Nueva

Redistribución de carga San Diego

Redistribución de carga Guayabal a Rodeo - Caldas

Redistribución de carga Caldas - Itagüí

Redistribución de carga Envigado a Itagüí y Ancón

Permanentemente se balancea la carga de los transformadores

Largo plazo:

Nueva subestación Ayurá, 2022: 60 MVA

Nueva subestación Caldas 2022

Nueva subestación Industriales, 2025: 90 MVA

Nueva subestación Villa Hermosa, 2025: 60 MVA, (en identificación)



Figura 453 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la variable de consumo de energía hogares Fuente: urbam EAFT (2018).

Fuentes de información

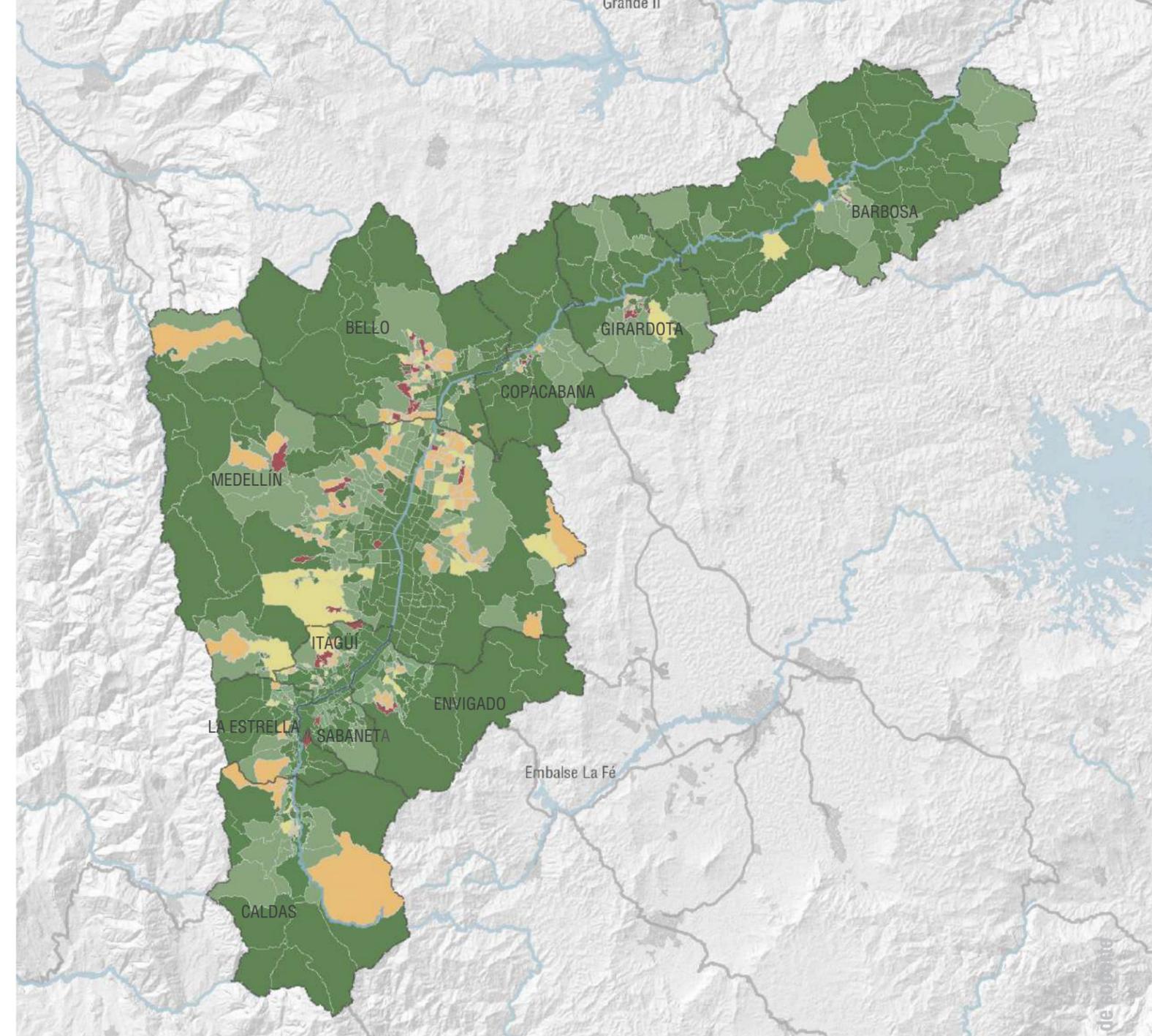
International Energy Agency, 2016. Energy Technology Perspectives 2016. Towards Sustainable Urban Energy Systems XM. Informes anuales de Gestión Sostenible. Informe Operación del SIN y Administración del Mercado. <http://informesanuales.xm.com.co/SitePages/Default.aspx>

Índice relación de soporte 2018

Consumo de energía hogares



Consumo de energía total

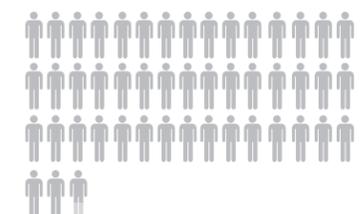


Índice de relación de soporte para la variable consumo de energía hogares por unidad de análisis



Figura 454 ▲ Índice de relación de soporte para la variable consumo de energía hogares por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urbam EAFT (2018).

Tamaño poblacional sostenible



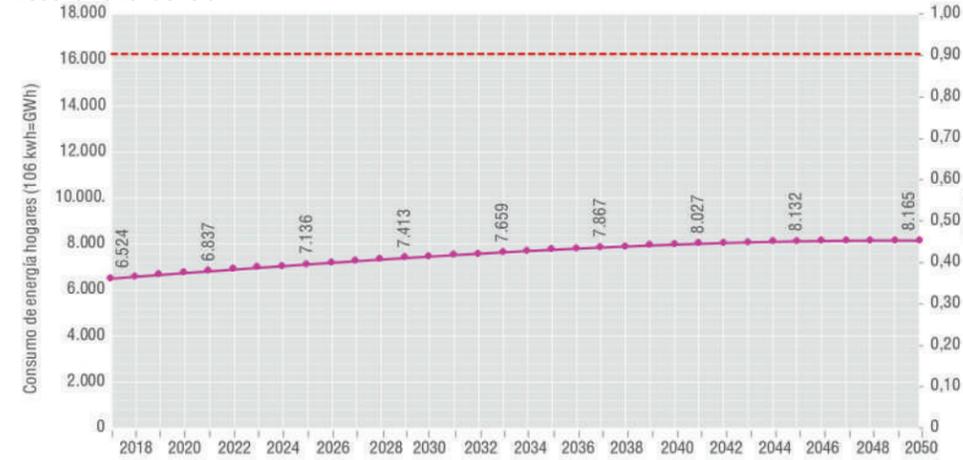
4.770.160 habitantes

Período de sostenibilidad

2040

módulos, límites e índices de relación de soporte

Escenario tendencial



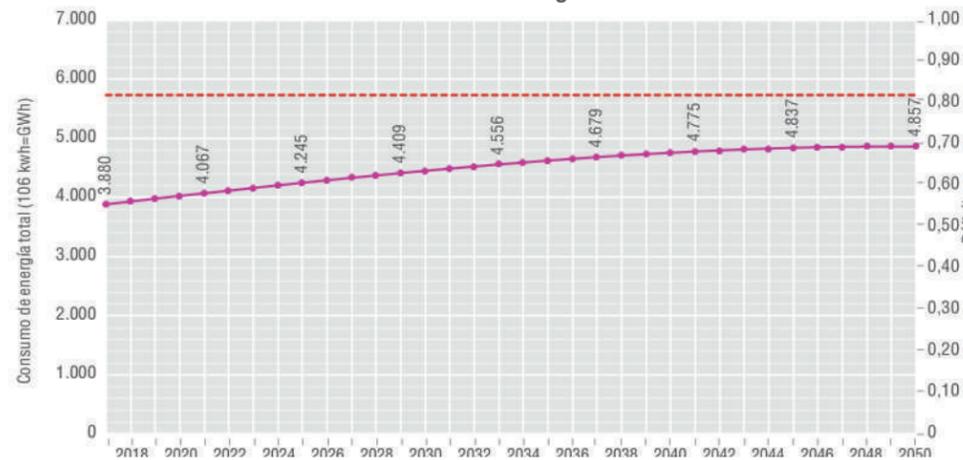
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Consumo de energía hogares
■ Déficit en consumo de energía hogares

Figura 457 ◀ Relación entre el consumo de energía de hogares y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la oferta. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en Gobernación de Antioquia (2016); EPM (2013).

En su calidad de distribuidor de energía para la mayor parte de los usuarios residenciales, industriales, comerciales e institucionales del Valle de Aburrá, Empresas públicas de Medellín cuenta con un sistema de monitoreo continuo del consumo de energía asociado a cada subestación. Este sistema del permite detectar las zonas donde la capacidad instalada es cercana al consumo pico y por lo tanto, se requerirá ampliación.

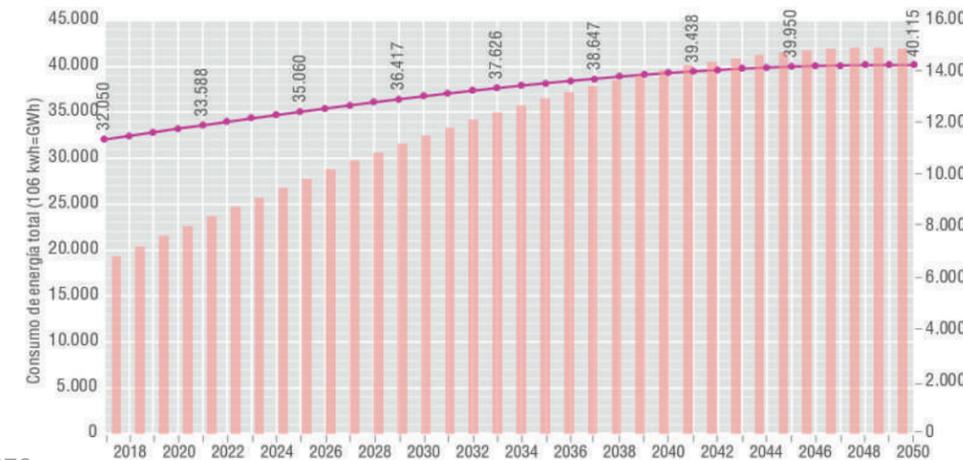
De esta forma se ha detectado que las subestaciones Guayabal, Central, Rodeo, Piedras Blancas y Villa Nueva requieren ampliación antes del año 2020. Así mismo, se requiere una redistribución de carga en San Diego, Guayabal, Caldas, Itagüí, Envigado y Ancón. Para el año 2022 se prevé la construcción de nuevas subestaciones en Ayurá y Caldas y en el año 2025, en Industriales y Villa Hermosa.

Escenario 1-Crecimiento del 50% en la demanda energética



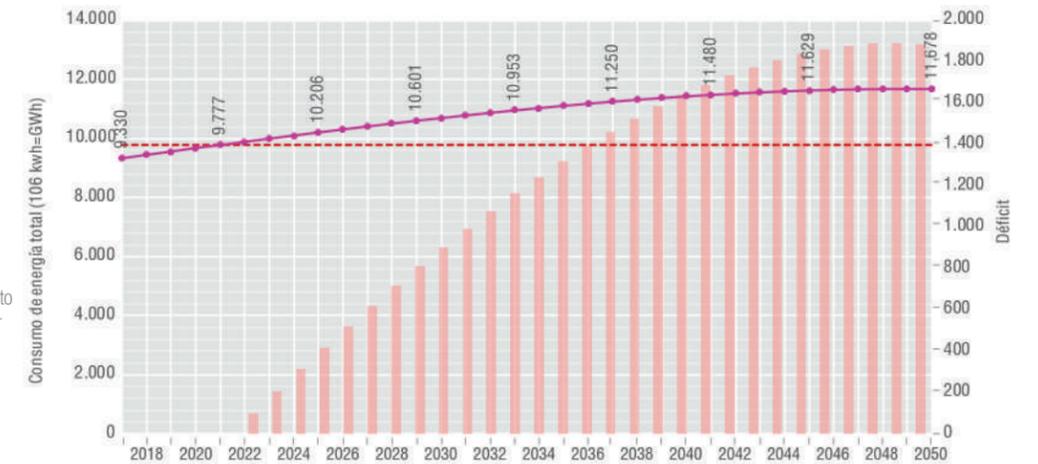
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Consumo de energía total
■ Déficit en consumo de energía total

Figura 455 ◀ Escenario con un crecimiento del 50% en la demanda energética del norte del valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFIT (2018).



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Consumo de energía total
■ Déficit en consumo de energía total

Figura 456 ◀ Escenario con un crecimiento del 50% en la demanda energética del centro del valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFIT (2018).



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Consumo de energía hogares
■ Déficit en consumo de energía hogares

Figura 458 ▶ Escenario con un crecimiento del 50% en la demanda energética del sur del valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Teniendo en cuenta la tendencia global de aumento constante en el consumo de energía per cápita, se modela un crecimiento del 50% en la demanda energética durante el horizonte de análisis, para del

norte, centro y sur del Valle de Aburrá. Este escenario conduce a déficits en la oferta, excepto para el caso del norte. Esta tendencia favorece el proceso de industrialización en este sector del valle.

Recomendaciones

El sistema de planeación de la infraestructura de EPM permite inferir seguridad en el suministro del servicio para el Valle de Aburrá. El análisis de los IRS locales muestra que la zona norte es la que tiene una mayor capacidad instalada respecto al crecimiento proyectado de la demanda. La limitación en este aspecto está asociada a la capacidad nacional de generación de energía. La firma XM, administradora del Mercado de Energía Mayorista en Colombia, afirma que al no entrar en operación la central de generación del proyecto Hidroituango, Colombia debe buscar nuevas alternativas de generación o tendrá déficit en el año 2022. Esta situación invita a reconocer el valor del ahorro y uso eficiente del recurso como estrategia de seguridad en el suministro. La agencia internacional de energía enuncia estrategias de ampliación al

Valle de Aburrá, como se enuncia: (i) El potencial técnico para la energía solar FV en tejados podría suministrar hasta un 32% de la demanda eléctrica urbana, (ii) el gas proveniente de las aguas negras y residuales todavía son rentables actualmente, y pueden desempeñar un papel relevante a la hora de satisfacer las necesidades urbanas de electricidad, calor y frío, (iii) Las ciudades ofrecen la posibilidad de desarrollar conocimientos técnicos locales para suministrar tecnologías eficientes para edificios, así como beneficiarse de las economías de escala debido a la concentración de la demanda (iv) la actualización de sistemas de iluminación, equipos de producción industrial, electrodomésticos y sistemas de climatización de edificios puede reducir entre un 10 y un 40% el consumo energético global.



Índice general de resiliencia en zonas de amenaza natural

Porcentaje del área urbanizada por unidad de análisis, por fuera de las zonas de amenaza natural.

Módulos asociados

Para esta variable no hay módulos asociados.

El IRS propuesto por el modelo Densurbam se construyó a partir de los siguientes supuestos:

1. La ocupación de cada unidad de análisis no puede darse en lugares donde se presentan amenazas naturales según el POMCA. Un IRS igual a 1, significa que el 100% del área ocupada de la unidad de análisis, se ubica en zonas libres de amenaza.

Límites

Según la normatividad actual, estas zonas no debieran ser ocupadas por la población.

Fórmula de cálculo

Índice General de Resiliencia frente a Am Nat EEB = $1/(AZNA/ATO)$

AZNA: área ocupada zona no amenazada
ATO: área total ocupada en la unidad de análisis i.

Fuentes de información

POMCA (2018)

Índice relación de soporte 2018

Índice de resiliencia

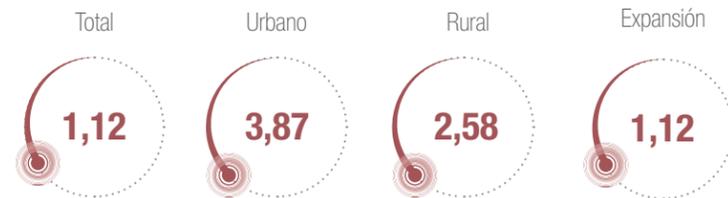


Figura 459 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la variable índice general de resiliencia frente a amenazas naturales. Fuente: urbam EAFIT (2018).

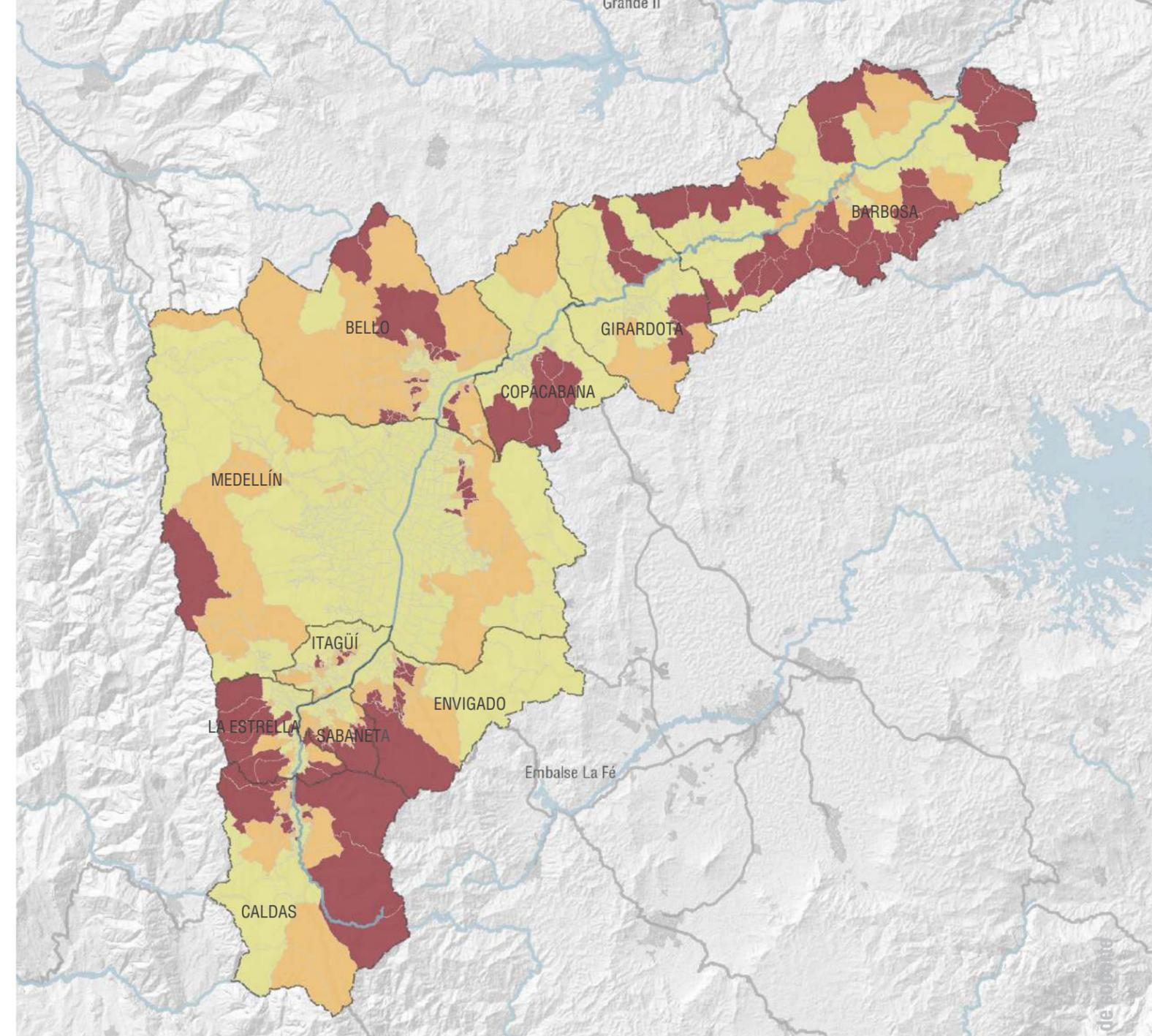
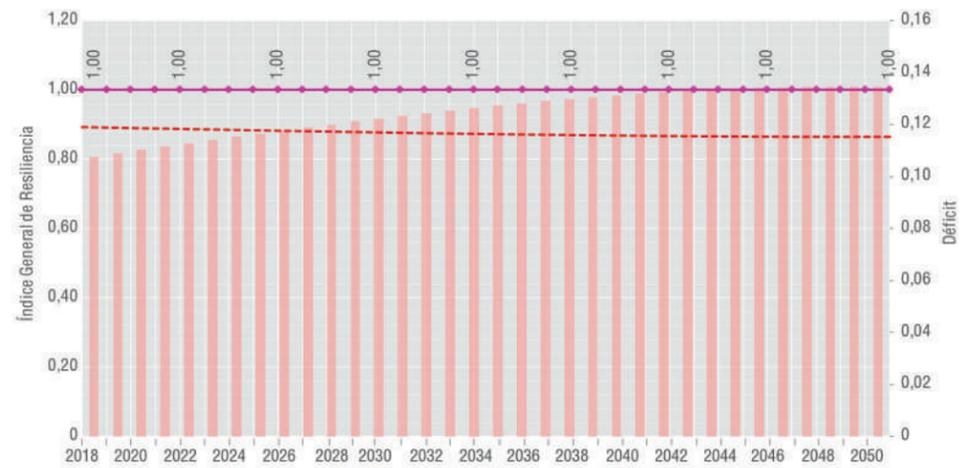


Figura 460 ▲ Índice de relación de soporte para la variable resiliencia por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urbam EAFIT (2018)

Escenario tendencial



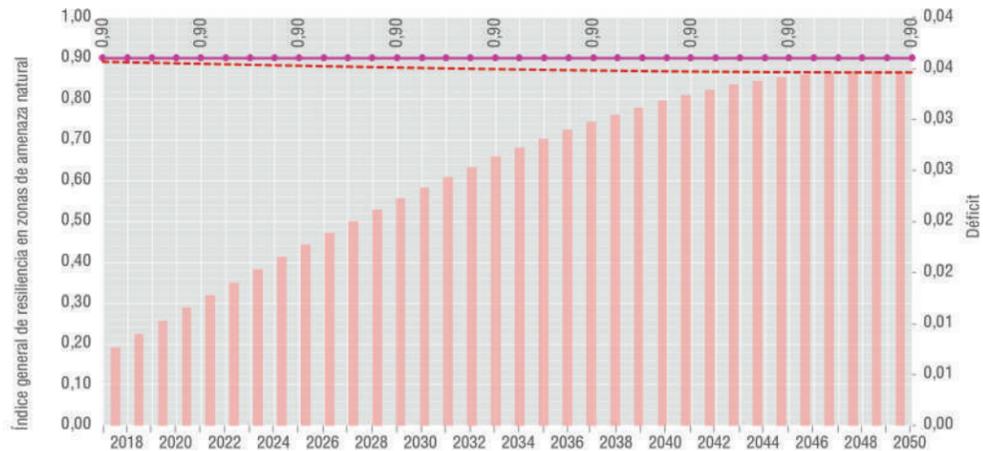
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Índice de resiliencia
■ Déficit en el índice de resiliencia

Figura 461 ◀ Relación entre el índice general de resiliencia y el nivel de referencia para la sostenibilidad. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en POT Municipales; AMVA y Universidad Nacional (2018)

Actualmente, aproximadamente 11% de la población que habita el valle de Aburrá se encuentra localizada en zonas de amenaza alta. Si esta tendencia continua, para el año 2040, cerca de 14% de la población que habitará el valle de Aburrá, estará expuesta a alguna amenaza natural por la ocupación

de estas zonas; esto bajo un escenario tendencial, sin considerar factores exógenos como migración de población por cuestiones de violencia, atraktividad del territorio y búsqueda de mejores condiciones de vida, entre otros.

Escenario 1 - Un 10% menos de la población ocupa zonas con amenaza alta



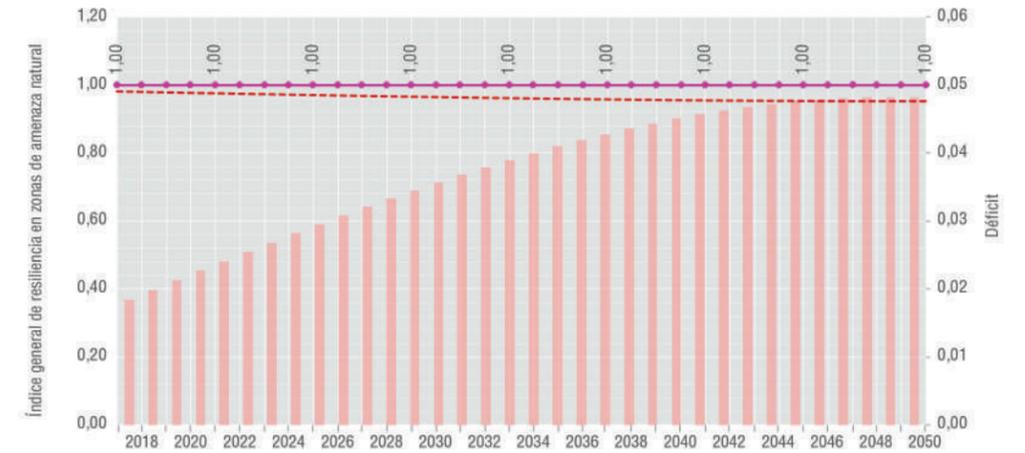
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Espacio para equipamientos
■ Déficit de espacio para equipamientos

Figura 462 ◀ Un 10% menos de la población ocupa zonas con amenaza alta. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Suponiendo que 10% menos de la población que actualmente ocupa las zonas de amenaza alta (HSD2=0,9), por cuestiones como mayor conciencia de la población de los riesgos que enfrenta (por campañas educativas en esta materia); mayores controles de los entes públicos y por lo tanto una aplicación más efectiva de la normatividad, o mayores ingresos monetarios de la población que

le permiten ubicarse en otra zona; conducirían a que la exposición disminuya y con ello el IRS mejore (sea más bajo) frente al escenario tendencial. Los déficits en el marco de análisis de esta variable deben ser entendidos como el incremento en el riesgo debido a una mayor ocupación de las zonas de amenaza alta y por lo tanto una mayor exposición de los habitantes.

Escenario 2 - Mejora en los sistemas de estabilización de taludes, en un 10% del área ocupada en zona de amenaza alta



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Espacio para equipamientos
■ Déficit de espacio para equipamientos

Figura 463 ◀ Mejora en los sistemas de estabilización de taludes, en un 10% del área ocupada en zona de amenaza alta. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Simulando en Densurbam la ejecución de obras de mitigación en un 10% de las zonas ocupadas que presentan altos niveles de riesgo, puede observarse que, con relación al escenario tendencial, se reduce el riesgo; sin embargo, comparando con el escenario donde la población es relocalizada a otras zonas que

no presentan esta condición (escenario 1), el riesgo se disminuye en mayor magnitud por esta vía que con la implementación de la tecnología. Esta conclusión permite orientar las acciones, sin embargo, no descalifica la necesidad de diseñar y ejecutar obras de mitigación en estas zonas.

Recomendaciones

La ocupación de zonas de alto riesgo es uno de los mayores problemas urbanísticos del Valle de Aburrá. Datos del último plan de gestión del AMVA muestran que unas 30.000 viviendas urbanas y 2.700 viviendas rurales, que albergan más de 34.000 hogares, están localizadas en zonas de alto riesgo no recuperable. A ello hay que agregar aquellas ubicadas en zonas que requieren obras de mitigación. Considerando la protección de la vida como el primer principio de la gestión pública, la relocalización de estos hogares y la construcción de obras de mitigación donde esta estrategia sea posible, hacen de éste, uno de los temas prioritarios de gestión.

Además de la relocalización, la puesta en marcha de sistemas de alerta temprana es una estrategia de protección a las personas que se ubican en estas zonas. A través del SIATA, el AMVA cuenta con un instrumento de gestión a favor de la seguridad y la protección de la vida. Su correcta operación depende de la presencia institucional en las zonas de riesgo y la constante capacitación de las comunidades.

Finalmente se destaca la actualización del mapa de riesgos del Valle de Aburrá, proceso en curso que permitirá actualizar las cifras en cuestión y tener una mejor herramienta de diagnóstico para iniciar un plan sistemático de relocalización y prevención.



Árboles urbanos

La cobertura arbórea en las zonas urbanas, y los servicios ecosistémicos provistos por ésta, inciden directamente sobre el bienestar de la población. La contribución a la calidad del aire, del suelo, así como el control de inundaciones, son algunos de los servicios de regulación proporcionados por estas coberturas (FAO, 2018). La fijación de material particulado, captura y almacenamiento de CO₂, producción de oxígeno, procesos de regulación microclimática, reducción de efectos de la isla de calor, albergue de flora y fauna, entre otros, son servicios que adquieren gran importancia dadas las dinámicas en el Valle de Aburrá en temas como contaminación del aire, aumento de la temperatura media de la superficie del suelo, contaminación acústica, entre otros.

De acuerdo al estándar sugerido por la OMS, por cada tres habitantes, debe haber un árbol sembrado.

➤ Módulos asociados

Demanda de arboles urbanos per capita (arb/hab).

1 árbol por cada 3 habitantes (1/3) según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

↕ Límites

Número de árboles en las zonas urbanas del Valle de Aburrá: 453.000 (fuente: Inventario de árboles urbanos, 2007). Número de árboles sembrados en 2017 en las zonas urbanas: 30.000 (fuente: Plan Siembra AMVA)

✎ Fórmula de cálculo

Número de árboles/habitantes

📖 Fuentes de información

Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá (2006)

Moreno, F. & Hoyos, C. (Eds.). (2015). Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia



Figura 464 ▲ Índice de relación de soporte a escala municipal para la variable árboles urbanos. Fuente: urbam EAFIT (2018).

▲ Índice relación de soporte 2018

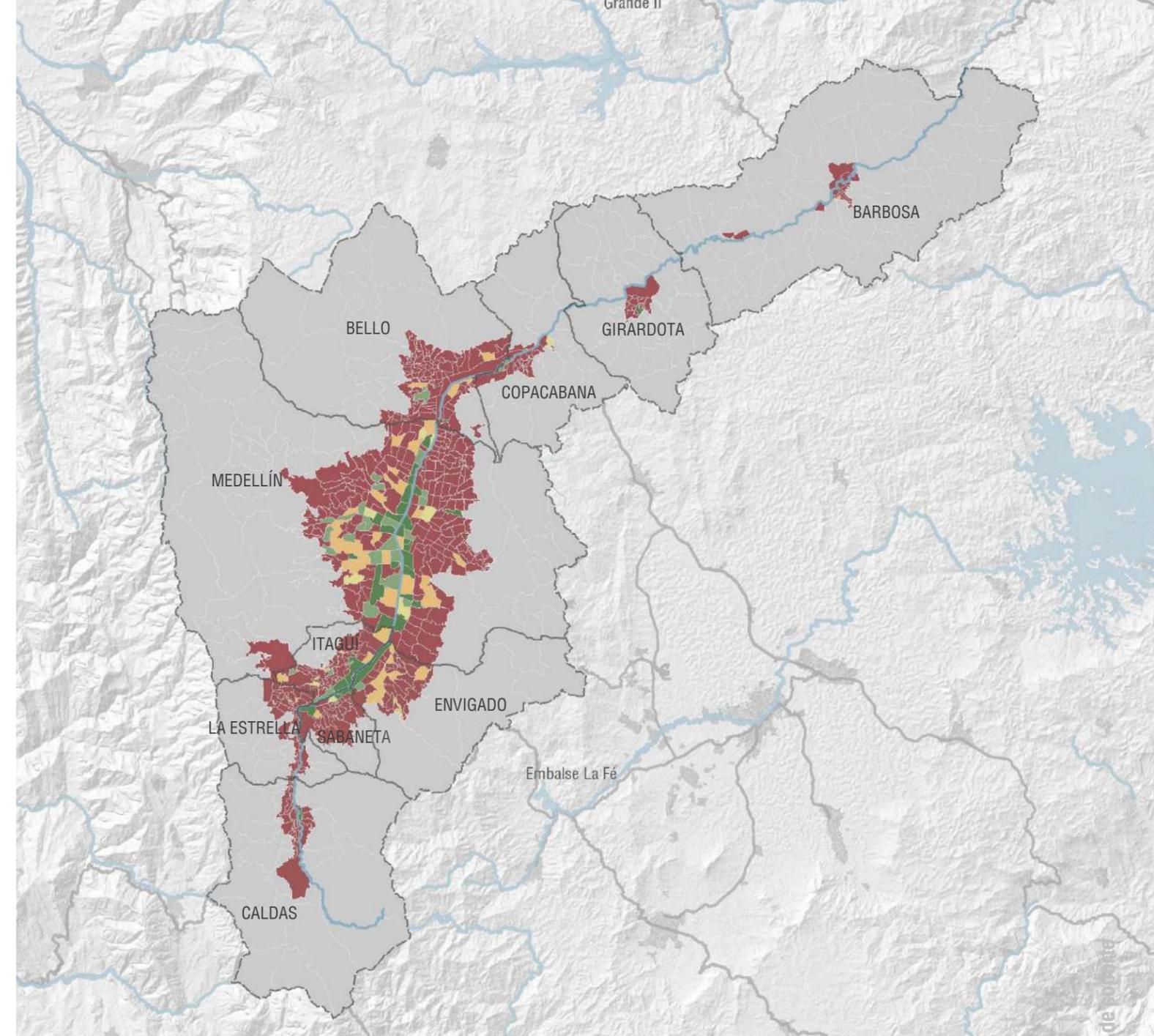
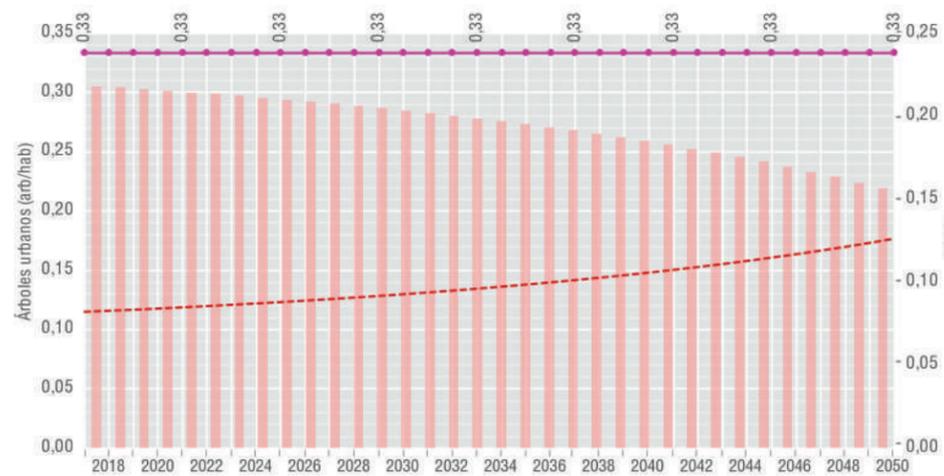


Figura 465 ▲ Índice de relación de soporte para la variable árboles urbanos por unidad de análisis (Barrio/Vereda). Fuente: urbam EAFIT (2018).

Escenario Tendencial



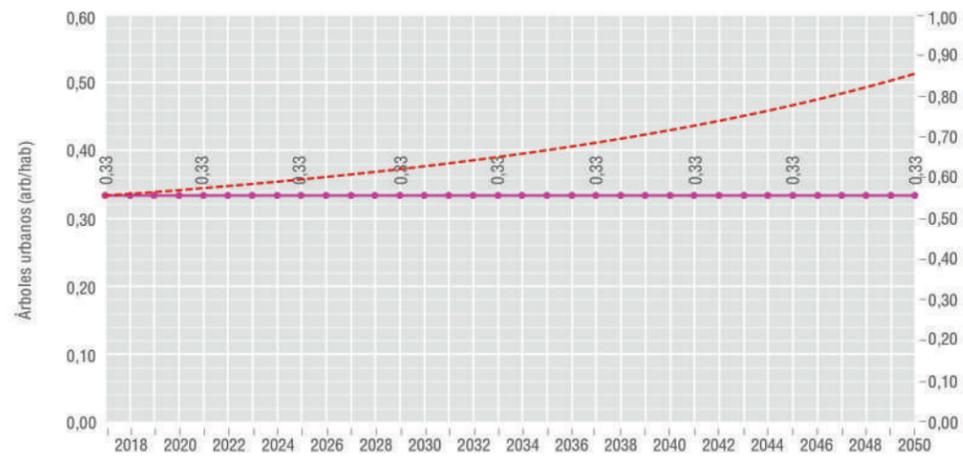
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Demanda de árboles urbanos
■ Déficit de árboles urbanos

Figura 466 ◀ Relación entre la demanda de árboles urbanos y el nivel de referencia para la sostenibilidad según la oferta de árboles urbanos en el Valle de Aburrá. Fuente: urbam EAFIT (2018) con base en AMVA (2007); Moreno, F. & Hoyos, C. (Eds.). (2015). Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia 2006); AMVA (2017).

Actualmente la relación de soporte de esta variable de análisis sobrepasa el nivel de sostenibilidad en todo el Valle de Aburrá. Los estándares mínimos establecidos por la OMS no se están logrando. Si se continua con la tendencia de crecimiento poblacional

y este estándar mínimo se mantiene, en el horizonte de planificación analizado, la relación de soporte continuará en déficit, y así con ello, el crecimiento sostenible, medido a través de este factor limitante, no será alcanzado.

Escenario 1 - Mejora en la capacidad del arbolado urbano. Especies arbustivas más resistentes a las condiciones de entornos urbanos



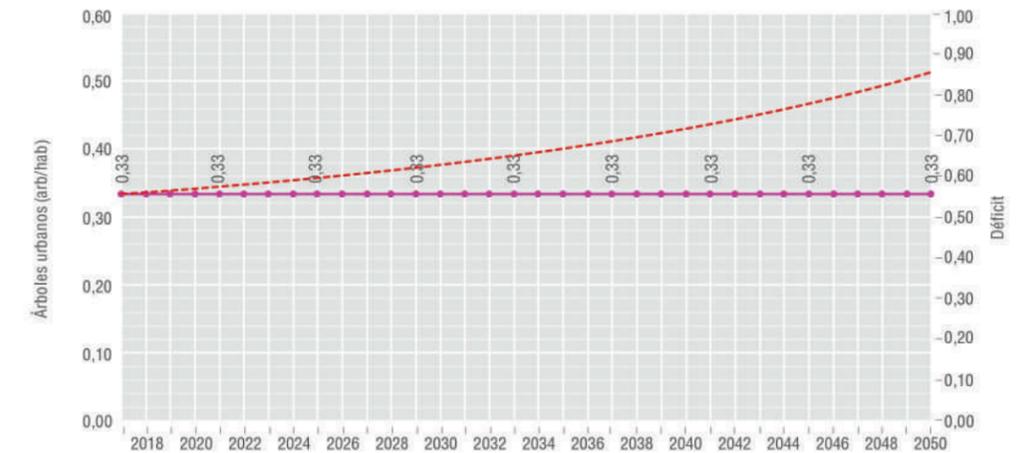
■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Demanda de árboles urbanos
■ Déficit de árboles urbanos

Figura 467 ◀ Escenario en la capacidad del arbolado urbano. Especies arbustivas más resistentes a las condiciones de entornos urbanos. Fuente: urbam EAFIT (2018).

Mejora en la capacidad (CCE), a través de la plantación de especies arbustivas cuyas características en tamaño, forma y localización, permiten mejorar la red urbana de la oferta de árboles urbanos. Incremento de 2,9 veces la capacidad de los árboles de ofrecer

sus servicios ecosistémicos (CCE), considerando las características anteriormente mencionadas. Al simular este escenario, se observa cómo en términos comparativos con el escenario tendencial, los déficits disminuyen.

Escenario 2 - Incremento en 2,9 veces, la oferta actual de árboles (448.212 árboles)



■ Nivel de referencia para la sostenibilidad
■ Demanda de árboles urbanos
■ Déficit de árboles urbanos

Figura 468 ▶ Escenario con Incremento en 2,9 veces, la oferta actual de árboles (448.212 árboles). Fuente: urbam EAFIT (2018).

La oferta de individuos arbóreos en la zona urbana del valle de Aburrá actualmente asciende a 448.212. Tal como fue puntualizado, existe un déficit en el arbolado urbano y no se están alcanzando los mínimos establecidos por la OMS.

En este sentido, simulando a través de Densurbam en el horizonte de tiempo de análisis, puede concluirse que si se mejora la capacidad a través

de la siembra de 2,9 veces más árboles de los actualmente existentes, llegándose a una oferta de aproximadamente 1.300.000 árboles, la relación de soporte para esta variable mejora y este factor limitante al crecimiento y desarrollo sostenible del territorio se encontraría en los umbrales de sostenibilidad.

Bajo ambos escenarios se disminuyen los déficits, en el primero a través de la cantidad de árboles sembrados y en el segundo por medio de la mejora

en las funciones ecosistémicas de éstos (individuos con mejores condiciones para entornos urbanos).

Recomendaciones

La localización, tamaño y especie de los individuos arbóreos, son factores determinantes en la provisión de servicios ecosistémicos fundamentales para las dinámicas en el valle de Aburrá, por lo tanto deberán ser tenidos en cuenta en la ejecución de los planes en esta materia. Los efectos de un árbol sembrado en suelo urbano y rural son distintos. Con el propósito de brindar bienestar a la población localizada en el área metropolitana, se sugiere que la plantación arbustiva sea realizada en suelo urbano.

También, se sugiere habilitar el actual Sistema de de Arbolado Urbano del AMVA para que la ciudadanía tenga acceso a la información allí recopilada. El Sistema Metropolitano de Arbolado Urbano, requiere un inventario exhaustivo de los individuos, así como

las características de estos (edad, especie, entre otros) y su localización. Aprovechando las nuevas tecnologías de información podría diseñarse una App en la cual los ciudadanos puedan encontrar dicha información base y actualicen la misma, permitiendo que la aplicación se convierta en una aliada del AMVA al monitoreo del arbolado urbano. El sistema también debería permitir registrar las siembras e incluir a los nuevos individuos en el censo formal de árboles urbanos.

El esfuerzo de siembra debe mantenerse en el tiempo, de lo contrario podría incurrirse en déficits a futuro.



Figura 469. Panorámica del Valle de Aburrá. Fuente: urban EAFIT (2018)

6.2. Índice de relación de soporte para el Valle de Aburrá y los 10 municipios

El análisis de sostenibilidad abordado a través del modelo Densurbam y su propuesta metodológica, propenden por una forma práctica de seguimiento en el tiempo a la relación entre demanda y oferta de recursos, bienes y servicios, fundamentales para la vida en los territorios, denominada Índice de Relación de Soporte -IRS. Estos recursos, bienes y servicios fueron clasificados en tres componentes que agrupan las múltiples capacidades de soporte urbano –ambientales, esto es: disponibilidad de recursos, salud y resiliencia de los ecosistemas y habilidades de la sociedad para el desarrollo, expuestos ampliamente en el marco metodológico del modelo.

Este índice corresponde a un número que varía entre cero e infinito y tiene un umbral de referencia en uno. A medida que el valor del IRS aumenta significa que se incrementa la relación de soporte, esto es, se amplía la brecha entre la demanda y la oferta dirigiéndose hacia una senda de insostenibilidad a medida que sobrepasa el umbral. Así, aquellos IRS más altos, están asociados con las variables más limitantes del sistema. El IRS, como parte integrante del modelo Densurbam, brinda una herramienta complementaria a tomadores de decisiones y planificadores del crecimiento y desarrollo urbano.

Con propósitos ilustrativos y presentación del análisis de los resultados del IRS siguiendo la analogía del barril de Liebig, a continuación se presentan los gráficos del inverso del IRS, con el fin de ordenar las duelas (IRS) desde las más bajas (mayores IRS), hasta las más altas (menores IRS). Aquellas variables por debajo del nivel de referencia, reflejan la superación de la capacidad de carga, es decir, en ellas se alcanzó y superó el umbral de sostenibilidad y la población es mayor a la que el sistema puede soportar.

Pese a la superación de la capacidad de soporte en algunos casos, esto no debe interpretarse como una cuestión alarmante, pues, tal como se ha expresado de forma reiterativa, las habilidades de la sociedad para el desarrollo posibilitan la mitigación, adaptación o en algunos casos el restablecimiento de equilibrios en las relaciones de demanda –oferta. Los resultados presentados son indicativos y buscan ser orientadores de las decisiones y complementarios a los diferentes proyectos, programas, planes y/o estrategias del AMVA, las entidades municipales y otros actores claves.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Para el territorio metropolitano, como se observa en el gráfico del IRS, actualmente los factores limitantes, es decir, aquellas variables que superaron la capacidad de soporte en el año 2018, y están en déficit son las relacionadas con equipamientos, espacio público efectivo, espacios para la movilidad (agrupadas en el componente infraestructura de las habilidades de la sociedad para el desarrollo) y variables de la salud y resiliencia de los ecosistemas (producción total de vertimientos líquidos, emisiones de CO₂ totales directas a la atmósfera, producción de MP 2,5 y cuestiones asociadas a la resiliencia).

Estos déficits reflejan demandas no satisfechas o cambios en el entorno natural que superan la capacidad de soporte del sistema natural en el ámbito urbano. Los déficits generan efectos sobre la calidad de vida y bienestar de la población que habita actualmente el valle de Aburrá y en caso de continuarse la tendencia, de las futuras generaciones. Debido a la naturaleza de las variables en déficit, específicamente se está condicionando, por ejemplo, el derecho al esparcimiento de los ciudadanos, esto es, el disfrute de la ciudad (déficit en espacio público efectivo). También el acceso a actividades y servicios básicos sociales es restringido según los resultados obtenidos en los índices de relación de soporte relativos a equipamientos, ello por los déficits en éstos a escala metropolitana. De la totalidad de equipamientos analizados en el presente estudio, aquellos de seguridad y convivencia ciudadana tienen el mayor déficit, es decir, son el factor más limitante, tanto a nivel metropolitano como a escala zonal (norte, centro, sur) del valle de Aburrá. Los equipamientos responden a unas demandas, que entre otras cuestiones, están relacionados directamente con la composición etaria de la población que habita el territorio.

La mejora general del sistema implica priorizar las acciones y orientarlas hacia aquellas duelas más cortas (mayores déficits). Por lo anterior se propone la optimización del uso de los equipamientos y espacio

público a través de la adaptación de infraestructura existente, posibilitando usos alternativos de la misma, esto es, en aquellos casos donde sea posible, aplicar el principio de multifuncionalidad de equipamientos, principalmente por la inmediatez que requieren las acciones en esta materia.

También, el espacio requerido para la movilidad ha superado el nivel de referencia de sostenibilidad. Tal como fue mencionado con anterioridad, la demanda espacial para la moto y auto son altas comparadas con la oferta disponible actualmente. Lo anterior no obedece a carencia de infraestructura, sino a cuestiones asociadas con la distribución, por lo cual es clave fomentar más, los sistemas integrados de transporte público.

Finalmente, los niveles de emisiones de MP 2,5 y CO₂, se presentan como factores limitantes al crecimiento y desarrollo del área metropolitana, entre otras cuestiones, por los efectos adversos sobre la salud de la población y las nuevas condiciones de habitabilidad que imponen cambios, por ejemplo, en la temperatura de la superficie del suelo, entre otros efectos. Así, la calidad ambiental es un límite a la ocupación del territorio y representa nuevos retos a los procesos de planeación.

Pese a la actual criticidad de las variables anteriormente mencionadas, no deben perderse de foco aquellas que están próximas a alcanzar niveles de insostenibilidad en los próximos años (aquellas variables cuyo IRS está entre 0,95 – 1,05). Es necesario que se inicien los procesos de gestión y planeación para el corto y mediano plazo. La naturaleza misma de la planificación tiene por objetivo anticipar y prever. Este es el caso por ejemplo de la generación y disposición de residuos sólidos totales, que en los próximos años podría sobrepasar el umbral de la sostenibilidad y conducir a una emergencia sanitaria de escala, incluso, departamental. Así, la apuesta metropolitana debe ser adelantarse a esos escenarios críticos que, a través del modelo Densurbam, pueden identificarse.

Tal como se podrá ver a continuación de forma sucinta, los problemas en las zonas centro, norte y sur, no distan mucho de las dinámicas a escala metropolitana, siendo importante resaltarlo porque es evidente que el carácter complejo de las relaciones entre los territorios supone a su vez la integración y sinergia en la toma de

decisiones. Lograr un crecimiento y desarrollo sostenible y armónico, reconociendo los límites y la capacidad de soporte como una cuestión dinámica en el tiempo, implica la búsqueda de la cohesión territorial, ambiental, social y económica.

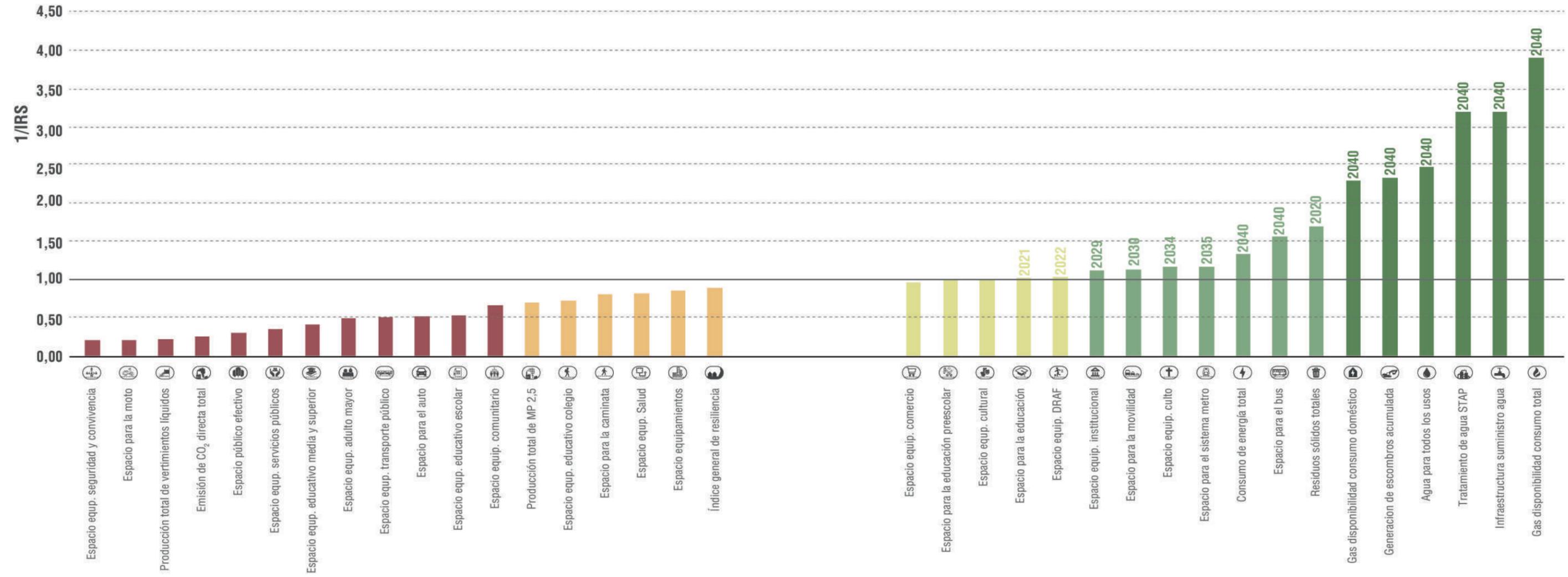
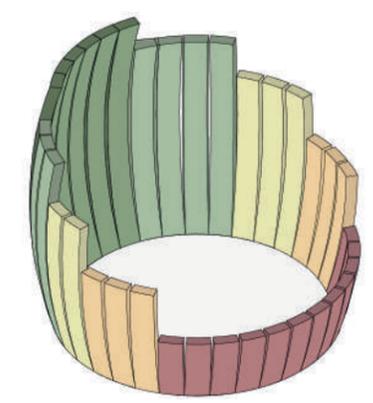


Figura 471 ► Localización.
Fuente: urban EAFT (2018)

Figura 472 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el Valle de Aburrá.
Fuente: urban EAFT (2018)

Figura 470 ▼ IRS por variable para el Valle de Aburrá.
Fuente: urban EAFT (2018)



Valle de Aburrá - Norte

La zona norte del Valle de Aburrá actualmente presenta, en términos comparativos con las demás zonas, niveles de insostenibilidad más altos en materia de equipamientos y espacio público efectivo, es decir, son las duelas más bajas del barril y con ello, los mayores factores limitantes al crecimiento y desarrollo sostenible de este territorio.

Otro tema crítico en esta zona es la contaminación de fuentes hídricas debido a los vertimientos líquidos; esto obedece al retraso en el inicio de operaciones de la PTAR. La contaminación del aire, por emisiones de CO₂ y MP 2,5 también es crítica en esta zona.

Figura 474 ► Localización.
Fuente: urbam EAFIT (2018)



Figura 475 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el Valle de Aburrá - Norte.
Fuente: urbam EAFIT (2018)

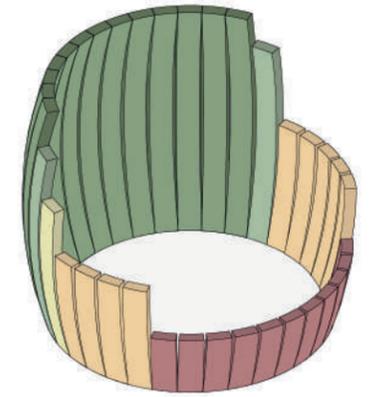
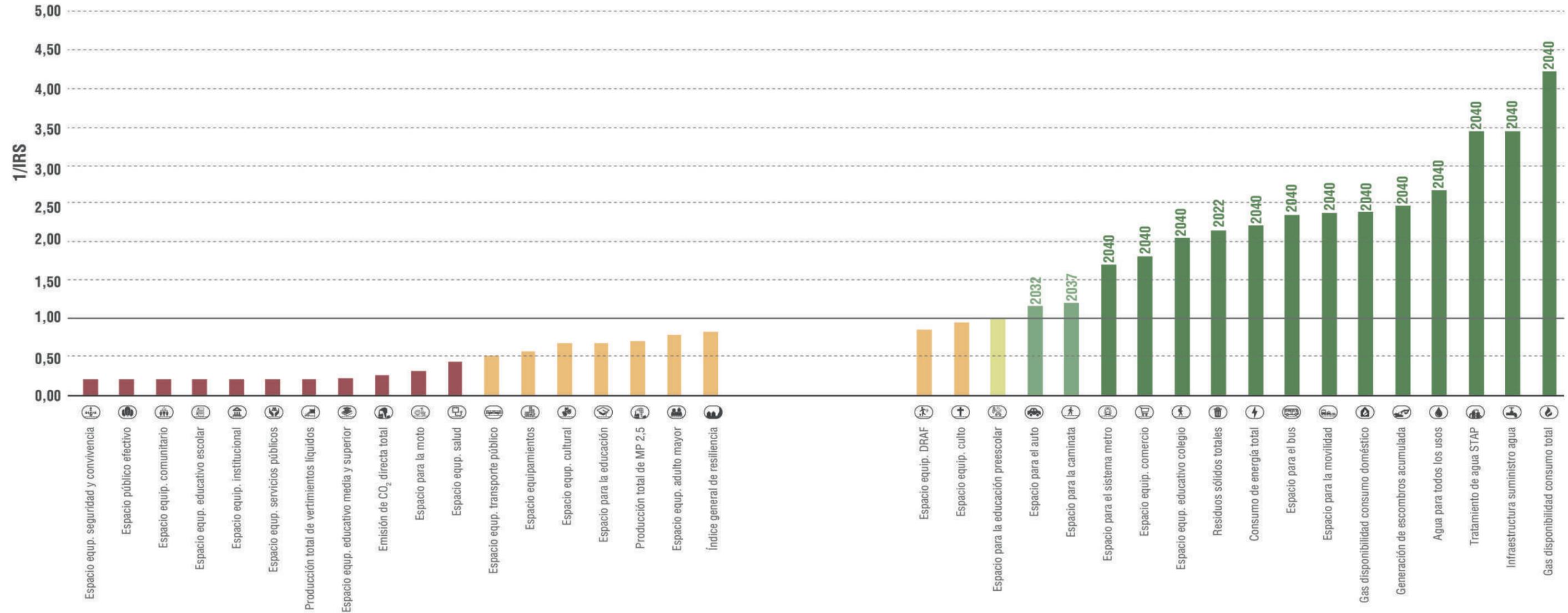


Figura 473 ▼ IRS por variable para el Valle de Aburrá - Norte.
Fuente: urbam EAFIT (2018)



Valle de Aburrá - Centro - Medellín

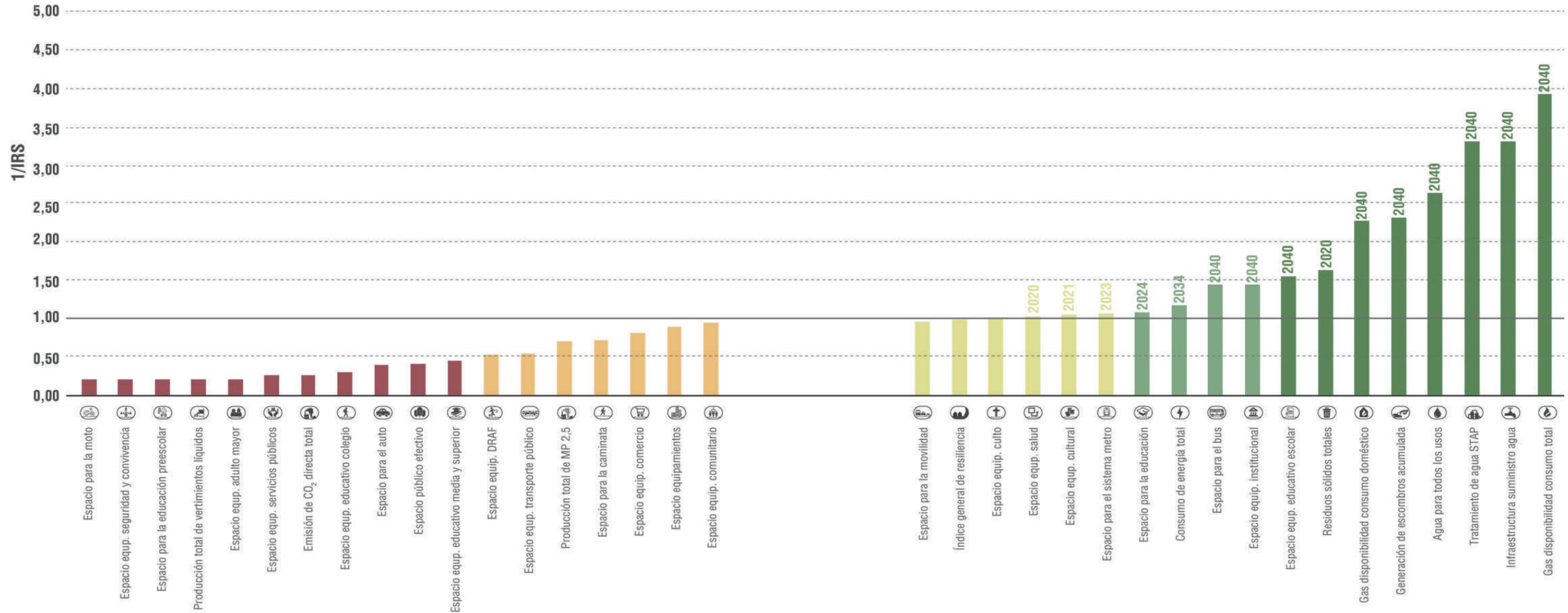
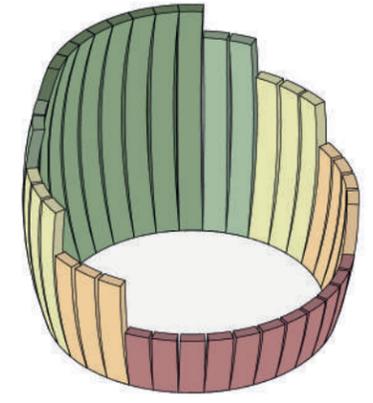
Analizando los resultados de los IRS en la zona centro del valle de Aburrá, tal como se observa en el gráfico, las duelas más cortas en esta zona son muy similares a las presentadas para el valle de Aburrá en conjunto. Algunos de los índices de equipamientos son más bajos en esta zona (es decir, la relación demanda/oferta es más baja, evidenciando una mejora frente al índice

para el valle de Aburrá). Con relación a variables de la salud y resiliencia de los ecosistemas, la producción de vertimientos líquidos, las emisiones de CO₂ y MP 2,5, siguen siendo factores limitantes y condicionantes actuales para la ocupación del territorio en la zona centro. Finalmente, el espacio para la movilidad también tiene niveles de insostenibilidad en esta zona.

Figura 477 ► Localización.
Fuente: urbam EAFT (2018)

Figura 478 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de Medellín.
Fuente: urbam EAFT (2018)

Figura 476 ▼ IRS por variable para el municipio de Medellín.
Fuente: urbam EAFT (2018)



Valle de Aburrá - Sur

La zona sur, al igual que las demás, tienen déficits actualmente en equipamientos y espacio público efectivo. Por otro lado, el modelo Densurbam permite identificar que en el corto plazo, en caso de seguir el escenario tendencial, esta zona tendrá déficits en espacios requeridos para la movilidad (especialmente sistema metro y buses). En las variables de la salud y resiliencia de los ecosistemas, en cuanto a la problemática generada por la producción total de vertimientos líquidos, es menor el déficit en esta zona comparado con las zonas centro y norte, esto,

por la operación de la PTAR San Fernando. Sin embargo, el río Aburrá sigue teniendo niveles de contaminación elevados y las estrategias de mitigación son diferentes dependiendo de los tramos, tal como establece el PORH. La calidad del aire también es, en esta zona, una de las bajas.

Se concluye entonces, que los retos son compartidos pero diferenciados, tanto desde la mirada espacial (zonas), como temporal (horizontes de la sostenibilidad); sin embargo se requieren estrategias integradas para abordarlos.

Estas estrategias, en el marco de la optimización de recursos escasos, deberán orientarse desde aquellos factores más limitantes (duelas más bajas del barril), sin dejar de lado los demás retos del mediano y largo plazo, los cuales estarán determinados, entre otras cuestiones, por las formas de habitar el territorio.

Figura 480 ► Localización.
Fuente: urbam EAFT (2018)



Figura 481 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el Valle de Aburrá - Sur.
Fuente: urbam EAFT (2018)

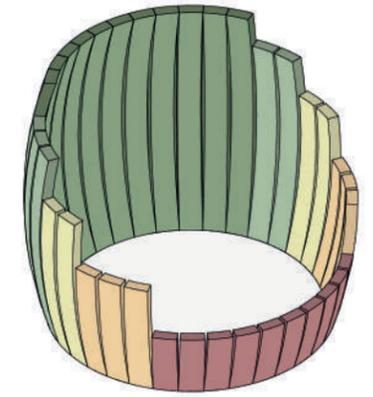
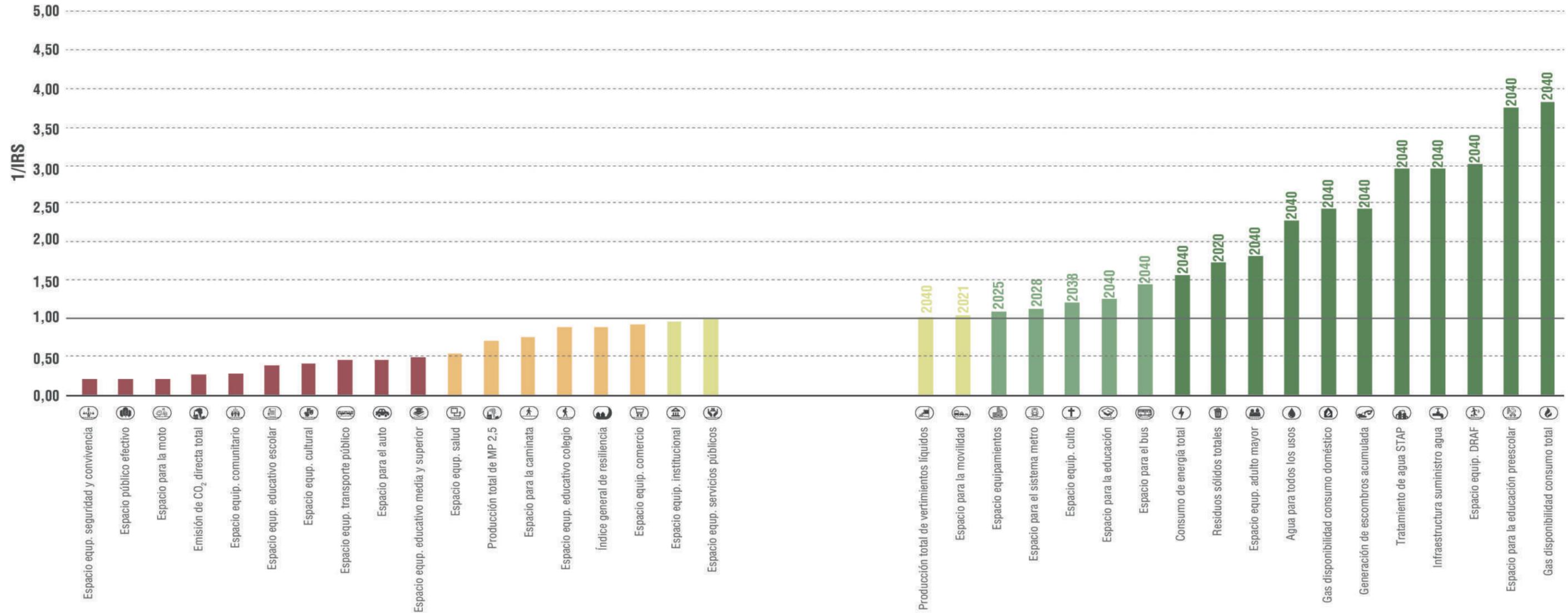


Figura 479 ▼ IRS por variable para el Valle de Aburrá - Sur.
Fuente: urbam EAFT (2018)



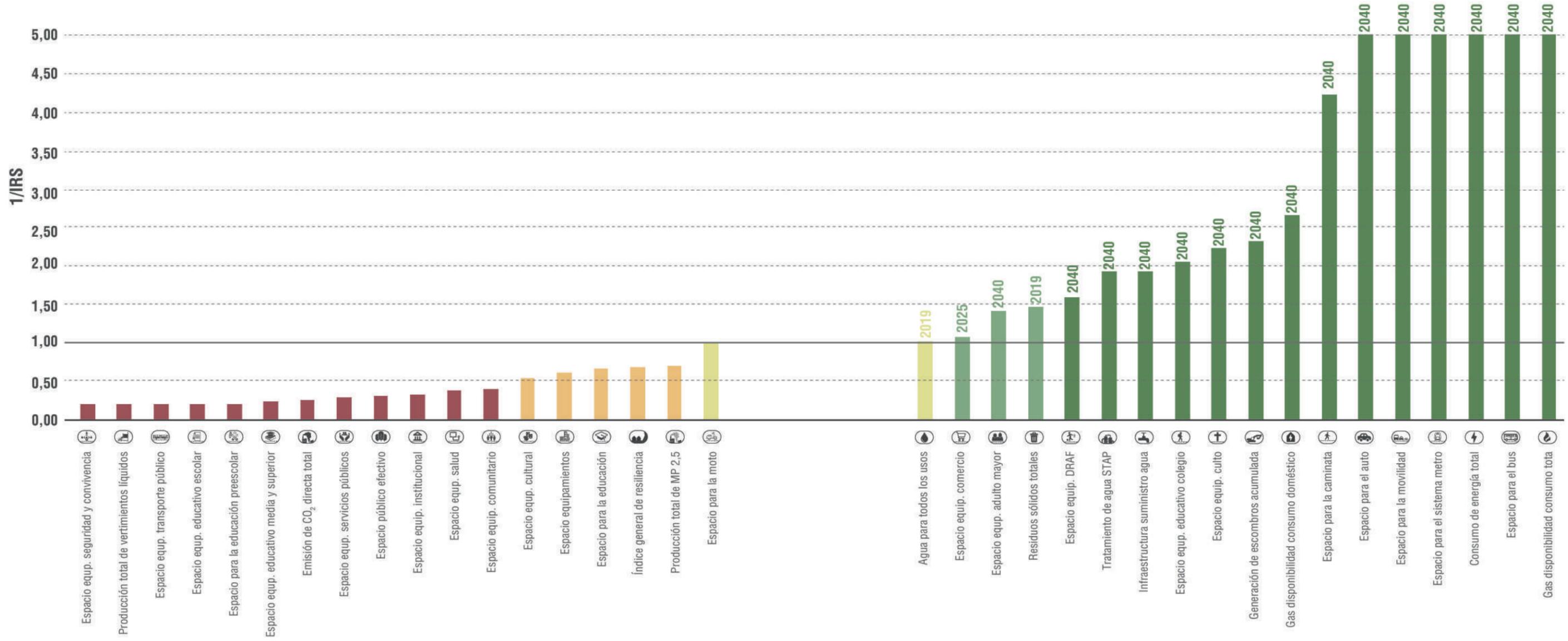


Figura 483 ► Localización.
Fuente: urbam EAFIT (2018)



Figura 484 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de Barbosa.
Fuente: urbam EAFIT (2018)

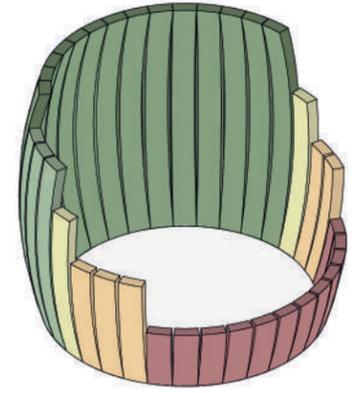


Figura 482 ▼ IRS por variable para el municipio de Barbosa.
Fuente: urbam EAFIT (2018)

Figura 486 ► Localización.
Fuente: urbam EAFT (2018)



Figura 487 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de Girardota.
Fuente: urbam EAFT (2018)

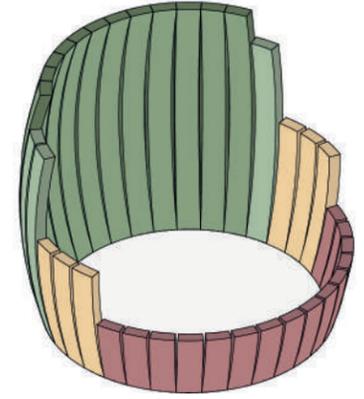
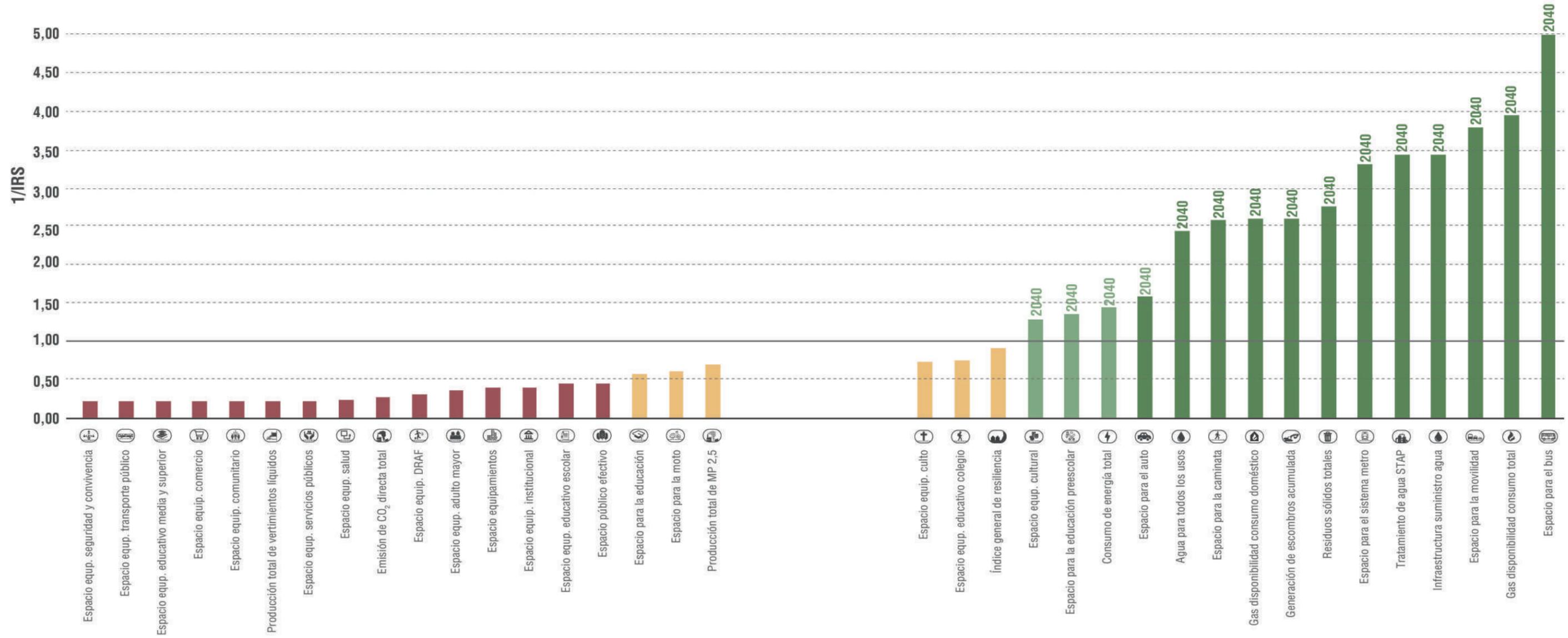


Figura 485 ▼ IRS por variable para el municipio de Girardota.
Fuente: urbam EAFT (2018)



Copacabana

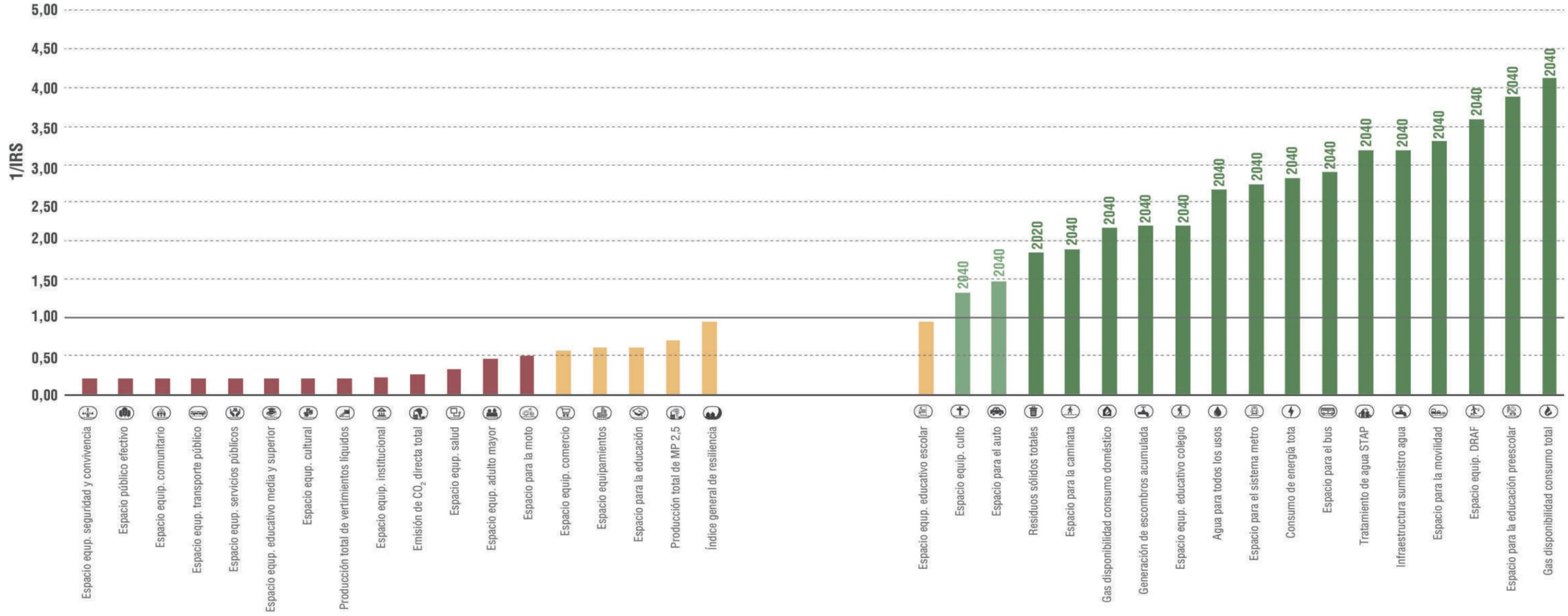
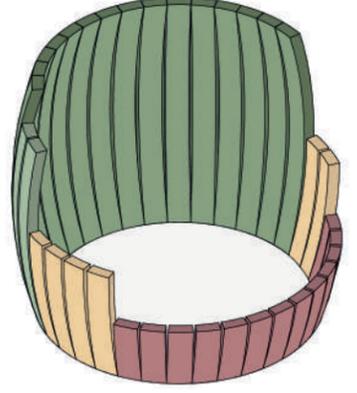


Figura 489 ► Localización.
Fuente: urbam EAFIT (2018)

Figura 490 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de Copacabana.
Fuente: urbam EAFIT (2018)

Figura 488 ▼ IRS por variable para el municipio de Copacabana.
Fuente: urbam EAFIT (2018)



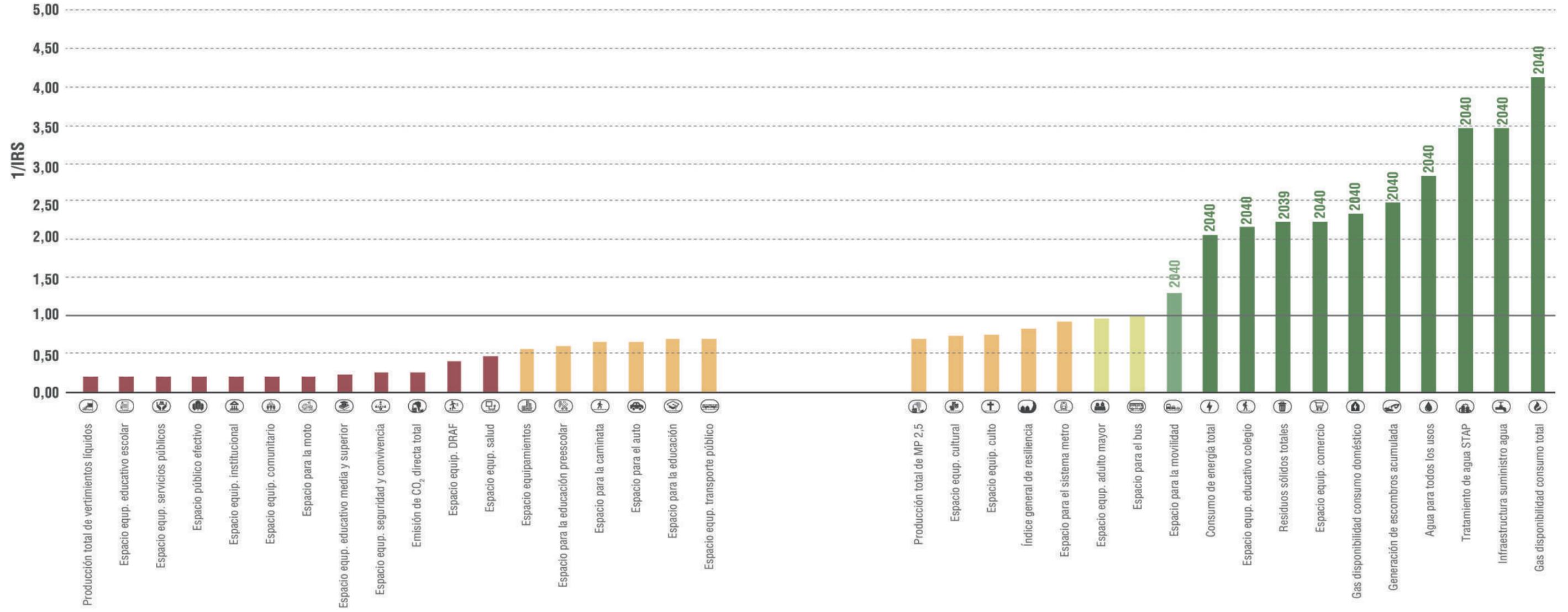


Figura 492 ► Localización.
Fuente: urbam EAFIT (2018)



Figura 493 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de Bello.
Fuente: urbam EAFIT (2018)

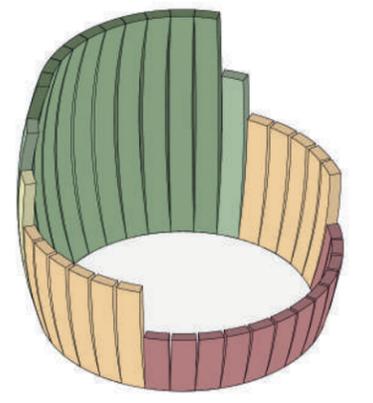


Figura 491 ▼ IRS por variable para el municipio de Bello.
Fuente: urbam EAFIT (2018)

Envigado

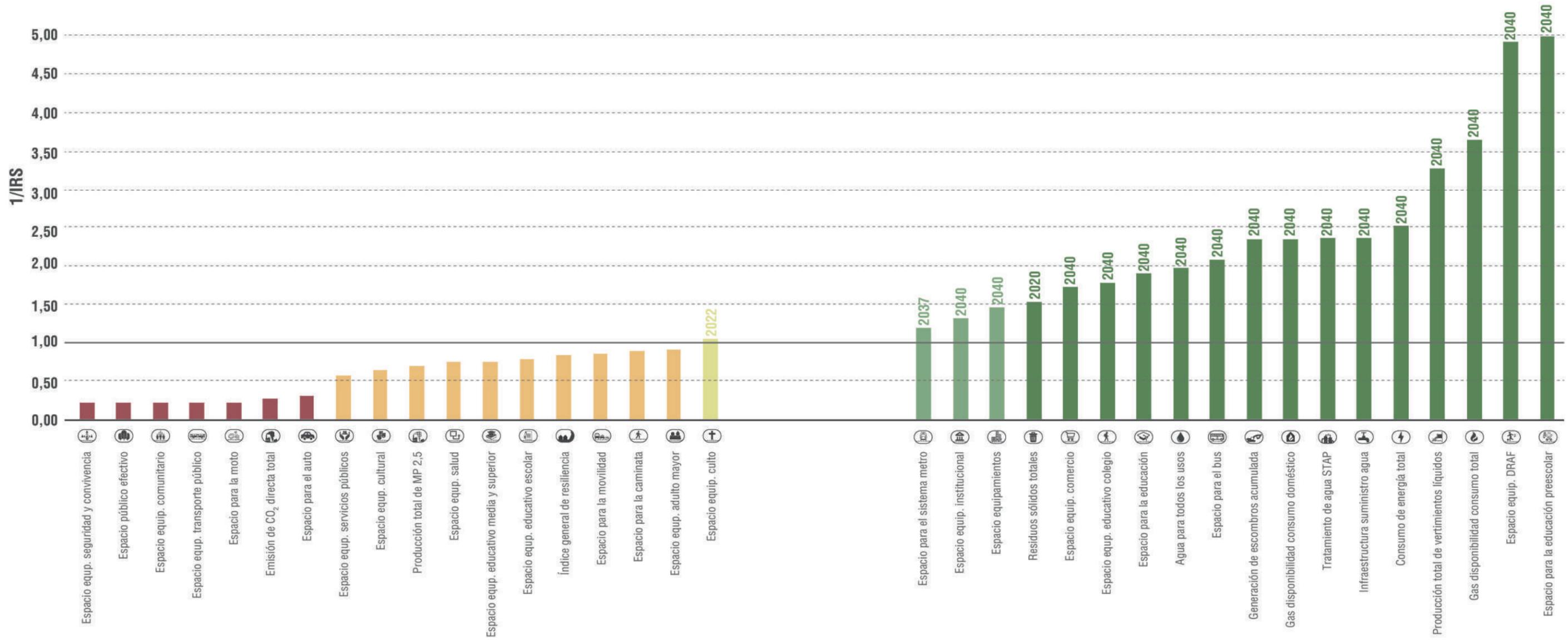
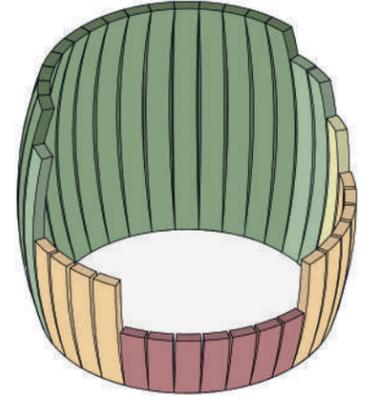


Figura 495 ► Localización.
Fuente: urban EAFT (2018)

Figura 496 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de Envigado.
Fuente: urban EAFT (2018)

Figura 494 ▼ 1/IRS por variable para el municipio de Envigado.
Fuente: urban EAFT (2018)



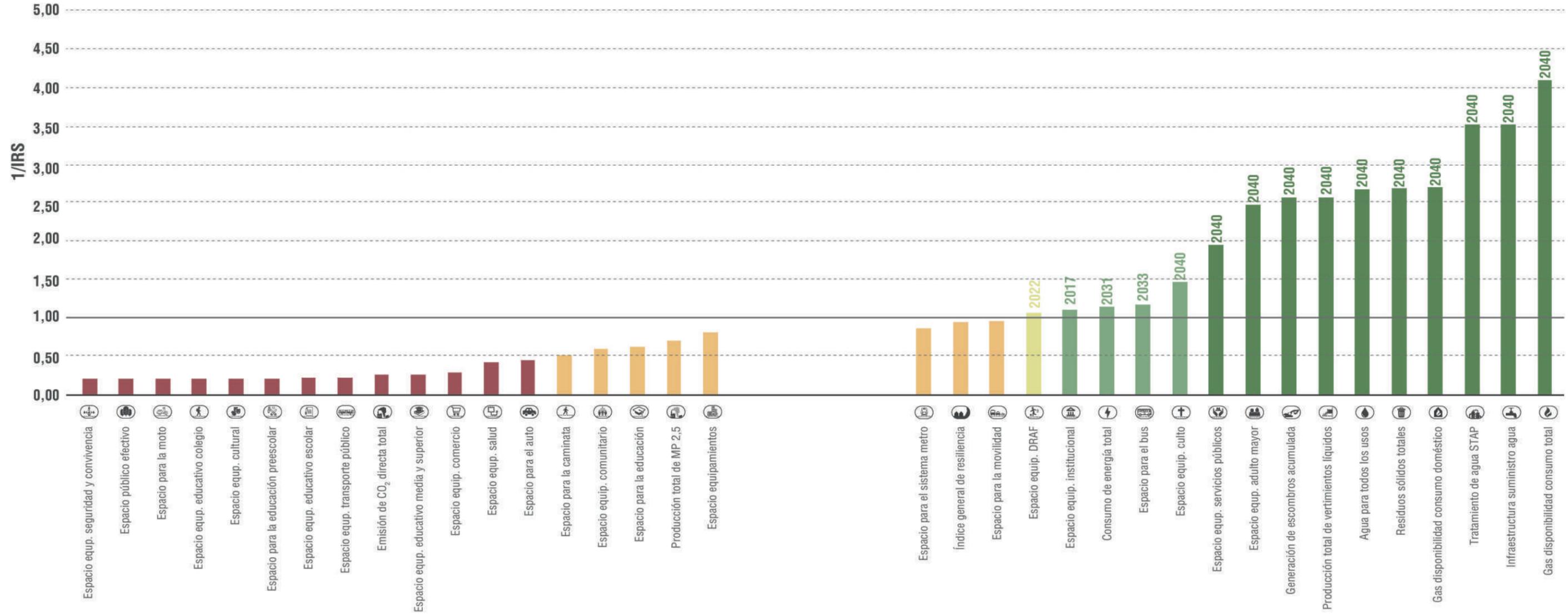
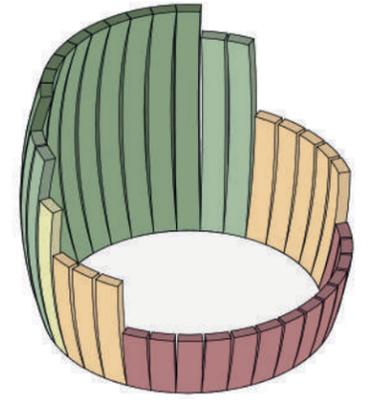


Figura 498 ► Localización.
Fuente: urban EAFIT (2018)

Figura 499 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de Itagüí.
Fuente: urban EAFIT (2018)

Figura 497 ▼ IRS por variable para el municipio de Itagüí.
Fuente: urban EAFIT (2018)



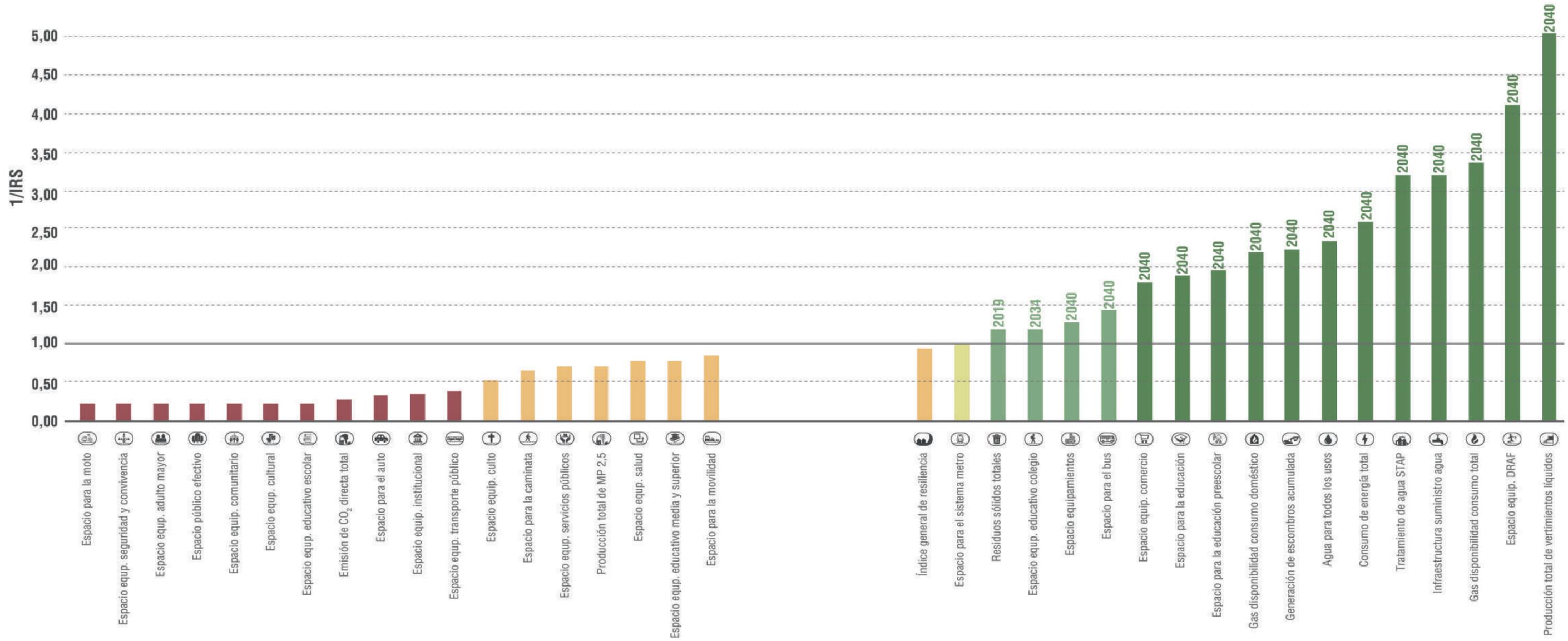
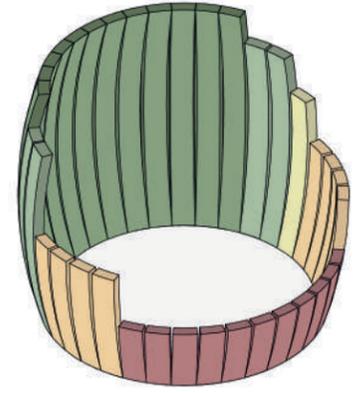


Figura 501 ► Localización.
Fuente: urbam EAFT (2018)

Figura 502 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de Sabaneta.
Fuente: urbam EAFT (2018)

Figura 500 ▼ IRS por variable para el municipio de Sabaneta.
Fuente: urbam EAFT (2018)



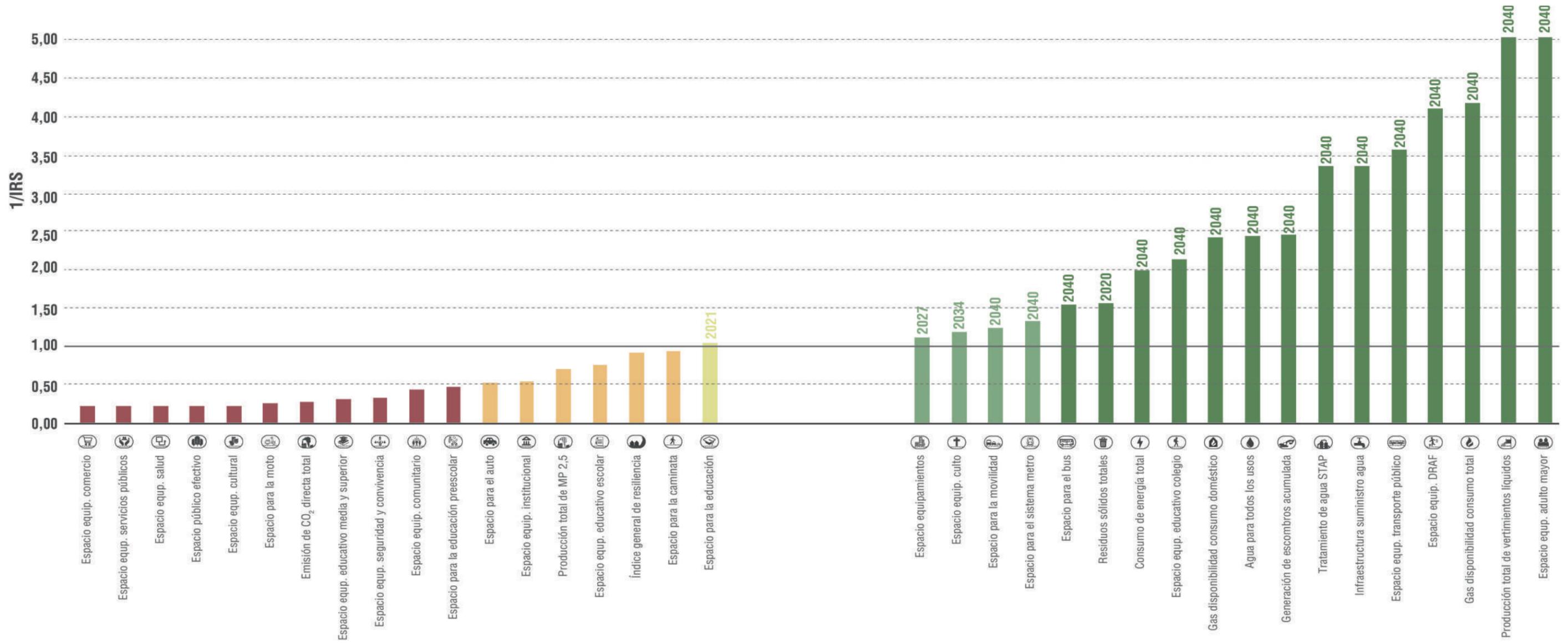


Figura 504 ► Localización.
Fuente: urbam EAFT (2018)

Figura 505 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de La Estrella.
Fuente: urbam EAFT (2018)

Figura 503 ▼ IRS por variable para el municipio de La Estrella.
Fuente: urbam EAFT (2018)

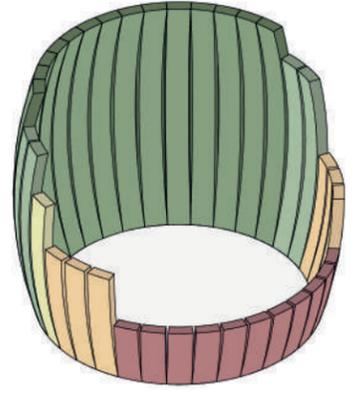


Figura 507 ► Localización.
Fuente: urban EAFIT (2018)



Figura 508 ►► Panorama general de la capacidad de soporte urbano ambiental para el municipio de Caldas.
Fuente: urban EAFIT (2018)

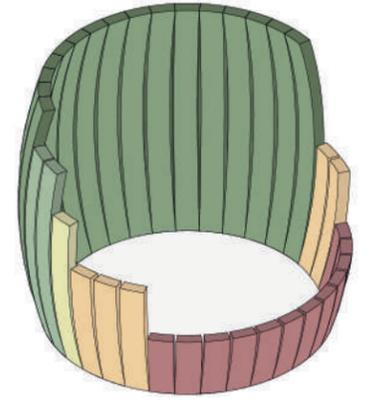


Figura 506 ▼ IRS por variable para el municipio de Caldas.
Fuente: urban EAFIT (2018)

