



ÍNDICE DE CONDICIÓN AMBIENTAL DE MEDELLÍN – ICAM

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN
Subdirección de Información y Evaluación Estratégica

Medellín, 2016



Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

ÍNDICE DE CONDICIÓN AMBIENTAL DE MEDELLÍN – ICAM

ALCALDE DE MEDELLÍN

Federico Andrés Gutiérrez Zuluaga

DIRECTOR DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN

Cesar Augusto Hernández Correa

SUBDIRECTORA DE INFORMACIÓN Y EVALUACIÓN ESTRATÉGICA

Tatiana Marcela García Echeverry

AUTORAS:

Diana Marcela Rincón Buitrago. Bióloga

Ángela Gabriela Guerrero Terán. Arquitecta

Elizabeth Hoyos Zuluaga. Estadística

Agradecimientos:

Federico Hernández Hincapié (DAP). Santiago Cadavid Arbeláez (DAP).

Mauricio Llano Gil (DAP). Carlos Fernando Cadavid (CNPML). Cristina López

Gallego (UdeA). Santiago Chiquito García (Ecoral). Juliana Arango Uribe

(Portafolio Verde). Daniel Villegas (Salvaterra)



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



Tabla de contenido

1. Consideraciones generales	4
2. Dimensiones incluidas en el ICAM	8
2.1. Impactos en la salud humana.	8
2.2. Clima y meteorología	9
2.3. Calidad del aire	10
2.4. Recursos hídricos	11
2.5. Suelo	11
2.6. Ecosistemas y biodiversidad	12
2.7. Residuos sólidos	13
2.8. Riesgo ambiental de origen antrópico	13
2.9. Gobernabilidad	14
3. Metodología de cálculo del ICAM	15
3.1. Cálculo de las ponderaciones de los indicadores	15
3.2. Ponderación de los indicadores	16
3.3. Resultados del cálculo y clasificación del ICAM	16
4. Anexos	19
4.1. Anexo 1. Modelos estadísticos.	19
¿Qué es un modelo estadístico?	19
Clasificación de modelos	20
4.2. Anexo 2. Ponderación de los indicadores	24
4.3. Anexo 3. Matriz de indicadores contenidos en el ICAM	31
5. Referencias bibliográficas	40





Índice de condición ambiental de Medellín – ICAM

1. Consideraciones generales

Actualmente, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades y se estima que para el año 2050 esta proporción se incremente al 66% (ONU, 2014). En las últimas cinco décadas, la mayoría de países de América Latina han experimentado un proceso intenso de urbanización que ha modificado y complejizado el espacio urbano (Rodríguez y Villa, 1998., citado en Santana, 2010).

La población urbana en Colombia alcanzó el 76% en el año 2011 y se espera que llegue al 80% en menos de una década (MinAmbiente, 2013). Esta situación ha incrementado los problemas ambientales en las áreas urbanas y la presión sobre los sistemas naturales en áreas rurales, debido a la gran demanda de recursos que conlleva el proceso de urbanización. Algunos de estos problemas son la alta transformación y degradación del paisaje natural, el uso insostenible de los recursos naturales, la pérdida de biodiversidad la reducción y baja calidad del espacio público, la alta generación de residuos y su escaso aprovechamiento, el incremento en la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero, los problemas de movilidad, los conflictos de uso del suelo, entre otros (MinAmbiente, 2013).

Aunque cada vez es mayor la proporción de la población que vive desconectada de la naturaleza y sus dinámicas (Gómez-Baggethun, 2016), es fundamental tener siempre en cuenta que todas las actividades humanas dependen de ella. Esto supone un reto enorme para las ciudades en términos de gestión ambiental, pues la calidad de vida de sus habitantes está relacionada directamente con la capacidad de provisión de bienes y servicios provenientes de los ecosistemas urbanos, regionales, nacionales e incluso internacionales.

Medellín no es ajena a esta situación, por lo cual en los últimos años ha desarrollado estrategias para promover el conocimiento, la administración y el manejo de los recursos





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

naturales. Sin embargo, estos esfuerzos no necesariamente se reflejan de manera significativa en el mejoramiento de las condiciones de habitabilidad y calidad ambiental de la ciudad (Alcaldía de Medellín, 2013).

La calidad ambiental depende de las interacciones entre un conjunto complejo de factores humanos y ambientales, que inciden favorable o desfavorablemente en la calidad de vida de los ciudadanos (Nichol y Wong, 2005). La expresión y distribución de estos factores no se presentan de forma homogénea en las áreas urbanas; por lo tanto, se requiere la generación constante de información que refleje las diferencias temáticas en espacio y tiempo (Santana, 2010). Sin embargo, disponer de esta información no siempre es posible (especialmente en los países en vía de desarrollo), debido a que generalmente el levantamiento de datos representa altos costos o la información disponible no es adecuada por haber sido obtenida mediante métodos diferentes o a escalas inapropiadas (Santana, 2010).

En este sentido, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha identificado que en Colombia, generalmente existe una baja cultura de generación y reporte de información ambiental, especialmente a escala urbana. Esto es altamente perjudicial, pues es a partir de esta información que se generan los procesos de gestión ambiental, toma de decisiones y establecimiento de prioridades en temas ambientales (MinAmbiente, 2013).

Este diagnóstico, condujo la propuesta de medición del Índice de calidad ambiental urbana (ICAU), realizada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013). Medellín fue una de las ciudades participantes en la medición de este índice, el cual constituye un primer ejercicio de medir y hacer seguimiento a elementos relevantes de la calidad ambiental urbana. Sin embargo, el ICAU incluye algunas variables que no dan cuenta del estado ambiental de la ciudad (indicadores de producto) y deja por fuera otras que son de alta relevancia para evaluarlo. Además, por su carácter exclusivamente urbano, no tiene en cuenta variables para analizar la calidad ambiental a escala municipal, incluyendo áreas rurales.

Con base en esto, se hace evidente que actualmente no existe una herramienta suficientemente contundente que permita analizar la situación ambiental real del municipio de Medellín. Por esto, el plan de desarrollo 2016-2016 *Medellín cuenta con vos*, propone el



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

desarrollo de un nuevo índice, que permita evaluar de manera clara el estado ambiental actual de la ciudad.

Inicialmente, se pensó plantear el Índice de Desempeño Ambiental (IDA)¹, que pretendía generar un análisis del componente ambiental, los procesos de gestión ambiental y las interacciones que se tejen entre el sistema natural y el humano, con el fin de evaluar el nivel de sostenibilidad ambiental de la ciudad. Sin embargo, la falta de información para realizar este análisis complejo, llevó a reconsiderar la idea inicial y generar una nueva propuesta que consiste en el desarrollo del **Índice de condición ambiental de Medellín (ICAM)**. Este nuevo índice, que retoma variables existentes en el ICAU y propone la incorporación de variables complementarias, permitirá tener una imagen más clara del estado ambiental de todo el municipio y al mismo tiempo, servirá como base conceptual e informativa para que en el mediano plazo se pueda desarrollar el IDA u otro índice de sostenibilidad ambiental municipal.

Adicionalmente, el ICAM pretende evidenciar variables que son fundamentales para el conocimiento del estado ambiental de la ciudad y que actualmente no se miden; de este modo, insiste en la generación de información básica para que la ciudad pueda mejorar su gestión ambiental en el futuro a partir de información clara y completa.

El ICAM fue desarrollado por un grupo multidisciplinario perteneciente a la Subdirección de Información y Evaluación estratégica del Departamento Administrativo de Planeación de Medellín, basado en información de diversos índices ambientales propuestos para diferentes ciudades y países en el mundo (Yale, 2016., Greenpeace, 2015., MinAmbiente, 2013., ILAC, 2012., EIU, 2010., Municipio de Frías, 2009., CEPAL, 2001). Posteriormente, fue ajustado y avalado por expertos de la ciudad en temas ambientales, provenientes de los sectores público, privado, académico, empresarial y ONGs.

El índice comprende diferentes indicadores agrupados en 9 dimensiones que son: impactos en la salud humana, clima y meteorología, calidad del aire, recursos hídricos, suelo, ecosistemas y biodiversidad, residuos sólidos, riesgo ambiental de origen antrópico y gobernabilidad. Este índice es un indicador trazador para la ciudad y por lo tanto contiene

¹ Basado en el Environmental Performance Index (EPI) desarrollado por Yale University.





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

información de diferentes fuentes como las autoridades ambientales del municipio (AMVA y Corantioquia), y demás entes involucrados con la generación de información ambiental como son algunas secretarías municipales (principalmente la Secretaría de Medio Ambiente), Departamento Administrativo de Planeación, EPM, DAGRD, entre otros.



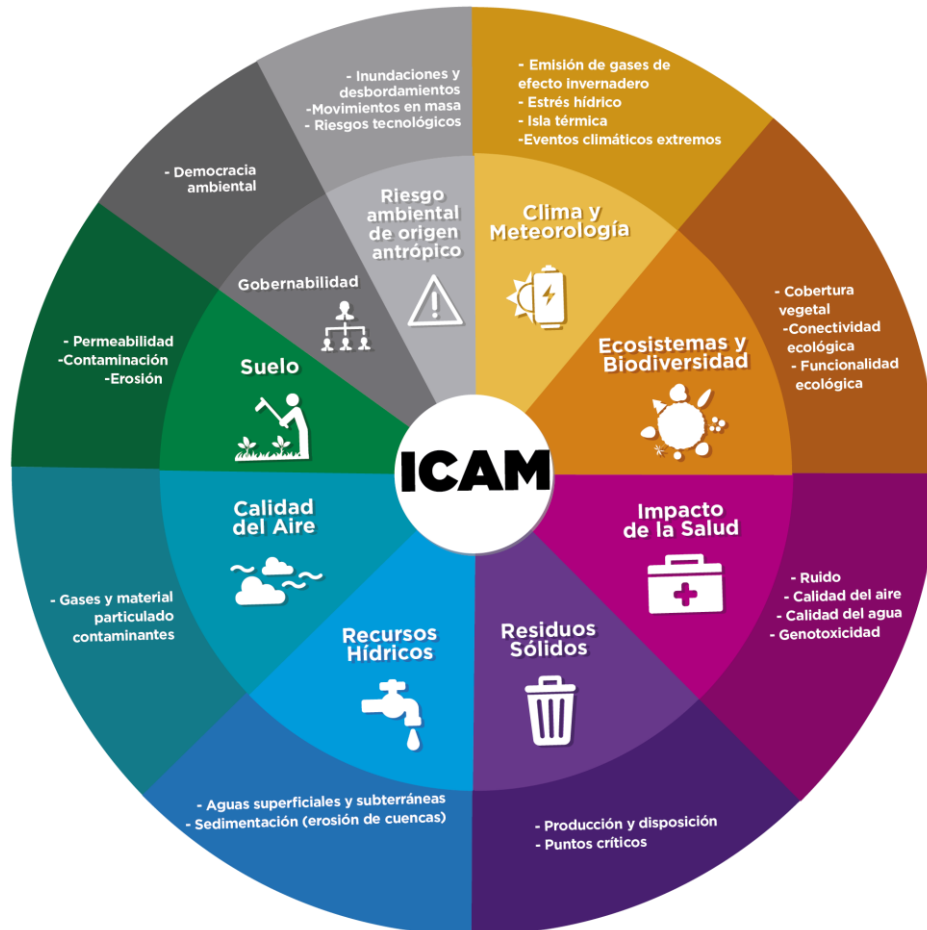
Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



2. Dimensiones incluidas en el ICAM



Fuente: Subdirección de Información y Evaluación Estratégica, DAP. 2016.
Adaptado de Environmental Performance Index. Yale University. <http://epi.yale.edu/>

2.1. Impactos en la salud humana.

Las condiciones ambientales, especialmente en áreas urbanizadas, influyen ampliamente sobre la salud de las personas. La calidad del aire y del agua, el confort sonoro, el entorno al interior de las edificaciones, entre otros, tienen implicaciones en el bienestar humano y por ende en la salud. Según la OMS (2016), aproximadamente el 24% de la carga mundial





de morbilidad y el 23% de la mortalidad son atribuibles a factores ambientales que son modificables. Estos alarmantes datos, son una base fundamental para la implementación de estrategias de mejoramiento de las condiciones ambientales, con un enfoque social.

En Medellín, la medición de variables relacionadas con el impacto del ambiente en la salud humana es aún deficiente. Las variables con mayor cantidad de datos son las relacionadas con morbilidad y mortalidad por enfermedades respiratorias y de origen hídrico (Secretaría de Salud, 2015), pero aún es necesario incrementar los esfuerzos en la medición de los impactos de otros factores como los agentes genotóxicos y los riesgos tecnológicos.

De acuerdo a lo anterior, los factores propuestos para medir esta dimensión son los siguientes:

Área expuesta a contaminación acústica diurna y nocturna
Morbilidad y mortalidad por infecciones respiratorias agudas y por enfermedades de origen hídrico
Inseguridad alimentaria
Morbilidad generada por agentes genotóxicos e intoxicaciones por plaguicidas
Variables del ambiente construido como la contaminación lumínica, el grado de polarización de la luz del cielo y la compacidad urbana (volumen de las edificaciones en un área determinada)

2.2. Clima y meteorología

La acelerada acumulación de gases de efecto invernadero como resultado de la quema de combustibles fósiles, tiene un efecto directo sobre el aumento de la temperatura global. Todos los efectos que se derivan de esta situación, afectan en mayor o menor medida a todos los sistemas del planeta. Este escenario actual de cambio global presenta grandes retos para las ciudades, pues es necesario generar medidas no solo de mitigación sino también de adaptación ante el fenómeno.





Medellín ha sido conocida durante muchos años como la “ciudad de la eterna primavera”, debido a su temperatura confortable y relativamente invariable durante el año. Sin embargo, esta condición se ha modificado con el tiempo, debido no solo a los cambios en las dinámicas climáticas globales, sino a su condición topográfica. Por ser un valle estrecho rodeado por montañas, los vientos son constantes pero suaves, lo que propicia una constante acumulación de gases contaminantes en la atmósfera, que a su vez influyen en la modificación de las características microclimáticas de la ciudad (IDEAM, 2015).

En esta dimensión, se hace seguimiento a los factores directamente involucrados con el cambio climático como la emisión de gases de efecto invernadero y la ocurrencia de eventos climáticos extremos, además de otros factores microclimáticos como la intensidad de la isla de calor urbana.

2.3. Calidad del aire

La contaminación del aire resulta de la suma de diferentes fuentes de emisión que incluyen las industrias, los vehículos automotores, el uso de productos químicos (productos de aseo, pinturas, etc.) entre otros. Generalmente la contaminación del aire se vuelve más crítica en los grandes centros urbanos, debido al deterioro que genera el crecimiento acelerado de las industrias, de la urbanización y del parque automotor, el mal manejo de residuos sólidos, entre otros (Martínez y col, 2007).

Como se mencionó anteriormente, en Medellín y el Valle de Aburrá en general, las condiciones topográficas y las dinámicas meteorológicas locales como la precipitación y la dirección y velocidad del viento, hacen que los contaminantes atmosféricos se acumulen en la parte baja de la atmósfera, empeorando la calidad del aire (AMVA, 2016).

Desde hace más de dos décadas, se han incrementado los esfuerzos para mejorar el conocimiento sobre las condiciones locales que afectan la calidad del aire. Las investigaciones han estado mayormente orientadas a la caracterización de los contaminantes criterio y a la modelización de su comportamiento. Sin embargo, existen





todavía campos menos explorados como sus efectos en la salud de la población y el impacto económico y social de la contaminación del aire (Daniels y col., 2007)

De acuerdo a la información disponible, los factores propuestos para hacer seguimiento a esta dimensión son los que actualmente mide el AMVA a través de la red de monitoreo de calidad del aire (RedAire). Se incluyeron las concentraciones de contaminantes criterio como CO, SO₂, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ superficial y el número de eventos que reportan calidad atmosférica moderada, dañina o peligrosa según el Índice de Calidad del Aire (ICA) del AMVA.

2.4. Recursos hídricos

El agua es un recurso vital. Para tener un diagnóstico del estado de los recursos hídricos de un lugar determinado, es necesario evaluar factores como oferta, demanda, calidad y gestión. En el caso de Medellín, se presentan diversas situaciones y problemáticas relacionadas con la dependencia hídrica sobre cuencas externas al municipio, el uso ilegal e irracional del agua tanto superficial como subterránea y la contaminación de las fuentes de agua por descargas de aguas residuales de origen doméstico e industrial (AMVA, 2015)

Un alto porcentaje del agua consumida en la cuenca del río Aburrá es importada de cuencas vecinas, lo que genera una condición de dependencia hídrica; el poco consumo de fuentes internas se da principalmente en algunas zonas rurales del municipio.

Bajo este panorama, para esta dimensión se tienen en cuenta variables como la capacidad de provisión del recurso, el acceso al agua potable, la calidad del agua superficial y subterránea y la sedimentación del río.

2.5. Suelo

El recurso suelo es fundamental para la productividad y el mantenimiento de funciones ecológicas esenciales para el sostenimiento de la vida. La degradación del suelo debido a la expansión urbana, la erosión, la contaminación, entre otros, conlleva a una pérdida no solo





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

de su capacidad productiva sino de otros recursos naturales como el agua, la flora y la fauna, elementos fundamentales en el bienestar humano.

Según el diagnóstico del Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2014), el municipio tiene una alta proporción de suelo en conflicto de uso, porque aún existen diferencias entre los usos propuestos y el uso actual. En esta dimensión se evalúan los principales elementos de degradación del suelo en zonas urbanizadas como son la pérdida de permeabilidad, la contaminación y la erosión.

2.6. Ecosistemas y biodiversidad

La salud de los ecosistemas y de la biodiversidad son factores determinantes en el mantenimiento de la calidad de vida de las comunidades humanas y proveen bienes y servicios fundamentales para el desarrollo de la sociedad.

El Valle de Aburrá cuenta con unas características físicas, sociales y naturales cuyas interacciones se pueden definir como un sistema socio-ecológico. Sobre este sistema existen diferentes grados de afectación relacionadas con las actividades humanas, que van desde la fragmentación de bosques y humedales con alta biodiversidad hasta zonas altamente urbanizadas. La funcionalidad de estos elementos socio-ecológicos se puede definir con respecto a los servicios ambientales que prestan para el bienestar humano y de las otras especies del paisaje. La funcionalidad ambiental y ecológica en un paisaje urbano depende de los patrones espaciales y temporales de la urbanización y de los impactos de la urbanización en la biodiversidad y las funciones de los socio-ecosistemas (Kremer y col, 2016., Wu, 2014).

Por lo anterior, es fundamental generar un adecuado monitoreo de la funcionalidad de los socio-ecosistemas para suplir la demanda de servicios ambientales, con el fin de evaluar si se están logrando metas propuestas en la construcción de una ciudad sostenible y con suficiente resiliencia ante perturbaciones ambientales (incluyendo eventos relacionados con cambio climático). En este sentido, esta dimensión incluye temas relacionados con las coberturas vegetales a nivel urbano y rural, y los procesos de conectividad y funcionalidad de los ecosistemas del municipio.



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



2.7. Residuos sólidos

Los residuos sólidos son materiales resultantes de cualquier proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza. Dependiendo de su origen y composición y manejo, los residuos pueden llegar a ser aprovechados e ingresar nuevamente a la cadena productiva, o por el contrario, ser desechados generando graves problemas ambientales.

La cantidad de residuos que se generan en los centros urbanos es bastante alta y no siempre ocurre lo mismo con su aprovechamiento. En el caso de Medellín y en general el área metropolitana, el porcentaje de recuperación de residuos sólidos no alcanza el 15% (Emvarias, 2015).

Los procesos de reducción en la generación de residuos sólidos y aumento de su reutilización y reciclaje, tienen un efecto directo sobre el mejoramiento de la calidad ambiental. De acuerdo a esto, las variables incluidas en esta dimensión están relacionadas con la cantidad de residuos dispuestos en el relleno sanitario y con la cantidad de puntos críticos de disposición ilegal de residuos sólidos en la ciudad.

2.8. Riesgo ambiental de origen antrópico

El riesgo ambiental se refiere a los daños que puedan generarse por factores del entorno, ya sean propios de la naturaleza o provocados por el ser humano. Los factores de riesgo ambiental son variados y pueden estar relacionados con las características geográficas, físicas, económicas, sociales y naturales de un lugar determinado.

Las amenazas de desastres naturales sólo representan un riesgo cuando ocurren en zonas habitadas. Sin embargo, en zonas muy alteradas por la actividad humana como es el caso de las áreas urbanas, los “desastres naturales” pueden ser causados por un mal manejo de los recursos naturales por parte de los seres humanos. Ejemplos típicos de esto, son los





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

deslizamientos por pérdida de coberturas vegetales o inundaciones por modificaciones en las dinámicas hidráulicas de las cuencas hidrográficas.

Adicionalmente a estos factores, en esta dimensión se tiene en cuenta el riesgo ambiental de origen tecnológico, el cual ha empezado a tener mayor relevancia para la ciudad y toda el área metropolitana.

2.9. Gobernabilidad

Según lo definido en el POT de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2014), actualmente se encuentra en proceso de estudio y reglamentación, la aplicación de instrumentos jurídicos y económicos como el Pago por Servicios Ambientales, que permitirán invertir en la conservación de ecosistemas que proveen servicios ambientales fundamentales para el desarrollo de la ciudad y la región.

Esta dimensión, relaciona la aplicación de los diferentes instrumentos de gestión y financiación con los que cuenta la ciudad para fortalecer su desempeño ambiental.

El Anexo 3 contiene la matriz completa de indicadores con sus respectivas descripciones y líneas base.



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



3. Metodología de cálculo del ICAM

El cálculo del índice de Condición Ambiental de Medellín - ICAM, se realizó teniendo en cuenta la ruta metodológica planteada por el MADS para el cálculo del Índice de Calidad Ambiental Urbana –ICAU (MinAmbiente, 2013). En este procedimiento se incluyen todos los indicadores clasificados en dos grupos: **indicadores directos**, los cuales deben tener un mayor peso en la definición del resultado final, por lo cual se otorga una participación del 70% y el 30% restante, corresponde al grupo de **indicadores indirectos**.

Los indicadores directos están relacionados con las funciones y políticas ambientales, cuya generación es responsabilidad directa de la Autoridad Ambiental; los indicadores indirectos están relacionados con competencias y políticas diferentes a las ambientales, cuya generación es responsabilidad directa de las entidades territoriales, empresas de servicios públicos, entre otras.

El sentido del indicador (creciente o decreciente), aporta una información definitiva para el cálculo. Teniendo en cuenta que no todos tienen el mismo sentido, debe estandarizarse. Los valores se ponderan de acuerdo al máximo ideal que se tiene en el cálculo de los indicadores. Los valores de referencia fueron definidos en su gran mayoría a partir de estándares, normas, metas, parámetros establecidos en reglamentos técnicos. De acuerdo con los valores de referencia, se estableció una escala de calificación entre 0 y 1, donde el menor valor es la peor condición del indicador y 1 la mejor condición del indicador.

Nota: Para consultar los modelos estadísticos y su clasificación, ver anexo 1.

3.1. Cálculo de las ponderaciones de los indicadores

En la construcción y validación del Índice de Condición Ambiental de Medellín (ICAM), se combinaron, en una única medida las variables que conformaron cada uno de los indicadores relevantes. Una vez realizado el análisis de las variables transformadas, se tipificó de manera que el rango posible de valores estuviera entre 0 y 100 puntos, para facilitar su comprensión, cuantificando cada indicador de la siguiente manera:





Paso 1: cálculo del rango de cada uno de los indicadores

$$R = \text{Máximo ideal} - 0$$

Valores correspondientes a cada una de las unidades que presenta el indicador en su medición.

Paso 2: Cálculo del número de intervalo para cada indicador

$$K = 1 + 3,32 * \text{LOG} (\text{máximo ideal})$$

El máximo ideal o valor mayor del límite al que puede llegar el indicador.

Paso 3: Cálculo de amplitud en el intervalo

$$a = R/K$$

Se calcula la amplitud permitida para la ponderación del indicador.

3.2. Ponderación de los indicadores

Ver anexo 2.

3.3. Resultados del cálculo y clasificación del ICAM

El cálculo final del ICAM se define utilizando el ICAU como referencia, así:

$$VFD = \sum VOI * \frac{70}{\# \text{ de indicadores reportados como directos}}$$

$$VFI = \sum VOI * \frac{30}{\# \text{ de indicadores reportados como indirectos}}$$





Donde:

VOI, es el valor obtenido del indicador de acuerdo con la escala de calificación asignada a cada valor de referencia.

Entonces,

$$VFD = \sum 5,34 \frac{70}{17} = 21,99$$

$$VFI = \sum 1,29 * \frac{30}{15} = 2,58$$

Una vez obtenidos los valores finales (VF) de cada grupo de indicadores (directos e indirectos), se realiza la suma de los dos, cuyo resultado es el valor final del índice.

$$ICAM = VFD + VFI$$

Por tanto,

$$ICAM = 21,99 + 2,58 = 24,57$$

El resultado obtenido se debe clasificar en uno de los cinco (5) rangos definidos, en donde cada uno de ellos indica un nivel de condición ambiental, tal como se presenta en la siguiente tabla:





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

Clasificación cualitativa	Puntaje
Muy baja condición ambiental	< = 20 puntos
Baja condición ambiental	20,1 a 40 puntos
Condición ambiental media	40,1 a 60 puntos
Alta condición ambiental	60,1 a 80 puntos
Muy alta condición ambiental	> 80 puntos

Fuente: MinAmbiente, 2013. Índice de Calidad Ambiental Urbana (ICAU)

Según lo anterior, Medellín se encuentra en la clasificación de Baja condición ambiental.



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



4. Anexos

4.1. Anexo 1. Modelos estadísticos.

¿Qué es un modelo estadístico?

La construcción del indicador, está compuesto por una serie de indicadores simples, que a su vez están compuestos por dos o más datos que constituyen la base del sistema. Las categorías de indicadores son las dimensiones que se pretenden medir.

Un modelo es una representación formal de un sistema real, con el que se pretende aumentar su comprensión, hacer predicciones y ayudar a su control. Los modelos matemáticos o cuantitativos son descritos por un conjunto de símbolos y relaciones lógico-matemáticas (Nuñez, E., Steyerberg, E., Nuñez, J., 2011).

Un **modelo estadístico** es una ecuación matemática que reproduce los fenómenos que observamos de la forma más exacta posible. Para ello tiene en cuenta los datos suministrados y la influencia que el azar tiene en estas observaciones (Ocaña, 2016).

El primer paso es establecer el problema en forma clara y lógica delimitando sus fronteras; luego viene la recogida y depuración de datos; el diseño del experimento; las pruebas de contrastes; la verificación del modelo y la validación de las hipótesis. Un factor muy importante es que haya una alta correlación entre lo que predice el modelo y lo que actualmente ocurre en el sistema real (Ocaña, 2016). Se hizo una revisión exhaustiva de varios modelos, en los que se evaluaron la pertinencia y oportunidad en la construcción y modelación de cada uno de los índices.





Clasificación de modelos

Modelos de clasificación

Los modelos de clasificación usan el valor de uno o más campos de entrada para predecir el valor de uno o más resultados o campos de destino. Las técnicas de modelado incluyen aprendizaje automático de las máquinas, inducción de reglas, identificación de subgrupos, métodos estadísticos y generación de varios modelos (IBM, 2016).

En el Modelo de Regresión Multivariable, la recolección de datos obedece al afán de explicar las interrelaciones que existen entre ciertas variables o a determinar los factores que afectan a la presencia o ausencia de un episodio adverso determinado, en la gran mayoría de los casos. El objetivo final será obtener un modelo simplificado que tenga sentido desde una perspectiva biológica, se atenga estrechamente a los datos disponibles y aporte predicciones válidas al aplicarlo a datos independientes (Ocaña, 2016).

El modelo lineal generalizado amplía el modelo lineal general, de manera que la variable dependiente está relacionada linealmente con los factores y las covariables mediante una determinada función de enlace. Además, el modelo permite que la variable dependiente tenga una distribución no normal. Cubre la funcionalidad de un amplio número de modelo estadísticos, incluyendo regresión lineal, regresión logística, modelos log lineales para recuento de datos y modelos de supervivencia censurados por intervalos.

Un modelo lineal mixto generalizado (GLMM) amplía el modelo lineal de modo que el objetivo pueda tener una distribución no normal, esté linealmente relacionado con los factores y covariables mediante una función de enlace especificada y las observaciones se puedan correlacionar (IBM, 2016).

El análisis discriminante realiza más supuestos rigurosos que regresiones logísticas, pero puede ser una alternativa o un suplemento valioso al análisis de regresión logística si se cumplen dichos supuestos. La regresión logística es una técnica de estadístico para clasificar los registros en función los valores de los campos de entrada. Es análoga a la regresión lineal pero toma un campo objetivo categórico en lugar de uno numérico.





La Regresión de Cox le permite crear un modelo de supervivencia para datos de tiempo hasta el evento en presencia de registros censurados. El modelo produce una función de supervivencia que predice la probabilidad de que el evento de interés se haya producido en el momento dado (t) para valores determinados de las variables de entrada (IBM, 2016).

En los modelos antes mencionados, es indispensable que se cumplan ciertos criterios y supuesto de independencia lineal entre las variables, supuesto de parámetros constantes en el tiempo, supuesto de regresores no estocásticos, es decir, el valor de las variables explicativas es constante en la función de distribución, por tal motivo no es posible definir el modelo que se va a implementar a partir de los mencionados anteriormente.

Modelos de Segmentación

Estos modelos, dividen los datos en segmentos o clústeres de registros que tienen patrones similares de campos de entrada. Como sólo se interesan por los campos de entrada, los modelos de segmentación no contemplan el concepto de campos de salida o destino.

Los modelos de segmentación (también conocidos como "modelos de agrupación en clústeres") son útiles en aquellos casos en los que se desconoce el resultado específico. Los modelos de agrupación en clústeres se centran en la identificación de grupos de registros similares y en el etiquetado de registros según el grupo al que pertenecen.

La Agrupación en clústeres automática calcula y compara los modelos de agrupación en clústeres que identifican grupos de registros con características similares. Los modelos se pueden comparar utilizando medidas básicas con las que se intenta filtrar y definir la utilidad de los modelos de clúster y proporcionar una medida según la importancia de campos concretos.

K-medias agrupa conjuntos de datos en grupos distintos (o clústeres). El método define un número fijo de clústeres, de forma iterativa asigna registros a los clústeres y ajusta los centros de los clústeres hasta que no se pueda mejorar el modelo. En lugar de intentar





predecir un resultado, los modelos de k-medias utilizan un proceso conocido como aprendizaje no supervisado para revelar los patrones del conjunto de campos de entrada.

El bietápico es un método de agrupación en clústeres de dos pasos. El primer paso es hacer una única pasada por los datos para comprimir los datos de entrada de la fila en un conjunto de subclústeres administrable. El segundo paso utiliza un método de agrupación en clústeres jerárquica para fundir progresivamente los subclústeres en clústeres cada vez más grandes. El bietápico tiene la ventaja de estimar automáticamente el número óptimo de clústeres para los datos de entrenamiento. Puede gestionar tipos de campos mixtos y grandes conjuntos de datos eficazmente (IBM, 2016).

El éxito en la aplicación de las diferentes técnicas o modelos en la explicación de las variables, depende, en primer lugar, del conocimiento de los datos disponibles, de la formulación precisa del problema que se trata de resolver, y de la utilización de las fuentes adecuadas de datos, tanto internos como externos.

Los análisis de cambios en extremos y el cálculo exitoso de los índices de cambio climático dependen de la disponibilidad y calidad de los datos climáticos en la región de interés. Una base de datos climática debe contener información sobre las variables del clima en los sitios de observación y también información sobre otros factores (Vásquez, 2010).

La selección de datos climáticos es necesaria como requisito previo al cálculo de los índices debido que las series de tiempo de los datos instrumentales del clima no son perfectas y pueden contener registros en los que las mediciones no se reportaron, comúnmente denominados “datos faltantes”. Al contrario, de ser un procedimiento favorable, en tal caso, el imputar los datos aumenta la incertidumbre de los análisis, y se crea artificialmente un comportamiento del clima que en realidad nunca sucedió (Vásquez, 2010).

Indicadores Sintéticos

Un indicador sintético se obtiene con el objetivo de proporcionar al usuario la mayor cantidad posible de información contenida en el sistema de partida. Asimismo, los valores del indicador sintético deben permitir obtener un ranking de las alternativas analizadas, de





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

forma que el usuario sea capaz de discriminar entre ellas identificando sus principales características (Blancas, 2011).

Para que un indicador sintético cumpla este propósito, la metodología empleada para su obtención deberá cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ Minimizar la cantidad de información perdida al realizar la agregación, de forma que el indicador sintético sea una medida multidimensional lo más completa posible.
- ✓ No permitir la compensación total entre unos indicadores iniciales y otros, de manera que una unidad que presente un mal resultado en algunas de las dimensiones estratégicas no pueda ser compensado por un buen resultado en otro.
- ✓ Reducir la subjetividad asociada al indicador sintético reduciendo al mínimo el papel del analista, de forma que sus decisiones influyan lo menos posible sobre los resultados finales.
- ✓ Permitir la discriminación total entre las alternativas consideradas, reduciendo al mínimo el número de empates entre ellas.

La flexibilidad con la que se fijan los pesos puede hacer que se obtengan resultados extremos, que podría llevar a la obtención de indicadores sintéticos basados en un único indicador inicial. Estas situaciones extremas se producen sobre todo en aquellos casos en los que el sistema inicial está compuesto por un alto número de indicadores. Es por esto que este tipo de modelos, tal y como están definidos, sean poco operativos para aplicaciones empíricas y que requieran, la inclusión de restricciones adicionales al valor de los pesos individuales que limite la variabilidad de los mismos, lo que supone, necesariamente, una carga adicional de subjetividad al procedimiento (Blancas, 2011).



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



4.2. Anexo 2. Ponderación de los indicadores

# de Indicador	Indicador	Valor Mínimo	Valor Máximo	Ponderador	Referencia
1	Área expuesta a contaminación acústica diurna	0,00	65,00	100,00	65,00
		1,00	0,00		7,02
		0,00	9,26	1,00	9,26
		9,26	18,52	0,86	
		18,52	27,78	0,71	0,14
		27,78	37,04	0,57	
		37,04	46,30	0,43	
		46,30	55,56	0,29	
		55,56	64,83	0,14	
64,83	74,09	0,00			
2	Área expuesta a contaminación acústica nocturna	0,00	65,00	100,00	65,00
		1,00	0,00		6,90
		0,00	9,42	1,00	9,42
		9,42	18,83	0,83	0,17
		18,83	28,25	0,67	
		28,25	37,66	0,50	
		37,66	47,08	0,33	
		47,08	56,49	0,17	
		56,49	65,91	0,00	
3	Morbilidad por infecciones respiratorias agudas	0,00	16,60	100,00	16,60
		1,00	0,00		5,09
		0,00	3,26	1,00	3,26
		3,26	6,53	0,80	
		6,53	9,79	0,60	0,20
		9,79	13,06	0,40	
		13,06	16,32	0,20	
		16,32	19,59	0,00	
4	Mortalidad por infecciones respiratorias agudas	0,00	25,50	100,00	25,50
		1,00	0,00		5,64
		0,00	4,52	1,00	4,52
		4,52	9,04	0,80	
		9,04	13,56	0,60	0,20
		13,56	18,08	0,40	
		18,08	22,60	0,20	
		22,60	27,12	0,00	
5	Morbilidad por enfermedades de origen hídrico	0,00	7,03	100,00	7,03
		1,00	0,00		3,81
		0,00	1,85	1,00	1,85
		1,85	3,70	0,70	
		3,70	5,54	0,40	





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

		5,54	7,39	0,00	
6	Mortalidad por enfermedades de origen hídrico	0,00	2,40	100,00	2,40
		1,00	0,00		2,00
		0,00	1,20	1,00	1,20
		1,20	2,40	0,00	
7	Hogares en inseguridad alimentaria	0,00	47,70	100,00	47,70
		1,00	0,00		6,58
		0,00	7,25	1,00	7,25
		7,25	14,49	0,75	
		14,49	21,74	0,60	
		21,74	28,99	0,45	
		28,99	36,24	0,30	
		36,24	43,48	0,15	
		43,48	50,73	0,00	
9	Casos reportados de intoxicación por plaguicidas	0,00	252,00	100,00	252,00
		1,00	0,00		8,97
		0,00	28,09	1,00	28,09
		28,09	56,17	0,9	
		56,17	84,26	0,78	
		84,26	112,34	0,65	
		112,34	140,43	0,52	
		140,43	168,51	0,39	
		168,51	196,60	0,26	
		196,60	224,68	0,13	
		224,68	252,77	0	
10	Acceso a agua potable	0,00	100,00	100,00	100,00
		0,00	1,00		7,64
		0,00	13,09	0,00	13,09
		13,09	26,2	0,14	
		26,18	39,3	0,28	
		39,27	52,4	0,42	
		52,36	65,4	0,56	
		65,45	78,5	0,7	
		78,53	91,6	0,84	
		91,62	104,7	1	
14	Concentración de Monóxido de Carbono (CO) en el ambiente	0,00	10000,00	100,00	10000,00
		1,00	0,00		14,28
		0,00	700,28	1,00	700,28
		700,28	1400,6	0,96	
		1400,56	2100,8	0,88	
		2100,84	2801,1	0,80	
		2801,12	3501,4	0,72	
		3501,4	4201,7	0,64	
		4201,68	4902,0	0,56	
		4901,96	5602,2	0,48	
		5602,24	6302,5	0,40	





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

		6302,52	7002,8	0,32	
		7002,80	7703,1	0,24	
		7703,08	8403,4	0,16	
		8403,36	9103,6	0,08	
		9103,64	9803,9	0,00	
15	Dióxido de azufre (SO2) en el ambiente	0,00	80,00	100,00	80,00
		1,00	0,00		7,32
		0,00	10,93	1,00	10,93
		10,93	21,9	0,75	
		21,86	32,8	0,50	
		32,79	43,7	0,25	
		43,73	54,7	0,00	
16	Dióxido de nitrógeno (NO2) en el ambiente	0,00	100,00	100,00	100,00
		1,00	0,00		7,64
		0,00	13,09	1,00	13,09
		13,09	26,18	0,79	
		26,18	39,3	0,62	
		39,27	52,4	0,45	
		52,36	65,4	0,28	
		65,45	78,5	0,17	
		78,53	91,6	0	
17	Concentración de material particulado menor de 2.5 micrómetros (PM2.5)	0,00	25,00	100,00	25,00
		1,00	0,00		5,64
		0,00	4,43	1,00	4,43
		4,43	8,9	0,8	
		8,86	13,3	0,6	
		13,30	17,7	0,4	
		17,73	22,2	0,2	
		22,16	26,6	0	
18	Concentración de material particulado menor a 10 micrómetros (PM10)	0,00	50,00	100,00	50,00
		1,00	0,00		6,64
		0,00	7,53	1,00	7,53
		7,53	15,1	0,79	
		15,06	22,6	0,62	
		22,59	30,1	0,45	
		30,12	37,6	0,28	
		37,65	45,2	0,17	
		45,18	52,7	0	
19	Concentración de Ozono en el ambiente	0,00	80,00	100,00	80,00
		1,00	0,00		7,32
		0,00	10,93	1	10,93
		10,93	21,9	0,875	



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

		21,86	32,8	0,75	0,125
		32,79	43,7	0,625	
		43,73	54,7	0,5	
		54,66	65,6	0,375	
		65,59	76,5	0,25	
		76,52	87,5	0,125	
		87,45	98,4	0	
19	Eventos que superan la calidad del aire recomendada	0,00	1609,00	100,00	1609,00
		1,00	0,00		11,65
		0,00	138,16	1,00	138,16
		138,16	276,32	0,91	
		276,32	414,49	0,83	
		414,49	552,65	0,74	
		552,65	690,81	0,65	
		690,81	828,97	0,55	
		828,97	967,13	0,46	
		967,13	1105,29	0,37	
		1105,29	1243,46	0,28	
		1243,46	1381,62	0,18	
		1381,62	1519,78	0,09	
		1519,78	1657,94	0,00	
20	Emisiones de CO2 equivalente per cápita	0,00	1,40	100,00	1,40
		1,00	0,00		1,49
		0,00	0,94	1,00	0,94
		0,94	1,89	0,00	1,00
23	Capacidad de provisión del recurso hídrico	0,00	100,00	100,00	100,00
		0,00	1,00		7,64
		0,00	13,09	0,00	13,09
		13,09	26,2	0,14	
		26,18	39,3	0,28	
		39,27	52,4	0,42	
		52,36	65,4	0,56	
		65,45	78,5	0,7	
		78,53	91,6	0,84	
		91,62	104,7	1	
24	Calidad de agua superficial (ICACOSU)	0,00	100,00	100,00	100,00
		0,00	1,00		7,64
		0,00	13,09	0,00	13,09
		13,09	26,2	0,14	
		26,18	39,3	0,28	
		39,27	52,4	0,42	
		52,36	65,4	0,56	
		65,45	78,5	0,7	
		78,53	91,6	0,84	
		91,62	104,7	1	
25	Calidad del agua subterránea (ICA-AS)	0,00	100,00	100,00	100,00
		1,00	0,00		7,64





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

		0,00	13,09	0,00	13,09
		13,09	26,2	0,14	
		26,18	39,3	0,28	
		39,27	52,4	0,42	
		52,36	65,4	0,56	
		65,45	78,5	0,7	
		78,53	91,6	0,84	
		91,62	104,7	1	
27	Suelo con procesos erosivos activos	0,00	1,63	100,00	1,63
		1,00	0,00		1,70
		0,00	0,96	1,00	0,96
		0,96	1,9	0,5	
		1,91	2,9	0	
28	Permeabilidad urbana	0,00	100,00	100,00	100,00
		0,00	1,00		7,64
		0,00	13,09	0,00	13,09
		13,09	26,18	0,14	
		26,18	39,27	0,28	
		39,27	52,36	0,43	
		52,36	65,45	0,57	
		65,45	78,53	0,71	
		78,53	91,62	0,85	
		91,62	104,71	1	
29	Zonas vulnerables a contaminación del suelo	0,00	2,21	100,00	2,21
		0,00	1,00		2,00
		0,00	1,11	1,00	1,11
		1,00	2,11	0,5	
		2,00	3,11	0	
30	Cobertura vegetal urbana	0,00	50,00	100,00	50,00
		0,00	1,00		6,64
		0,00	7,53	0,00	7,53
		7,53	15,06	0,17	
		15,06	22,59	0,34	
		22,59	30,12	0,51	
		30,12	37,65	0,68	
		37,65	45,18	0,83	
		45,18	52,71	1	
31	Cobertura boscosa	0,00	50,00	100,00	50,00
		0,00	1,00		6,64
		0,00	7,53	0,00	7,53
		7,53	15,06	0,17	
		15,06	22,59	0,34	
		22,59	30,12	0,51	
		30,12	37,65	0,68	
		37,65	45,18	0,83	
		45,18	52,71	1	
32	Cobertura verde alternativa	0,00	136,00	100,00	136,00
		0,00	1,00		8,08
		0,00	17,00	0	17,00





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

		17,00	34,01	0,14286	
		34,01	51,01	0,28571	
		51,01	68,02	0,42857	
		68,02	85,02	0,57143	0,142857143
		85,02	102,03	0,71429	
		102,03	119,03	0,85714	
		119,03	136,04	1	
35	Residuos solidos dispuestos en el relleno sanitario	0,00	627731,00	100,00	627731,00
		0,00	1,00		20,25
		0,00	31001,19	0,00	31001,19
		31001,19	62002,38	0,05	
		62002,38	93003,58	0,11	
		93003,58	124004,77	0,16	
		124004,77	155005,96	0,21	
		155005,96	186007,15	0,26	
		186007,15	217008,35	0,31	
		217008,35	248009,54	0,36	
		248009,54	279010,73	0,41	
		279010,73	310011,92	0,46	
		310011,92	341013,12	0,51	
		341013,12	372014,31	0,57	
		372014,31	403015,50	0,62	
		403015,50	434016,69	0,67	
		434016,69	465017,89	0,72	
		465017,89	496019,08	0,77	
		496019,08	527020,27	0,82	
		527020,27	558021,46	0,88	
		558021,46	589022,65	0,93	
		589022,65	620023,85	1	
36	Puntos críticos de disposición ilegal de residuos sólidos reportados	0,00	121,00	100,00	121,00
		1,00	0,00		7,91
		0,00	15,29	1,00	15,29
		15,29	30,58	0,85	
		30,58	45,86	0,71	
		45,86	61,15	0,57	
		61,15	76,44	0,43	
		76,44	91,73	0,28	
		91,73	107,01	0,14	
		107,01	122,30	0	
38	Eventos de inundación o desbordamiento	0,00	204,00	100,00	204,00
		1,00	0,00		8,67
		0,00	23,53	1,00	23,53
		23,53	47,07	0,88	
		47,07	70,60	0,75	0,125
		70,60	94,14	0,63	
		94,14	117,67	0,50	
		117,67	141,21	0,38	
		141,21	164,74	0,25	
		164,74	188,28	0,13	
		188,28	211,81	0,00	





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

39	Eventos de movimientos en masa	0,00	1180,00	100,00	1180,00
		1,00	0,00		11,20
		0,00	105,37	1,00	105,37
		105,37	210,74	0,91	
		210,74	316,11	0,82	0,090909091
		316,11	421,48	0,73	
		421,48	526,85	0,64	
		526,85	632,22	0,55	
		632,22	737,59	0,45	
		737,59	842,96	0,36	
		842,96	948,33	0,27	
		948,33	1053,70	0,18	
		1053,70	1159,07	0,09	
		1159,07	1264,44	0,00	
41	Mortalidad asociada a eventos adversos de origen antrópico	0,00	1,00	100,00	1,00
		1,00	0,00		1,00
		0,00	1,00	1,00	1,00
		1,00	2,00	0,00	
42	Área con instrumentos jurídico-económicos ambientales aplicados	0,00	61,02	100,00	61,02
		0,00	1,00		6,95
		0,00	8,78	0,00	8,78
		8,78	17,56	0,15	
		17,56	26,34	0,30	
		26,34	35,12	0,45	
		35,12	43,89	0,60	
		43,89	52,67	0,75	
		52,67	61,45	1,00	



4.3. Anexo 3. Matriz de indicadores contenidos en el ICAM

Dimensión	Número	Indicador	Descripción	Unidad de medida	Fórmula	Variable 1	Variable 2	Línea Base 2016				Clasificación del indicador	Fuente	
								Valor	Año	Valor Ponderado	Valor ideal		Reporta	Referencia 2015
Impactos en la salud humana	1	Área expuesta a contaminación acústica diurna	Área con exceso de niveles de ruido con respecto a los niveles de referencia (según tipo de usos del suelo, Resolución 0627/2006)	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Área expuesta a contaminación acústica diurna	V2 = Área urbana de Medellín	49,80	2015	0,29	0	Indirecto	AMVA	
	2	Área expuesta a contaminación acústica nocturna	Área con exceso de niveles de ruido con respecto a los niveles de referencia (según tipo de usos del suelo, Resolución 0627/2006)	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Área expuesta a contaminación acústica nocturna	V2 = Área urbana de Medellín	85,92	2015	0,00	0	Indirecto	AMVA	
	3	Morbilidad por infecciones respiratorias agudas	Porcentaje de total de consultas (externa, urgencias y UCI) relacionado con infección respiratoria aguda	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Número de consultas por infecciones respiratorias agudas	V2 = Número total de consultas (externa, urgencias y UCI)	16,60	2015	0,00	0	Indirecto	Secretaría de Salud	
	4	Mortalidad por infecciones respiratorias agudas	Casos que fallecieron por IRAG entre el total de los casos IRAG en UCI y hospitalizados	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Número de casos de fallecimiento por infección respiratoria aguda	V2 = Número total de casos registrados por IRAG en UCI y hospitalización	25,50	2015	0,00	0	Indirecto	Secretaría de Salud	



Alcaldía de Medellín

Cuenta con vos

5	Morbilidad por enfermedades de origen hídrico	Porcentaje de consulta de urgencias por enfermedades como diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Número de consultas por enfermedades diarreicas y gastroenteritis de presunto origen infeccioso	V2 = Número total de consultas (externa, urgencias y UCI)	7,03	2014	0,00	0	Indirecto	Secretaría de Salud
6	Mortalidad por enfermedades de origen hídrico	Casos que fallecieron por enfermedades como diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso entre el total de los casos en UCI y hospitalizados	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Número de casos de fallecimiento por enfermedades diarreicas y gastroenteritis de presunto origen infeccioso	V2 = Número total de casos registrados en UCI y hospitalización	2,40	2014	0,00	0	Indirecto	Secretaría de Salud
7	Hogares en inseguridad alimentaria	Hogares que se perciben con inseguridad alimentaria	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1= Hogares que se perciben con algún grado de inseguridad alimentaria	V2= Número total de hogares del Municipio de Medellín	47,70	2014	0,00	0,0	Indirecto	Secretaría de Inclusión Social, Familia y Derechos Humanos
9	Casos reportados de intoxicación por plaguicidas	Casos registrados por algún tipo de intoxicación atribuida a plaguicidas y otros agroquímicos	Número	V1	V1 = Casos reportados de enfermedades atribuidas a plaguicidas y otros agroquímicos		252,00	2014	0,00	0	Indirecto	Secretaría de Salud departamental
23	Acceso a agua potable	Usuarios que están conectados y reciben el servicio de acueducto	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Usuarios conectados al acueducto	V2= Número total de viviendas en el Municipio de Medellín	92,90	2014	1,00	100	Indirecto	EPM





Alcaldía de Medellín

Cuenta con vos

Calidad del aire	13	Concentración de Monóxido de Carbono (CO) en el ambiente	Cantidad de Monóxido de Carbono (CO) que se acumula en la atmósfera	µg /m3	V1	V1 = Cantidad de Monóxido de Carbono (CO) que se acumula en la atmósfera	4.501,20	2015	0,56	Directo	AMVA (RedAire)	http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/InventarioEmisionesAtmosfericas2013.pdf
	14	Dióxido de azufre (SO2) en el ambiente	Cantidad de Dióxido de azufre (SO2) que se acumula en la atmósfera	µg /m3	V1	V1 = Cantidad de Dióxido de azufre (SO2) que se acumula en la atmósfera	11,10	2015	0,75	Directo	AMVA (RedAire)	http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/InventarioEmisionesAtmosfericas2013.pdf
	15	Dióxido de nitrógeno (NO2) en el ambiente	Cantidad de Dióxido de nitrógeno (NO2) que se acumula en la atmósfera	µg /m3	V1	V1 = Cantidad de Dióxido de nitrógeno (NO2) que se acumula en la atmósfera	41,10	2015	0,45	Directo	AMVA (RedAire)	http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/InventarioEmisionesAtmosfericas2013.pdf
	16	Concentración de material particulado menor de 2.5 micrómetros (PM2.5)	Cantidad de material particulado menor de 2.5 micrómetros (PM2.5) que se acumula en la atmósfera	µg /m3	V1	V1 = Cantidad de material particulado menor de 2.5 micrómetros (PM2.5) que se acumula en la atmósfera	28,40	2015	0,00	Directo	AMVA (RedAire)	http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/InventarioEmisionesAtmosfericas2013.pdf



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín

Cuenta con vos

	17	Concentración de material particulado menor a 10 micrómetros (PM10)	Cantidad de material particulado menor a 10 micrómetros (PM10) que se acumula en la atmósfera	µg /m3	V1	V1 = Cantidad de material particulado menor a 10 micrómetros (PM10) que se acumula en la atmósfera		46,50	2015	0,00		Directo	AMVA (RedAire)	http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/InventarioEmisionesAtmosfericas2013.pdf
	18	Concentración de Ozono en el ambiente	Cantidad de Ozono troposférico que se acumula en la atmósfera	µg /m3	V1	V1 = Cantidad de Ozono troposférico que se acumula en la atmósfera		155,10	2015	0,00		Directo	AMVA (RedAire)	http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/InventarioEmisionesAtmosfericas2013.pdf
	19	Eventos que superan la calidad del aire recomendada	Numero de eventos que reportan calidad atmosférica moderada, dañina o peligrosa según Índice de Calidad del Aire del AMVA	Número	v1	V1 = Sumatoria del numero de veces -por estación de medición- cuya calidad atmosférica presentó valores del Índice de la Calidad del aire a partir de 51 puntos		1.609,00	2015	0,00	0	Directo	AMVA (RedAire)	AMVA - UNALMED Informe N°26 del Convenio CI-326 de 2014 N° interno 1416_18.0 Informe Acumulado Enero – Diciembre de 2015
Clima y meteorología	20	Emissiones de CO2 equivalente per cápita	Emissiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) expresadas en toneladas de CO2 equivalente divididas entre el total de la población	Toneladas	V1/V2	V1 = Emissiones totales de CO2 equivalente en el municipio de Medellín V2 = Número de habitantes del municipio de Medellín		1,40	2014	0,00		Directo	AMVA	http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/InventarioEmisionesAtmosfericas2013.pdf





Alcaldía de Medellín

Cuenta con vos

															cas2013.pdf
	24	Capacidad de provisión del recurso hídrico	Cantidad del agua total producida que proviene del propio territorio	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Cantidad de agua que proviene del Municipio de Medellín V2 = Cantidad de agua producida para abastecer a todo el municipio	7,10	2015	0,00	100	Indirecto	EPM	http://www.epm.com.co/site/Home/SostenibilidadEPM/Informacion.aspx		
Recursos hídricos	25	Calidad de agua superficial (ICACOSU)	Diagnostica la calidad integral del recurso hídrico superficial en la cuenca del río Aburrá Medellín, específicamente en las principales corrientes afluentes de la cuenca. El indicador se presenta en cada una de las estaciones sobre el Río Medellín y en las estaciones ubicadas sobre las quebradas	Puntos	$(V1+V2+V3+V4+V5)/(V6+V7)$	V1 = Oxígeno Disuelto (0.17) V2 = Sólidos Suspendedos Totales (0.17) V3 = Demanda Bioquímica de Oxígeno (0.17) V4 = Conductividad Eléctrica (0.17) V5 = Nitrógeno total V6 = Fosforo (0.17) V7 = pH (0.15)	5,79	2010	0,00		Directo	AMVA	Proyecto red de Monitoreo Ambiental en la cuenca hidrográfica del río aburrá de Medellín RedRio - FASE III. UdeA, UNal, UdeM, UPB. Subdirección Ambiental - Sistema Metropolitano de Información (SIM)		





Alcaldía de Medellín

Cuenta con vos

	26	Calidad del agua subterránea (ICA-AS)	Define el grado de calidad de un cuerpo de agua subterráneo con lo que se pretende reconocer problemas de contaminación. La contaminación de agua subterránea se define como la alteración indeseable en su calidad a consecuencia del desarrollo de actividades humanas	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1= Calidad del agua del acuífero que quiere usarse con fines domésticos, en relación con la normatividad colombiana V2=Total de acuíferos en el Municipio de Medellín	42,00	2014	0,42		Directo	AMVA	http://www.metropol.gov.co/rrecursohidrico/Documents/MemoriaPMAA_AguasSubterranas2015.pdf
Suelo	28	Suelo con procesos erosivos activos	Área del suelo municipal que presenta algún tipo de erosión	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Área con procesos erosivos en el municipio de Medellín V2 = Área total del municipio	1,63	2010	0,50	0	Directo	DAP	Basado en cartografía y análisis de fotografías aéreas de la Subdirección de Información y Evaluación estratégica
	29	Permeabilidad urbana	Relación entre el suelo permeable y no permeable en el área urbana de Medellín	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Suelo permeable V2 = Área urbana del municipio	45,28	2015	0,43	Mínimo 30 %	Directo	DAP	Basado en cartografía y análisis de fotografías aéreas de la Subdirección de Información y Evaluación estratégica





Alcaldía de Medellín

Cuenta con vos

	30	Zonas vulnerables a contaminación del suelo	Área del municipio destinada a actividades potencialmente contaminantes del suelo	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Área destinada a actividades potencialmente contaminantes del suelo	V2 = Área total del municipio	2,21	2015	0,00	0	Indirecto	DAP con información de Catastro y Departamento de Rentas	
Ecosistemas y biodiversidad	31	Cobertura vegetal urbana	Área verde urbana	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Área destinada a zonas verdes	V2 = Área urbana del municipio	31,78	2010	0,68	50	Directo	DAP	Basado en cartografía y análisis de fotografías aéreas de la Subdirección de Información y Evaluación estratégica
	32	Cobertura boscosa	Área de bosques en la zona rural	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Área de bosques	V2 = Área rural del municipio	45,04	2015	0,83	50	Directo	DAP	Basado en cartografía y análisis de fotografías aéreas de la Subdirección de Información y Evaluación estratégica
	33	Cobertura verde alternativa	Área correspondiente a superficies edilicias con tratamiento de infraestructura verde (específicamente fachadas vegetadas y cubiertas verdes) en obras civiles localizadas en el municipio de Medellín reportadas a la Red Colombiana de	Hectáreas	V1	V1 = Número de metros cuadrados correspondientes a superficies que instalan tecnologías de superficies vegetalizadas cada año		1,03	2015	0,00	136	Directo	MEDIO AMBIENTE	





Alcaldía de Medellín

Cuenta con vos

			Infraestructura Verde											
Residuos sólidos	36	Residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario	Residuos sólidos generados en el municipio de Medellín que llegan a ser dispuestos en el relleno sanitario según lo reportado por EMVARIAS	Toneladas	V1	V1 = Residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario cada año	627.731,00	2015	0,72	30% menos	Directo	EMVARIAS	Secretaría de Medio Ambiente	
	37	Puntos críticos de disposición ilegal de residuos sólidos reportados	Lugares de disposición ilegal de residuos sólidos reportados por EMVARIAS	Número	V1	V1= Puntos críticos de disposición de residuos reportados	121,00	2015	0,00	0	Directo	EMVARIAS	Secretaría de Medio Ambiente	
Riesgo Ambiental de origen antrópico	38	Eventos de inundación o desbordamiento	Eventos reportados por los ciudadanos a la línea 123, referidos a inundaciones o desbordamientos por comuna	Número	V1	V1 = Sumatoria de los eventos de inundación y desbordamiento cada año	204,00	2015	0,00	0	Indirecto	DAGR	DAGR	
	39	Eventos de movimientos en masa	Eventos reportados por los ciudadanos a la línea 123, referidos a deslizamientos por comuna	Número	V1	V1 = Sumatoria de los eventos de movimientos en masa cada año	1.180,00	2015	0,00	0	Indirecto	DAGR	DAGR	
	41	Mortalidad asociada a eventos adversos de origen antrópico	Pérdida de vidas humanas por causa de eventos adversos (fenómenos	Número	V1	V1= Número de víctimas mortales por causa de fenómenos de	1,00	2015	0,00	0	Indirecto	DAGR	Registros Administrativos Acumulado Diciembre de 2015	





Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

			naturales) de origen antrópico			origen natural o antrópico								
Gobernabilidad	42	Área con instrumentos jurídico-económicos ambientales aplicados	Área del municipio a la que se le han aplicado instrumentos jurídicos y económicos para la conservación ambiental	Porcentaje	$(V1/V2)*100$	V1 = Área con instrumentos jurídico-económicos ambientales aplicados	V2 = Área total del municipio	0,00	2015	0,00	61,02	Indirecto	DAP	

Fuente: Departamento Administrativo de Planeación. Ajuste y Actualización del Cálculo del ICAM. Información Histórica desde las Dependencias y valores permisibles para variables Ambientales



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co

5. Referencias bibliográficas

Alcaldía de Medellín. (2013). Propuesta para la gestión integral de la Biodiversidad y los servicios ecosistémicos en Medellín. Síntesis del documento técnico de soporte.

[https://www.medellin.gov.co/MapGIS/BIO/Eventos/16/Libro%20BIODIVERSIDAD%2006-10-14%20\(1\).pdf](https://www.medellin.gov.co/MapGIS/BIO/Eventos/16/Libro%20BIODIVERSIDAD%2006-10-14%20(1).pdf)

Alcaldía de Medellín. (2014). Acuerdo 48 - Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín.

https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_17/ProgramasyProyectos/Shared%20Content/Documentos/2014/POT/ACUERDO%20POT-19-12-2014.pdf

AMVA – Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2015). RedRío.

<http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Pages/default.aspx>

AMVA – Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2016). RedAire.

<http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/redaire.aspx>

Blancas, F. () Construcción de indicadores sintéticos: una aproximación para maximizar la discriminación. Departamento de Economía. Métodos Cuantitativos e Historia Económica. Universidad Pablo de Olavide.

CEPAL. (2001). Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas.

http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5570/S0110817_es.pdf;jsessionid=2C269709AF41D3B2AA4EEB7585EF73D2?sequence=1

Daniels, F., Martínez, E., Quinchía, R., Morales, O., Romero, A., Marín, A., Arbeláez, M. (2007). Estado del arte sobre los estudios de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. En: Contaminación Atmosférica y efectos sobre la salud de la población Medellín y su área metropolitana. Facultad Nacional de Salud pública. Universidad de Antioquia.

EIU - Economist Intelligence Unit. (2010). Índice de Ciudades Verdes de América Latina.

http://www.siemens.com/press/pool/de/events/corporate/2010-11-lam/Study-Latin-American-Green-City-Index_spain.pdf



Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

Emvarias. (2015). <http://www.emvarias.com.co/default.aspx>

Escobar, L.A. (2007) Indicadores de calidad ambiental: Un análisis de precios hedónicos. Curso de gestión y valoración del medio ambiente y los recursos naturales. Santiago de Chile

Gómez-Baggethun, E. (2016). Prologo. En: Naturaleza urbana. IAVH IDEAM 2015 «Atlas climatológico de Colombia». IDEAM. Archivado desde el original el 3 de diciembre de 2015.

Greenpeace. (2015). Índice Greenpeace de Calidad Ambiental. Radiografía social del medio ambiente en España.

http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2015/Report/general/anexo_metodo_logico_indice_greenpeace_de_calidad_ambiental.pdf

IBM Knowledge Center. (2016).

http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS3RA7_16.0.0/com.ibm.spss.modeler.help/clementine/understanding_modeltypes.htm

IDEAM. (2015). Atlas climatológico de Colombia. <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>

ILAC – Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible. (2012). Indicadores de seguimiento. México.

http://www.pnuma.org/deat1/pdf/ILAC_Mexico_2012_Informe_Completo.pdf

Kremer, P. et al. (2016). Key insights for the future of urban ecosystem services research. Ecology and Society 21:29-40.

Martínez, E., Bedoya, J., Correa, M., Muñoz, A., Paz, J., Morales, O., Romero, A., Marín, A., Montoya, A. (2007). Diagnóstico de la Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá. En: Contaminación Atmosférica y efectos sobre la salud de la población Medellín y su área metropolitana. Facultad Nacional de Salud pública. Universidad de Antioquia.



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

MinAmbiente - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Índice de calidad ambiental urbana.

Municipio de Frías (Burgos). (2009). Informe de sostenibilidad ambiental (I.S.A.) a efectos de evaluación ambiental estratégica de las normas urbanísticas municipales. España.

Nichol, J. Wong, M. (2005). Modelling urban environmental quality in a tropical city. Landscape and Urban Planning, N° 73, p. 49-58.

Nuñez, E., Steyerberg, E., Nuñez, J. (2011). Estrategias para la elaboración de modelos estadísticos de regresión. Revista Española de Cardiología. Vol. 64 Número 06 <http://www.revespcardiol.org/es/estrategias-elaboracion-modelos-estadisticos-regresion/articulo/90020792/>

Ocaña, R. (2016). ¿Qué es un modelo estadístico? Escuela Andaluza de Salud Pública. http://www.divestadistica.es/es/que_es_un_modelo_estadistico.html

OMS - Organización Mundial de la Salud. (2016). Ambientes saludables y prevención de enfermedades: hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. Segunda edición.

ONU – Organización de Naciones Unidas. (2014). World urbanization prospective. <http://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>

Organización Panamericana de la Salud. (2005).

Santana, L.M., Escobar, L.A., Capote, P.A. (2010) Estimación de un índice de calidad ambiental urbano a partir de imágenes de satélite. Revista de Geografía Norte Grande. 45: 77-95

Secretaría de Salud de Medellín. (2015). Indicadores básicos de salud. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5570/S0110817_es.pdf;jsessionid=2C269709AF41D3B2AA4EEB7585EF73D2?sequence=1



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co



Alcaldía de Medellín
Cuenta con vos

Vásquez, J. (2010). Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México. Fortalecimiento de capacidades en detección de cambio climático en México.

Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: the state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning* 125:209-221.

Yale University. (2016). Environmental Performance Index. <http://epi.yale.edu/>



Centro Administrativo Municipal (CAM)
Calle 44 No. 52 - 165. Código Postal 50015
Línea Única de Atención Ciudadanía 44 44 144
Conmutador 385 5555. www.medellin.gov.co



www.medellin.gov.co