



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ

Instituto de estudios Ambientales - IDEA -

**CONVENIO 016 DE 2012**

**ALCANCE 1. OBJETIVO 2:**

**“Batería de índices sintéticos de calidad y de gestión, ambiental y rural. Indicadores e índices sintéticos de 2ª y 3ª generación, con su respectiva hoja metodológica y formulación técnica”**

**DOCUMENTO IMPLEMENTACIÓN DE ÍNDICES SINTÉTICOS (con correcciones)**

Septiembre de 2013

Presentado a:

Secretaría Distrital de Ambiente

Subdirección de Planeación

# CONTENIDO

<b>1</b>	<b>NOCIÓN CONCEPTUAL DE ÍNDICES Y SUBÍNDICES PROPUESTOS.....</b>	<b>6</b>
1.1	CALIDAD AMBIENTAL.....	6
1.2	IMPACTO AMBIENTAL SOBRE LA SALUD PÚBLICA .....	7
1.3	GESTIÓN AMBIENTAL.....	7
<b>2</b>	<b>BATERÍA DE ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS PROPUESTOS .....</b>	<b>8</b>
2.1	CONTEXTO DE POLÍTICAS Y PREMISAS PARA EL DESARROLLO DE ÍNDICES SINTÉTICOS .....	8
2.2	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA DEFINICIÓN DE ÍNDICES COMPUESTOS .....	11
2.3	ESQUEMA JERÁRQUICO DE ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS .....	13
2.3.1	<i>Índice de calidad ambiental de Bogotá</i> .....	13
2.3.2	<i>Índice impacto ambiental sobre la salud pública</i> .....	17
2.3.3	<i>Índice de gestión ambiental</i> .....	18
2.3.4	<i>Índice de riesgo para el consumo de agua potable</i> .....	19
2.3.5	<i>Índice de calidad del aire</i> .....	19
<b>3</b>	<b>ESTANDARIZACIÓN DE INDICADORES SIMPLES .....</b>	<b>20</b>
3.1	ESTANDARIZACIÓN DIRECTA .....	20
3.2	ESTANDARIZACIÓN DEL INDICADOR CON RESPECTO A UN VALOR META U OBJETIVO (VALORES ALTOS DESEABLES DE LA VARIABLE) .....	21
3.3	ESTANDARIZACIÓN DEL INDICADOR CON RESPECTO A UN VALOR META U OBJETIVO (VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE).....	23
3.4	ESTANDARIZACIÓN DEL INDICADOR CON RESPECTO A UN VALOR NORMATIVO (VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE) .....	25
3.3	ESTANDARIZACIÓN DE UNA SERIE HISTÓRICA SIN VALORES NORMATIVOS NI VALORES META U OBJETIVO (VALORES ALTOS DESEABLES DE LA VARIABLE) .....	26
3.4	ESTANDARIZACIÓN DE UNA SERIE HISTÓRICA SIN VALORES NORMATIVOS NI VALORES META U OBJETIVO (VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE) .....	28
<b>4</b>	<b>PONDERACIÓN DE LOS INDICADORES ESTANDARIZADOS.....</b>	<b>30</b>
4.1	MÉTODOS DE PONDERACIÓN.....	30
4.1.1	<i>Criterio de ponderación juicio de expertos</i> .....	33
4.1.2	<i>Criterio de ponderación sostenibilidad de los datos</i> .....	33
4.1.3	<i>Criterio de ponderación calidad de los datos subyacentes</i> .....	33
4.1.4	<i>Criterio de ponderación importancia social e información útil que brinda cada indicador</i> .....	33
4.2	RESULTADOS DE LA PONDERACIÓN DE INDICADORES SIMPLES PARA LOS ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS .....	34
<b>5</b>	<b>AGREGACIÓN DE INDICADORES SIMPLES EN ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS.....</b>	<b>34</b>
5.1	MÉTODO DE AGREGACIÓN UTILIZADO.....	34
5.2	CASO PARTICULAR WQI DE AGUA .....	34
<b>6</b>	<b>RESULTADOS DE ÍNDICES SINTÉTICOS .....</b>	<b>36</b>
6.1	ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL DE BOGOTÁ.....	36
6.1.1	<i>Subíndice de presión ambiental</i> .....	37
6.1.1.1	Subíndice de presión del agua.....	37
6.1.2	<i>Subíndice del estado ambiental:</i> .....	38
6.1.2.1	Subíndice del estado del agua .....	38
6.1.2.2	Subíndice del estado del aire.....	39
6.2	ÍNDICE IMPACTO AMBIENTAL SOBRE LA SALUD PÚBLICA.....	39
6.3	ÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL.....	40
6.3.1	<i>Subíndice de gestión ambiental empresarial</i> .....	40
6.3.2	<i>Subíndice de saneamiento, acueducto y alcantarillado</i> .....	41
6.3.3	<i>Subíndice de gestión de áreas protegidas</i> .....	41
6.3.4	<i>Subíndice de gestión arbolado urbano</i> .....	42

6.4	ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE ÍNDICES Y SUBÍNDICES AMBIENTALES .....	42
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE ÍNDICES SIMPLES CON LOS ÍNDICES SINTÉTICOS.....</b>	<b>44</b>
7.1	ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL DE BOGOTÁ.....	44
7.1.1	<i>Subíndice de presión ambiental</i> .....	46
7.1.1.1	Subíndice de presión del agua.....	46
7.1.2	<i>Subíndice del estado ambiental</i> .....	47
7.1.2.1	Subíndice del estado del agua .....	47
7.1.2.2	Subíndice del estado del aire.....	48
7.2	ÍNDICE IMPACTO AMBIENTAL SOBRE LA SALUD PÚBLICA.....	48
7.3	ÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL.....	49
7.3.1	<i>Subíndice de gestión ambiental empresarial</i> .....	51
7.3.2	<i>Subíndice de saneamiento, acueducto y alcantarillado</i> .....	51
7.3.3	<i>Subíndice de gestión de áreas protegidas</i> .....	52
7.3.4	<i>Subíndice de gestión arbolado urbano</i> .....	52
<b>8</b>	<b>CÁLCULO DE DATOS FALTANTES EN LAS SERIES DE TIEMPO .....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE CÁLCULO DE LOS ÍNDICES SINTÉTICOS .....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>HOJA METODOLÓGICA DE LOS ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS .....</b>	<b>53</b>
<b>11</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>54</b>

## TABLAS

TABLA 1	POLÍTICAS PÚBLICAS RELACIONADAS CON LOS ÍNDICES Y SUBÍNDICES PROPUESTOS.....	10
TABLA 2	OBSERVACIONES PUNTUALES DE INDICADORES SIMPLES CANDIDATOS A ÍNDICES COMPUESTOS .....	11
TABLA 3	ÍNDICE Y SUBÍNDICES DE CALIDAD AMBIENTAL DE BOGOTÁ .....	17
TABLA 4	ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL SOBRE LA SALUD PÚBLICA E INDICADORES SIMPLES QUE LO CONFORMAN .....	17
TABLA 5	ÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL, SUBÍNDICES E ÍNDICES QUE LO CONFORMAN .....	18
TABLA 6	ESTANDARIZACIÓN DIRECTA .....	20
TABLA 7	ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A UN VALOR OBJETIVO O META (VALORES ALTOS DESEABLES DE LA VARIABLE) .....	22
TABLA 8	ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A UN VALOR OBJETIVO (VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE) .....	24
TABLA 9	ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A UN VALOR NORMATIVO (VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE) .....	26
TABLA 10	ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A UN VALOR PROMEDIO (VALORES ALTOS DESEABLES DE LA VARIABLE) .....	28
TABLA 11	ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A UN VALOR PROMEDIO (VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE) .....	29
TABLA 12	PONDERACIÓN DE INDICADORES SIMPLES DENTRO DE LOS SUBÍNDICES E ÍNDICES SINTÉTICOS.....	32
TABLA 13	RESULTADO DE PONDERACIONES DE ÍNDICES SIMPLES, SUBÍNDICES E ÍNDICES SINTÉTICOS .....	35
TABLA 14	SENSIBILIDAD DE VARIABLES, DENTRO DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL.....	45
TABLA 15	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SUBÍNDICE DE PRESIÓN AMBIENTAL.....	46
TABLA 16	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SUBÍNDICE DE PRESIÓN DEL AGUA.....	46
TABLA 17	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SUBÍNDICE DE ESTADO AMBIENTAL.....	47
TABLA 18	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SUBÍNDICE DEL ESTADO DEL AGUA.....	48
TABLA 19	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SUBÍNDICE DEL ESTADO DEL AIRE .....	48
TABLA 20	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL SOBRE LA SALUD PÚBLICA.....	48
TABLA 21	SENSIBILIDAD DE INDICADORES SIMPLES PARA EL ÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL .....	49
TABLA 22	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SUBÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL .....	51
TABLA 23	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SUBÍNDICE DE SANEAMIENTO, ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO.....	51
TABLA 24	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SUBÍNDICE DE ÁREAS PROTEGIDAS.....	52
TABLA 25	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SUBÍNDICE DE GESTIÓN DE ARBOLADO URBANO.....	52

## ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 ESTRUCTURA DE ÍNDICES SINTÉTICOS A PARTIR DE INDICADORES SIMPLES DE ELEMENTOS AMBIENTALES ORDENADOS EN EL MARCO PEIR .....	12
ILUSTRACIÓN 2 ESQUEMA JERÁRQUICO GENERAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS .....	16
ILUSTRACIÓN 3 ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A UN VALOR META U OBJETIVO ( $V_M$ ) Y VALOR ALTO DESEABLE DE LA VARIABLE .....	21
ILUSTRACIÓN 4 CURVA LOGÍSTICA CON UN VALOR META U OBJETIVO ( $V_M$ ) Y VALORES ALTOS DESEABLES DE LA VARIABLE .....	21
ILUSTRACIÓN 5 ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A UN VALOR META U OBJETIVO ( $V_M$ ) Y VALOR BAJO DESEABLE DE LA VARIABLE.....	23
ILUSTRACIÓN 6 CURVA LOGÍSTICA CON UN VALOR META U OBJETIVO ( $V_M$ ) Y VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE .....	24
ILUSTRACIÓN 7 ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A UN VALOR NORMATIVO Y VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE .....	25
ILUSTRACIÓN 8 CURVA LOGÍSTICA CON UN VALOR NORMATIVO Y VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE.....	25
ILUSTRACIÓN 9 ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A AL PROMEDIO Y VALORES ALTOS DESEABLES DE LA VARIABLE .....	26
ILUSTRACIÓN 10 CURVA LOGÍSTICA CON UN VALOR PROMEDIO Y VALORES ALTOS DESEABLES DE LA VARIABLE.....	27
ILUSTRACIÓN 11 ESTANDARIZACIÓN CON RESPECTO A AL PROMEDIO Y VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE .....	28
ILUSTRACIÓN 12 CURVA LOGÍSTICA CON UN VALOR PROMEDIO Y VALORES BAJOS DESEABLES DE LA VARIABLE.....	29
ILUSTRACIÓN 13 COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO DE LOS ÍNDICES Y SUBÍNDICES AMBIENTALES DEL OAB.....	43
ILUSTRACIÓN 14 CONTRIBUCIÓN INDICADORES SIMPLES A ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL .....	45
ILUSTRACIÓN 15 CONTRIBUCIÓN INDICADORES SIMPLES AL ÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL .....	50

## ANEXOS

ANEXO 1 MATRIZ DE CALIFICACIÓN DE PESOS PONDERADOS DE INDICADORES SIMPLES PARA LOS SUBÍNDICES E ÍNDICES DE LA BATERÍA DE SINTÉTICOS .....	55
ANEXO 2 HOJAS METODOLÓGICAS DE ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS .....	55
ANEXO 3 HOJA PARA CÁLCULOS FUTUROS DE LOS ÍNDICES SINTÉTICOS.....	55
ANEXO 4 HOJA DE CÁLCULO DETALLADA CON ESTANDARIZACIONES Y AGREGACIONES PONDERADAS DE SUBÍNDICES E ÍNDICES SINTÉTICOS .....	56
ANEXO 5 TABLAS Y GRÁFICOS DE LOS INDICADORES ESTANDARIZADOS VS. INDICADORES ORIGINALES Y DE SERIES TEMPORALES DE VARIABLES ESTANDARIZADAS.....	56
ANEXO 6 MATRIZ DE INDICADORES SIMPLES Y COMPUESTOS PROPUESTOS POR DEPENDENCIAS Y OTRAS ENTIDADES .....	56
ANEXO 7 PROGRAMAS DE DESARROLLO EN LENGUAJE ESTADÍSTICO R PARA EL CÁLCULO DE LOS ÍNDICES COMPUESTOS Y EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	56

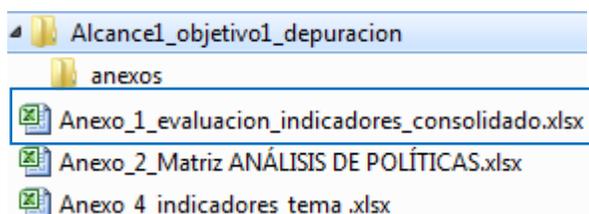
## DOCUMENTO IMPLEMENTACIÓN DE INDICES SINTÉTICOS

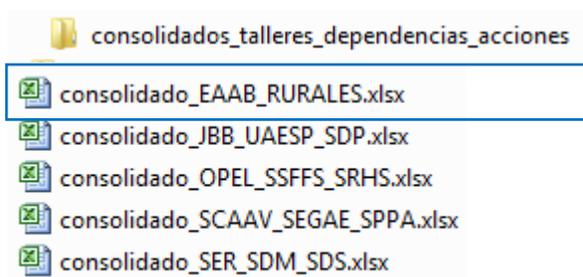
Este documento presenta la implementación de los índices sintéticos propuestos para el OAB y se basa en el desarrollo conceptual y metodológico presentado en el informe anterior titulado: "ESTADO DEL ARTE CONCEPTUALIZACIÓN Y METODOLOGÍA" para la construcción de los índices. También retoma elementos del primer informe de "REVISIÓN, DEPURACIÓN Y COMPLEMENTACIÓN DE LOS INDICADORES DEL OBSERVATORIO AMBIENTAL Y RURAL". Para una visión completa del desarrollo del convenio será importante revisar los dos primeros documentos, que se articulan con esta memoria de implementación de los índices finales.

Acá se consolida la noción conceptual de los índices construidos, se presenta la batería de índices y subíndices sintéticos, se amplían los métodos de estandarización finalmente adoptados y se presenta el ejercicio de ponderación llevado a cabo, para la agregación de los diversos subíndices e índices. También se consolidan los resultados de índices y subíndices obtenidos para la serie temporal analizada y se lleva a cabo el análisis de sensibilidad para los diversos grupos de jerarquías de índices. Al final se acota el cálculo de algunos datos faltantes y se presentan los programas desarrollados para el cálculo de los índices, junto con las hojas metodológicas construidas para ellos.

El documento anterior de "ESTADO DEL ARTE CONCEPTUALIZACIÓN Y METODOLOGÍA", presentaba los índices simples del OAB y del observatorio rural, candidatos a ser agregados para dar origen a subíndices e índices compuestos; *sin embargo en el presente documento, después de aplicados los criterios de selección establecidos y posterior al aporte y participación de las diferentes dependencias y entidades que reportan indicadores simples al observatorio, se parte de un número depurado de dichos indicadores, que pertenecen al OAB, únicamente, pues los del Observatorio Rural, no cumplieron las exigencias para formar parte de las agregaciones de los subíndices e índices construidos.*

Los indicadores del Observatorio Rural, fueron revisados y examinados con base en los criterios de depuración establecidos por el IDEA en la primera fase del trabajo, y para ellos fueron expuestas las observaciones y acciones a seguir, después de la retroalimentación con los encargados de su publicación (ver **anexo 1** del documento "REVISIÓN, DEPURACIÓN Y COMPLEMENTACIÓN DE LOS INDICADORES DEL OBSERVATORIO AMBIENTAL Y RURAL" y el consolidado en: **consolidado\_EAAB\_RURALES.xlsx**, dentro de la carpeta **consolidados\_talleres\_dependencias\_acciones**, entregada en digital (ver **CD** en bolsillo, de la entrega final de todos los documentos producto del presente convenio carpeta "Alcance1\_objetivo1\_depuracion").





## 1 NOCIÓN CONCEPTUAL DE ÍNDICES Y SUBÍNDICES PROPUESTOS

Los aspectos conceptuales y definiciones que se presentan a continuación abarcan conocimientos amplios, que para el presente ejercicio se acotarán, con base en las condiciones actuales de los indicadores del OAB, considerando el marco PEIR propuesto para su ordenación y los indicadores candidatos a índices sintéticos seleccionados, a partir de los criterios que fueron establecidos para tal fin (documento de "ESTADO DEL ARTE, CONCEPTUALIZACIÓN Y METODOLOGÍA").

### 1.1 Calidad ambiental

En el marco de la presente construcción de índices, la calidad ambiental se acota a las siguientes consideraciones:

- Calidad ambiental es el grado en que el estado actual o previsible de los componentes básicos del ambiente, permiten que éste desempeñe adecuadamente sus funciones de sistema que rige y condiciona las posibilidades de vida en la tierra<sup>1</sup>
- Son las características cualitativas y cuantitativas del ambiente en general, que son susceptibles de ser modificadas y su relación con la capacidad relativa de éste para satisfacer las necesidades del hombre y/o de los ecosistemas.
- Es el estado de los recursos naturales el cual determina que se reciban sus invaluable beneficios o en caso contrario, sus efectos que se reflejarán en un impacto nocivo para la salud especialmente sobre la niñez y la tercera edad
- Ese estado se determina para los recursos naturales receptores de los vertimientos, residuos y emisiones de las actividades humanas (presión), a saber, el agua, el suelo y el aire<sup>2</sup>.
- Es el conjunto de características (ambientales, sociales, culturales y económicas) que califican el estado, disponibilidad y acceso a componentes de la naturaleza y la presencia de posibles alteraciones en el ambiente, que estén afectando sus derechos o puedan alterar sus condiciones y los de la población de una determinada zona o región<sup>3</sup>
- Desde el enfoque ecológico, un ecosistema tiene calidad ambiental cuando muestra una coincidencia plena entre la calidad que presenta en el momento del análisis y la

<sup>1</sup> ECOLYMA: Ecología y medio ambiente en Chile ([http://www.ecolyma.cl/oikosprofesor\\_01\\_conceptos.htm](http://www.ecolyma.cl/oikosprofesor_01_conceptos.htm)). Consultado en junio de 2013.

<sup>2</sup> Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB (<http://www.cdm.gov.co/web/index.php/calidad-ambiental.html>). Consultado en julio de 2013.

<sup>3</sup> Proyecto CEPF FUNDESNAPE ([http://fundesnap.org/files/comites\\_locales\\_cepf.pdf](http://fundesnap.org/files/comites_locales_cepf.pdf)). Consultado en mayo de 2013. Fundación para el Desarrollo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (la Paz, Bolivia)

calidad que se considera propia de cada ecosistema en términos ecológicos llamados estados de clímax. Derivado de ello, cualquier intervención humana modifica ese equilibrio y no es aceptable (presión).

- Desde el enfoque antropológico, un ecosistema tiene calidad ambiental cuando satisface las expectativas que genera sobre habitantes y visitantes de ese espacio desde el punto de vista de disponibilidad y facilidad de acceso a los recursos naturales y la presencia o ausencia de agentes nocivos<sup>4</sup> (abarca aspectos de estado y presión).

Con base en las definiciones de calidad ambiental presentadas, se puede observar que el concepto abarca tanto aspectos del estado del ambiente, como aquellos de presión debidos a procesos sociales y económicos subyacentes que originan los problemas ambientales. De allí que el índice global de calidad ambiental de Bogotá abarcará ambos componentes (estado y presión).

Otro aspecto a considerar será el del impacto ambiental sobre la salud pública.

## 1.2 Impacto ambiental sobre la salud pública

La degradación y la contaminación ambiental tienen un impacto enorme en la vida de las personas. Cada año, cientos de millones de personas sufren de enfermedades respiratorias asociadas con la contaminación externa y de interiores del aire. Centenares de millones de personas se exponen a peligros físicos y químicos innecesarios en el lugar de trabajo y el ambiente general. Millones de niños mueren cada año de enfermedades diarreicas, en su mayor parte como resultado de agua o alimentos contaminados. Centenares de millones de personas sufren morbilidad por parásitos intestinales (Annalee Yassiet *al.*, 2002).

En el contexto del presente ejercicio, estos impactos serán referidos a la cuantificación de los efectos que provoca el estado del medioambiente alterado sobre la salud de las personas. En este sentido, existirá una causa - X que produce un cambio de comportamiento del medio natural, que conlleva un efecto sobre la salud humana, cuya cuantificación dará origen al indicador de impacto sobre la salud - Y.

En el OAB se cuenta con un grupo de indicadores simples que miden esos efectos nocivos sobre la salud humana, de allí que su agregación podrá dar origen a un índice compuesto de impacto ambiental sobre la salud pública.

## 1.3 Gestión ambiental

La gestión ambiental propende por que el ambiente conserve unas condiciones de cantidad y calidad, que le permitan recibir determinado nivel de contaminantes y tener la capacidad de auto depurarlos de tal forma que se mantenga un medio ambiente adecuado para la vida tanto de las personas como de las diferentes especies de fauna y flora que conforman los ecosistemas.

---

<sup>4</sup>Gupo TECOPY ( <http://www.grupotecopy.es/es/servicios/analisis-geoespacial-y-medio-ambiente/consultoria-ambiental/calidad-ambiental.html>). Consultado en junio de 2013. España.

Es fundamental estimular una actividad más planificada y tomar una actitud proactiva con respecto al uso y aprovechamiento de los recursos y servicios ambientales. La generación de escenarios con planificación, en los cuales esté claro que se busca el desarrollo, pero dentro de ciertos parámetros y criterios establecidos por las características y la capacidad de carga y resiliencia de los ecosistemas es fundamental, pues de otra manera se continuarán presionando el medio ambiente y los recursos naturales siguiendo estrategias de desarrollo agotadoras y por lo tanto insostenibles (Guhl-Nannetti E, 2002).

Se impone pues, la necesidad de contar con unas formas de planificación prospectiva que permitan el manejo controlado e inteligente de un medio ambiente rico, pero no inagotable, que hagan compatibles las necesidades del desarrollo y la búsqueda legítima de una mejor calidad de vida, con los requerimientos de la conservación de la capacidad de los sistemas de soporte vital y, que por lo tanto, sean sostenibles (Ibíd, pag. 115)

Ésta deberá ser una acción cooperativa, coordinada en la que participen todos los actores localizados en el Distrito Capital. Igualmente, en la medida en que la comunidad se encuentre debidamente informada, podrá participar de una mejor forma y desempeñar un papel activo para que conjuntamente se puedan alcanzar los objetivos ambientales propuestos.

En la construcción de índices sintéticos, éste será un aspecto de relevancia a ser considerado, principalmente en relación con la gestión ambiental empresarial, enfocada hacia la producción limpia y la reducción de vertimientos y residuos peligrosos. Será también importante considerar la gestión que la SDA realiza en relación con las áreas protegidas y de importancia ambiental. Esa gestión actúa, además, sobre el mejoramiento de la calidad del agua y del aire.

## **2 BATERÍA DE ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS PROPUESTOS**

### **2.1 Contexto de políticas y premisas para el desarrollo de índices sintéticos**

Uno de los objetivos del Observatorio Ambiental de Bogotá es informar a los ciudadanos sobre el estado del ambiente natural que les ofrece los servicios ecosistémicos que demanda, el estado del ambiente en el cual viven y desarrollan sus actividades y la gestión que realizan tanto instituciones como los mismos ciudadanos para mantener en buenas condiciones su ambiente.

Los índices sintéticos o compuestos, condensan conceptos, cifras y cálculos complejos en información de fácil comprensión para el ciudadano, y uno de los requisitos para que sean efectivos es que reflejen la calidad actual del ambiente y la gestión que se ha realizado para mantener el ambiente sano.

Para orientar las acciones de las instituciones del Estado y de los ciudadanos hacia el mejoramiento del ambiente, la prevención, el cumplimiento de compromisos internacionales, la definición y el logro de metas nacionales, regionales y locales, entre otros, la gestión se debe sincronizar con las Políticas Públicas que definen para los diferentes temas el deber ser de la gestión pública y ciudadana. Por ello, durante el proceso de construcción de los índices sintéticos para el OAB, se tuvieron en cuenta las

políticas ambientales nacionales y locales para evaluar su pertinencia y contribución al cumplimiento de lineamientos y metas que se fijó el distrito.

La *Tabla 1* señala las políticas públicas que contienen lineamientos, directrices y metas en cada uno de los temas que se incluyen en la batería de Índices Sintéticos para el OAB.

En la generación de índices sintéticos urbanos, será importante tomar en cuenta varias premisas, las cuales no se cumplen en su totalidad para el OAB, sin embargo la presente propuesta de batería, se trató de ajustar, lo mejor posible, a las condiciones actuales existentes y usando los indicadores simples que mejor se ciñeron a los criterios fijados para hacer parte de índices sintéticos con significados dentro la noción ambiental.

La primera premisa que habría que tener en cuenta en el diseño de Índices de Calidad Ambiental Urbana es la desigualdad de condiciones ambientales del territorio urbano en la ciudad de Bogotá. La mayoría de indicadores simples publicados, se miden para el nivel ciudad, sin considerar la heterogeneidad espacial ambiental de la información de Bogotá.

Otra premisa es la de completitud, consistente en que los indicadores seleccionados para construir los diversos índices compuestos son todos los que explican el objetivo a medir. En algunos casos la noción conceptual que se quiere caracterizar no posee para el OAB los indicadores simples representativos, que expliquen el fenómeno a evaluar. Esto hace necesario acotar el concepto de acuerdo con los indicadores que existen en línea actualmente. Otros aspectos que cabe mencionar son:

- Los indicadores simples seleccionados deben medir adecuadamente los atributos que se describan en relación con el índice a estimar, tanto en el espacio como en el tiempo. Esto no sucede para la parte espacial. En relación con la serie de tiempo de valores a considerar, ésta se llevó a un número de años común a todos los indicadores considerados.
- Debe existir un valor de referencia. Para algunos indicadores publicados no está explícito en el OAB un valor de referencia, el cual debería definirse en términos de una meta o un estándar normativo o internacional. Al respecto el Plan de desarrollo de normas sería un posible referente, que debería adoptarse y presentarse en la ficha metodológica del indicador en línea
- Para la validez científica, los indicadores deben documentar la estimación del tamaño de muestra de las unidades experimentales. Esto está ausente en la documentación de algunos indicadores
- No deben haber cambios en la definición del valor o indicador. En algunos casos el objeto de medición fluctúa (por ejemplo unas industrias son muestreadas un año y al siguiente se toma una muestra diferente a las del año anterior) y varía año tras año, lo cual es obstáculo para generar un indicador confiable (ver *Anexo 1* de la matriz consolidada de observaciones de cada indicador examinado, en el documento "REVISIÓN, DEPURACIÓN Y COMPLEMENTACIÓN DE LOS INDICADORES DEL OBSERVATORIO AMBIENTAL Y RURAL", los casos particulares).

**Tabla 1 Políticas públicas relacionadas con los índices y Subíndices propuestos**

NOMBRE DEL ÍNDICE	NOMBRE DEL SUBÍNDICE		ELEMENTO AMBIENTAL	POLÍTICAS PÚBLICAS RELACIONADAS
ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL DE BOGOTÁ	SUBÍNDICE DE PRESIÓN AMBIENTAL	Subíndice de presión del agua	AGUA	Metas del milenio, Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014, Objetivos del MADS, PGA SDA 2008, Plan de Desarrollo G. Petro, POT Propuesta 2011, Políticas Distritales: Ruralidad, Humedales, Suelo de Protección, Salud, Producción Sostenible, Educación Ambiental. Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Metas de calidad del agua
			SUELO	Política de Gestión Ambiental Urbana, MADS, Plan de Desarrollo G. Petro, Políticas Distritales: Salud, Producción sostenible, Plan Maestro de Residuos Sólidos.
	SUBÍNDICE DEL ESTADO AMBIENTAL	Subíndice estado del agua	AGUA	Metas del milenio, Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014, Objetivos del MADS, PGA SDA 2008, Plan de Desarrollo G. Petro, POT Propuesta 2011, Políticas Distritales: Ruralidad, Humedales, Suelo de Protección, Salud, Producción Sostenible, Educación Ambiental. Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado.
			AIRE	Metas del milenio, Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014, Objetivos del MADS, PGA SDA 2008, Políticas distritales: Salud, Producción sostenible, Plan Maestro de Residuos Sólidos, Plan decenal de descontaminación del aire. Plan Maestro de Movilidad.
		ARBOLADO URBANO	Objetivos del MADS. POT Propuesta 2011, Políticas distritales: Suelo de protección, Salud, Biodiversidad, humedales.	
		ESPACIO PÚBLICO		
		MOVILIDAD	Plan Maestro de Movilidad del distrito.	
ÍNDICE DE RIESGO PARA EL CONSUMO DE AGUA POTABLE	ESTÁ PUBLICADO ACTUALMENTE EN EL OAB			Metas del milenio, Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014, Objetivos del MADS, PGA SDA 2008, Plan de Desarrollo G. Petro, POT Propuesta 2011, Políticas Distritales: Humedales, Suelo de Protección, Salud, Producción Sostenible, Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Norma Nacional de consumo de agua potable
ÍNDICE IMPACTO AMBIENTAL SOBRE LA SALUD PÚBLICA			SALUD PÚBLICA	Metas del milenio, Política de Gestión Ambiental Urbana, Objetivos del MADS, Plan de Desarrollo G. Petro, Políticas Distritales: Salud. Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. PM de Espacio Público, PM de Residuos Sólidos, Plan decenal de descontaminación del aire. Política pública de calidad ambiental
ÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL	SUBÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL		GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL	Política de Gestión Ambiental Urbana, Objetivos del MADS, PGA SDA 2008, Políticas Distritales: Educación Ambiental, Producción Sostenible. Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. PM de Espacio Público, PM de Residuos Sólidos, Plan decenal de descontaminación del aire.
			MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS	Objetivos MADS. PM de Residuos Sólidos
			CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA	Metas del milenio, Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014, Objetivos del MADS, PGA SDA 2008, Plan de Desarrollo G. Petro, POT Propuesta 2011, Políticas Distritales: Ruralidad, Humedales, Suelo de Protección, Salud, Producción Sostenible, Educación Ambiental. Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Metas ambientales de calidad del agua
	SUBÍNDICE DE GESTIÓN DE ÁREAS PROTEGIDAS		ECOSISTEMAS Y ÁREAS PROTEGIDAS	Objetivos del MADS, Política de Gestión Ambiental Urbana. PGA SDA 2008, Políticas Distritales: Humedales, Suelo de Protección. POT 364 de 2013.
			CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	PGA SDA 2008. Políticas Distritales: Producción sostenible.
	SUBÍNDICE DE GESTIÓN ARBOLADO URBANO		ARBOLADO	Objetivos del MADS. POT Propuesta 2011, Políticas distritales: Suelo de protección, Salud, Biodiversidad, humedales.
	SUBÍNDICE DE SANEAMIENTO, ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO		SANEAMIENTO	Metas del Milenio. Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014. Políticas distritales: Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, Salud.

Las observaciones puntuales para algunos de los indicadores simples, candidatos a conformar los índices compuestos se presentan en la *Tabla 2*. A excepción del tercero y último indicador ellos fueron agregados, atendiendo estas observaciones.

**Tabla 2 Observaciones puntuales de indicadores simples candidatos a índices compuestos**

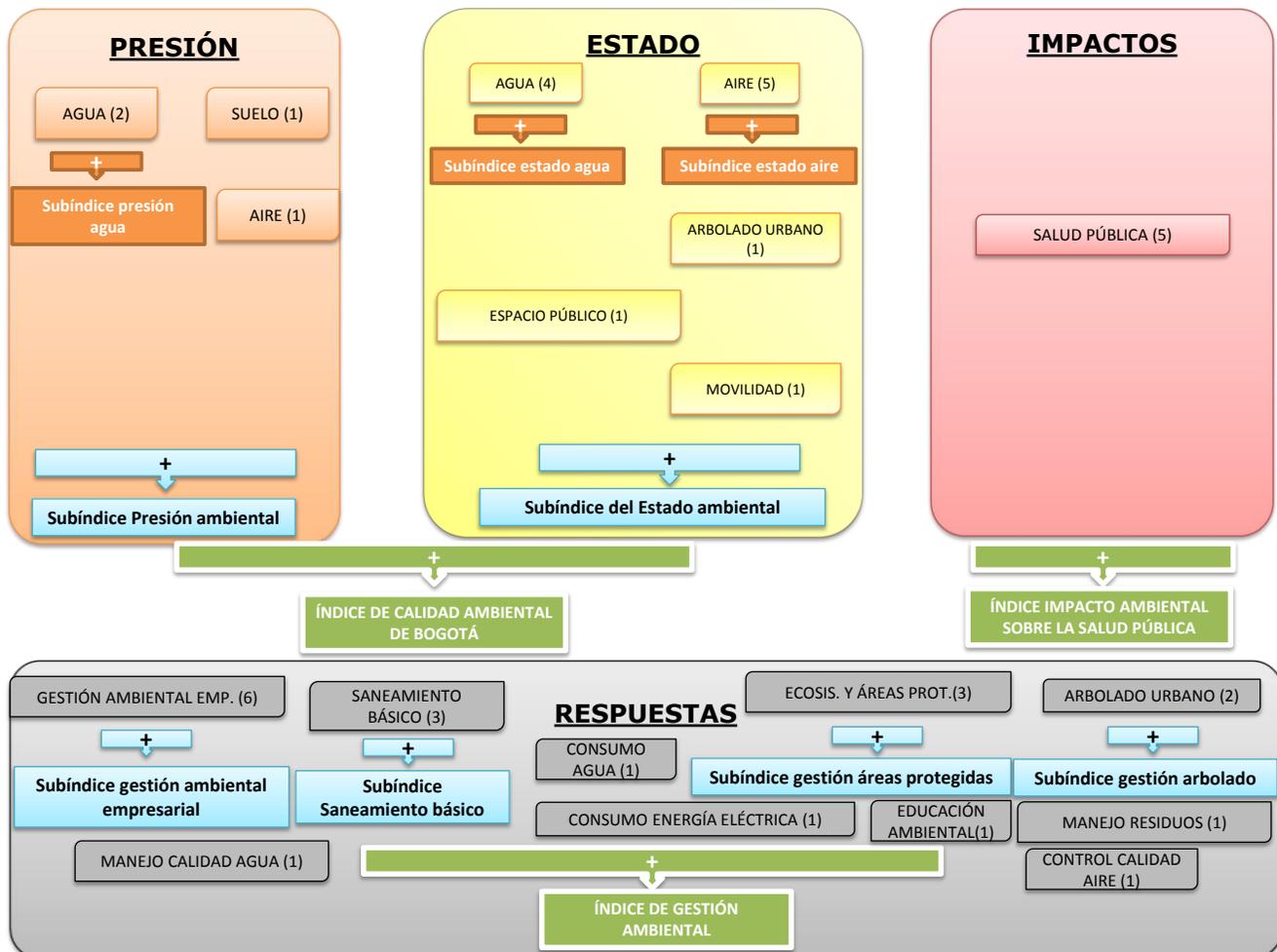
DEPENDENCIA	Nombre del indicador simple	Observación para sintético
JBB	Árboles por Hectárea	Se descartan los valores anteriores al censo de árboles de 2007, pues no sería posible su comparación año a año, debido al método de cálculo variable
SDS	Prevalencia de Sibilancias {silbidos en el pecho} en Menores de 5 años Debido al Material Particulado	Las sibilancias pueden ser de otro origen, no solamente a la presencia de material particulado en el aire
SDS	Casos Atendidos en Salas de Enfermedades Respiratorias Agudas {ERA}.	La ERA puede ser de otro origen, no solamente debida a la presencia de material particulado en el aire.
SDS	Tasa Mortalidad Infantil	No hay vínculos directos con lo ambiental.
SEGAE	Radicación de Trámites Ambientales	Se presenta como porcentaje, pero no es un %. Se requeriría el total de empresas vinculadas al programa para sacar el porcentaje
SRHS	Agua superficial indicadores en corrientes Índice de Calidad del Agua – Fucha, Salitre, Torca, Tunjuelo	Se requeriría un indicador agregado para ciudad, pues los demás indicadores tienen cobertura total. Individualmente, medirían parcialmente la calidad del agua (no escala ciudad). Se agregaron en un solo índice (ver numeral 5.2)
SCAAV	Reducción de días con contaminación de material particulado PM10	La meta trazada y la medición del indicador por año, son iguales (ver indicador publicado en el OAB). Este indicador se descartó finalmente.

## 2.2 Descripción metodológica para la definición de índices compuestos

La definición de los índices compuestos o sintéticos requirió de varias etapas, las primeras de las cuales fueron descritas en detalle en el documento de “Estado del arte conceptualización y metodología”, presentado en la fase anterior. A continuación y, como síntesis, ellas se enumeran:

1. Desarrollo del modelo conceptual para la construcción de índices sintéticos del OAB. Requirió la revisión de nociones conceptuales sobre ambiente urbano, sus ámbitos y de la ilustración de elementos estructurantes, ajustados a los que actualmente tiene establecidos el OAB.
2. Depuración de indicadores candidatos a sintéticos: para esa depuración fueron establecidos cinco criterios de evaluación, los cuales se aplicaron a los candidatos previamente seleccionados por ser los mejores evaluados en la primera fase de depuración de indicadores del observatorio y por presentar series de tiempo constituidas, de al menos, cinco registros.
3. Clasificación de los indicadores simples obtenidos según la estructura conceptual del modelo para la construcción de índices sintéticos presentada en el numeral 3.4, del documento de “Estado del arte conceptualización y metodología”. Cada indicador simple seleccionado como candidato a sintético, se clasificó según marco ordenador PEIR. Posteriormente fueron organizados dentro de esta estructura, en grupos de indicadores de Presión, Estado, Impacto y Respuesta (gestión), conservando la clasificación en elementos ambientales que había sido propuesta en la primera fase del trabajo.

En la *Ilustración 1* se presenta la estructura PEIR para los indicadores simples seleccionados, en forma definitiva, para ser agregados en índices compuestos.



**Ilustración 1 Estructura de índices sintéticos a partir de indicadores simples de elementos ambientales ordenados en el marco PEIR**

4. Para concretar los índices compuestos, fue necesario abordar aspectos conceptuales y definiciones de diversos índices que, para el presente ejercicio, se acotaron con base en las condiciones actuales de los indicadores del OAB
5. Ya conceptualizados los índices sintéticos, estos fueron jerarquizados y, dentro de ellos, agrupados los indicadores simples que se ajustaban a dicha conceptualización y que permitieran construirlos a partir de su agregación.
6. Tratamiento estadístico de los indicadores simples para su estandarización y conversión a una escala común
7. Ponderación de los indicadores estandarizados
8. Agregación de indicadores en subíndices e índices sintéticos
9. Análisis de sensibilidad
10. Desarrollo de programas de cálculo de índices sintéticos
11. Diseño e implementación de hojas metodológicas de subíndices e índices sintéticos

## 2.3 Esquema jerárquico de índices y subíndices sintéticos

En la

*Ilustración 2* se presenta el esquema jerárquico general de índices y subíndices sintéticos a ser construidos y los indicadores simples, publicados actualmente en el OAB, que será necesario agregar para la construcción de cada uno de ellos. A este esquema se añaden los indicadores nuevos propuestos por las diversas dependencias y entidades con las que se interactuó en los talleres<sup>5</sup>.

Los indicadores nuevos propuestos por las diversas dependencias de la SDA y las entidades externas, se incorporaron al modelo conceptual, planteado para la construcción de índices sintéticos, agrupados en subíndices e índices según el caso.

Esos indicadores propuestos se presentan en color rosado en la ilustración. Ellos se plantean como una posibilidad de ser usados a futuro para hacer parte de los índices y subíndices sintéticos existente o para la construcción de nuevos.

Los indicadores nuevos propuestos, fueron consolidados por el IDEA, quien anotó las respectivas observaciones y recomendaciones para cada uno de ellos (ver **ANEXO 6**). Los indicadores de espacio público y GAE, fueron consultados en documentos enviados por la SDA en el mes de julio.

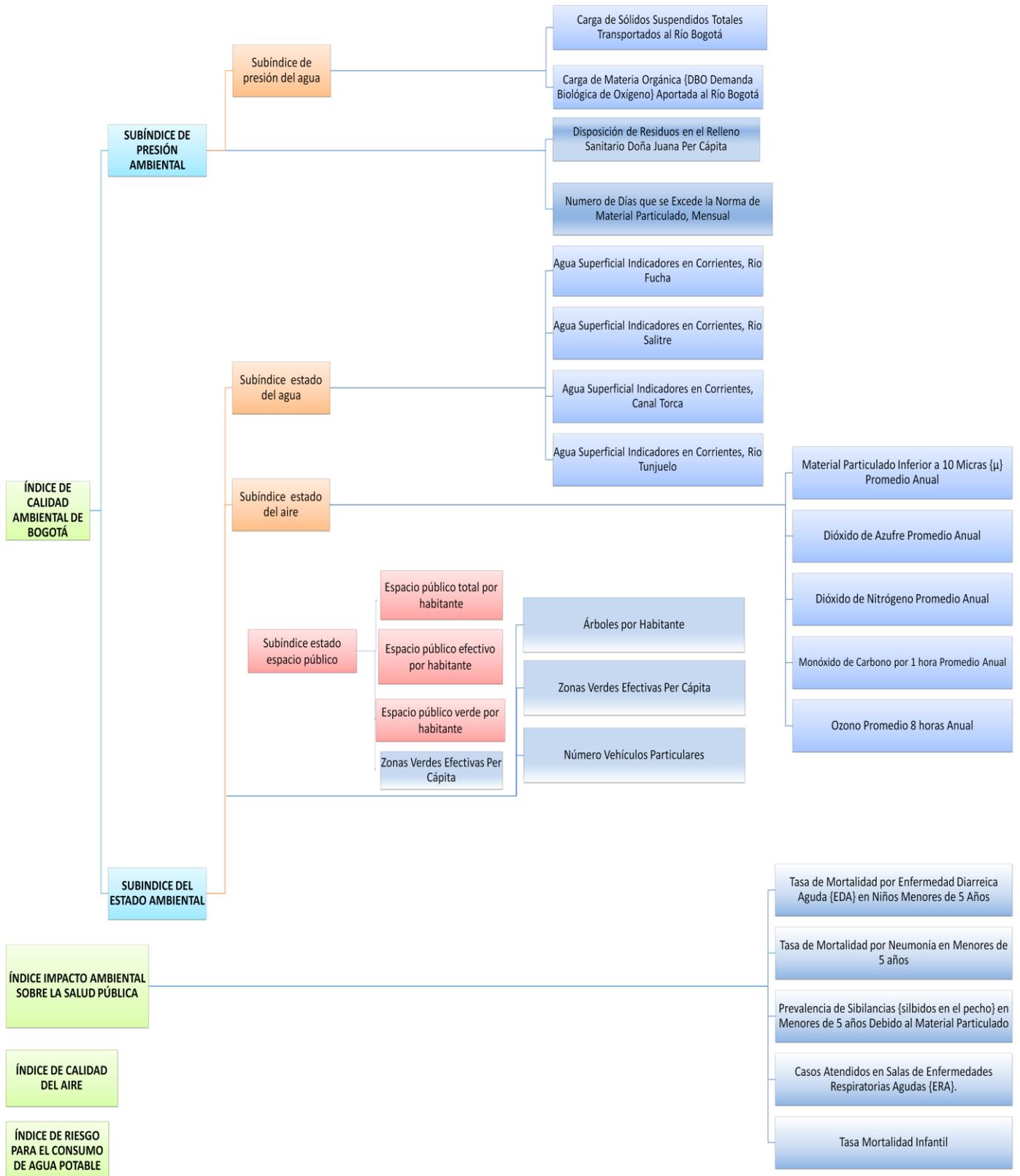
A continuación se describen los índices y sus jerarquías, con los grupos de indicadores simples correspondientes, para los elementos ambientales considerados.

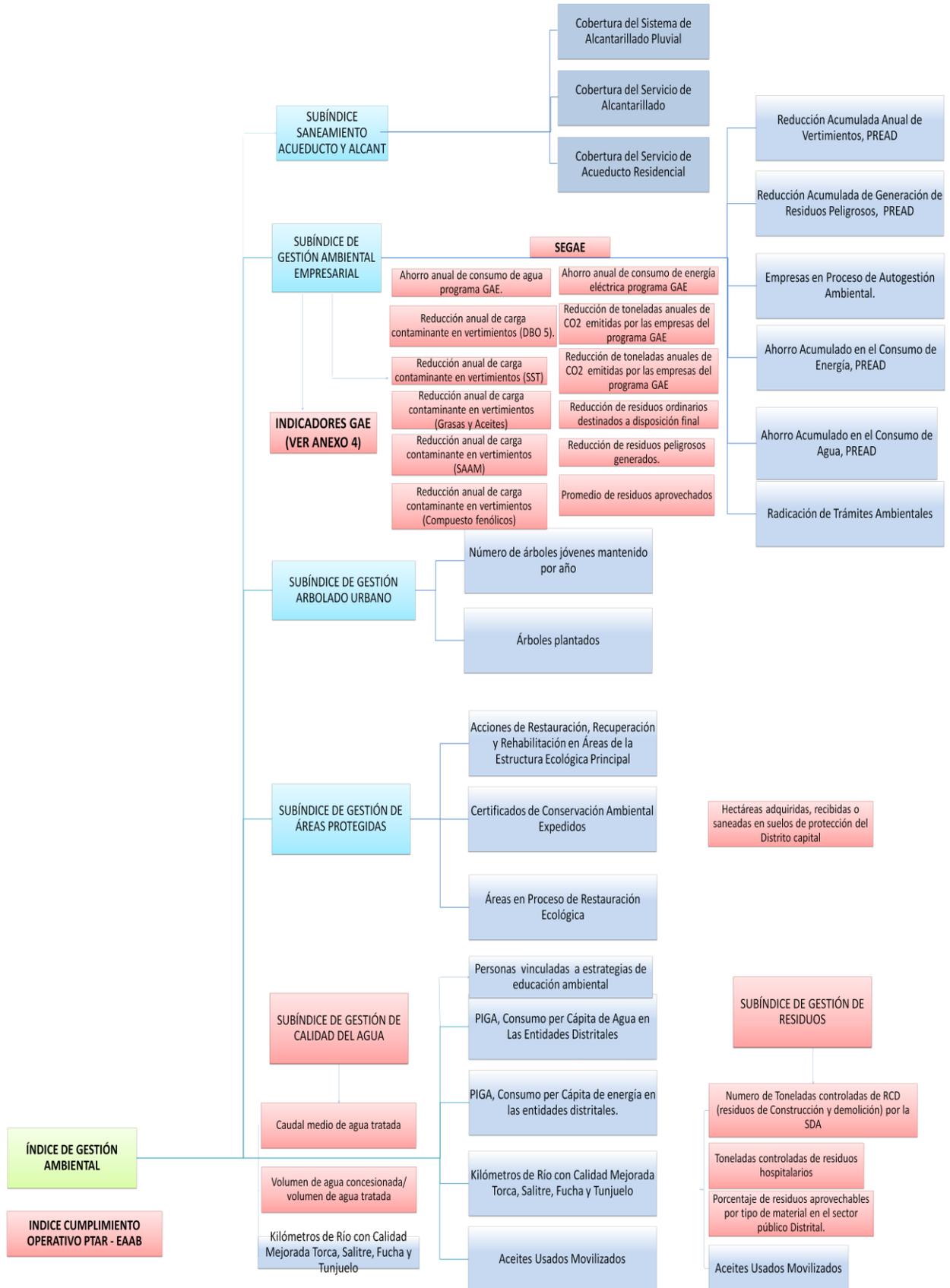
### 2.3.1 Índice de calidad ambiental de Bogotá

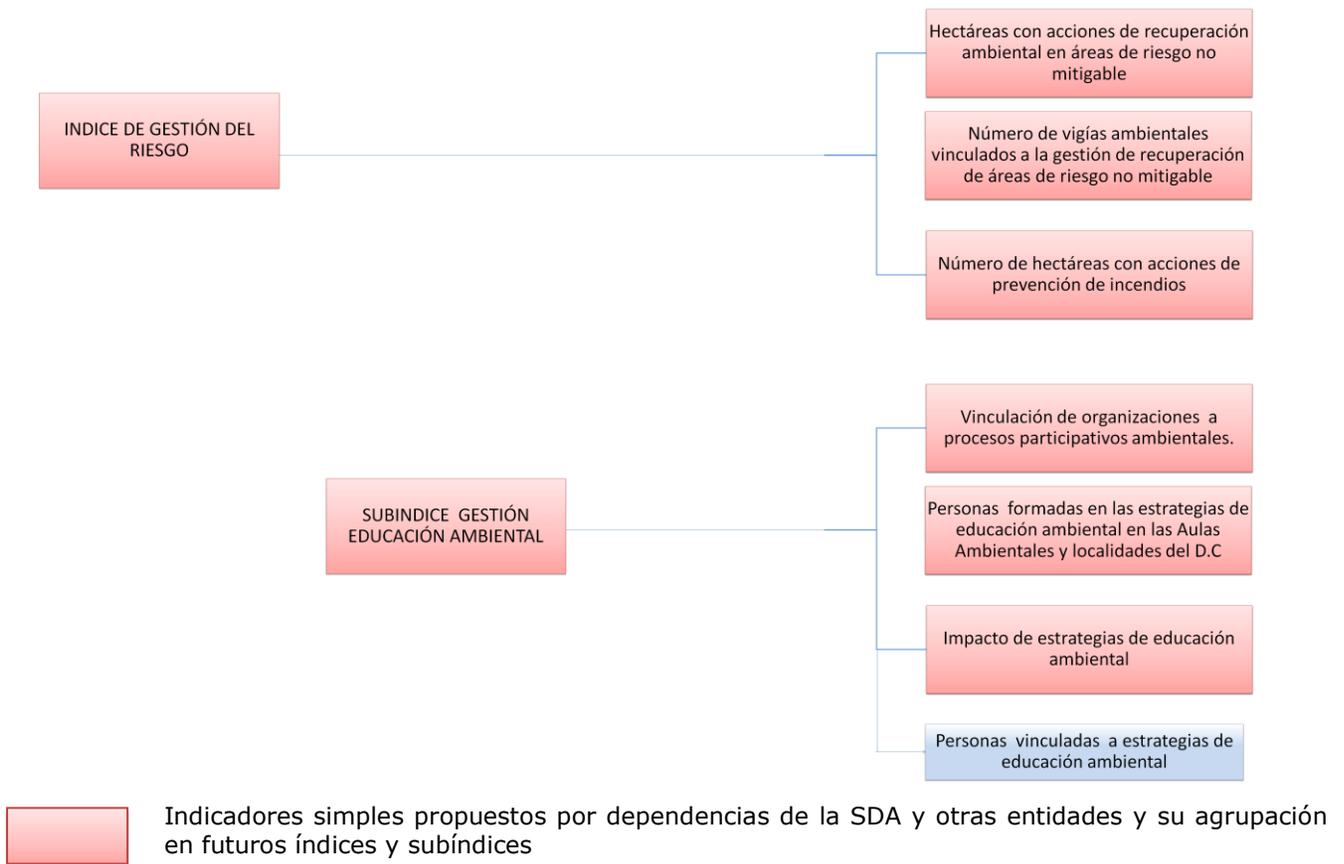
Con base en el concepto de calidad ambiental presentado en el numeral 1.1 este índice agrega dos subíndices el de presión ambiental y el del estado ambiental. Ver *Tabla 3*

---

<sup>5</sup> Se aclara que estos indicadores propuestos tienen observaciones por parte del IDEA, que pueden consultarse en la matriz del **ANEXO 6**; ellos se dejan como una opción para completar los indicadores simples de cada índice sintético propuesto, pero no se ha realizado con ellos un proceso de evaluación y depuración como el que se llevó a cabo con los indicadores ya publicados. Algunos tampoco se han construido aún, a excepción de los de espacio público y GAE. Para incorporarlos en los índices sintéticos formulados, deberán pasar por las etapas metodológicas que se aplicaron a los indicadores actuales y que fueron descritas en los documentos presentados a la SDA, en el marco de este convenio. Se recomienda verificar su pertinencia y concordancia con el concepto de indicador, acorde con los criterios que para ello se establecieron.







**Ilustración 2 Esquema jerárquico general para la construcción de índices y subíndices sintéticos**

Subíndice de presión ambiental

Comprende el subíndice de presión del agua por carga de contaminantes y la presión sobre el suelo por disposición de residuos. También abarca la presión sobre el aire, expresada a través del número de días, que se incumple la norma de material particulado (PM10) mensual.

Subíndice del estado ambiental

Comprende tres subíndices: subíndice estado del agua, conformado por indicadores que dan cuenta de la calidad del agua de las principales corrientes de Bogotá; el subíndice estado del aire, conformado por indicadores que miden concentración de contaminantes en el aire; abarca además tres indicadores de arbolado (árboles por hectárea), de espacio público (zonas verdes) y de movilidad, en relación con la contaminación producida por vehículos. A estos indicadores presentados se podrán agregar los de Espacio Público, construidos por el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público.

### 2.3.2 Índice impacto ambiental sobre la salud pública

En la *Tabla 4* puede apreciarse este índice y los indicadores simples que lo conforman, incluidos los elementos ambientales a los cuales pertenece cada uno de ellos. Este índice abarca indicadores relacionados con enfermedades de vías respiratorias y diarreicas; además de las tasas de mortalidad infantil.

**Tabla 3 Índice y subíndices de calidad ambiental de Bogotá**

NOMBRE DEL ÍNDICE	NOMBRE DEL SUBÍNDICE		ELEMENTO AMBIENTAL	DEPENDENCIA	Nombre del indicador	GRUPO	RECURSO	TEMA
<b>ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL DE BOGOTÁ</b>	SUBÍNDICE DE PRESIÓN AMBIENTAL	SUBÍNDICE DE PRESIÓN DEL AGUA	AGUA	SRHS	Carga de Sólidos Suspendedos Totales Transportados al Río Bogotá	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental
				SRHS	Carga de Materia Orgánica (DBO Demanda Biológica de Oxígeno) Aportada al Río Bogotá	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental
			SUELO	UAESP	Disposición de Residuos en el Relleno Sanitario Doña Juana Per Cápita	General	Suelo	
			AIRE	SCAAV	Numero de Días que se Excede la Norma de Material Particulado, Mensual	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental
	SUBÍNDICE DEL ESTADO AMBIENTAL	SUBÍNDICE DEL ESTADO DEL AGUA	AGUA	SRHS	Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Río Fucha	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental
				SRHS	Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Río Salitre	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental
				SRHS	Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Canal Torca	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental
				SRHS	Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Río Tunjuelo	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental
		SUBÍNDICE DEL ESTADO DEL AIRE	AIRE	SCAAV	Material Particulado Inferior a 10 Micras ( $\mu$ ) Promedio Anual	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental
				SCAAV	Dióxido de Azufre Promedio Anual	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental
				SCAAV	Dióxido de Nitrógeno	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental
				SCAAV	Monóxido de Carbono por 1 hora	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental
				SCAAV	Ozono Promedio 8 horas	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental
			ARBOLADO URBANO	JBB	Árboles por habitante	General	Vegetación	Estructuras
			ESPACIO PÚBLICO	SDP	Zonas Verdes Efectivas Per Cápita	General	Suelo	Espacio público
			MOVILIDAD	SDM	Número de Vehículos Particulares	General		Movilidad Sostenible

**Tabla 4 Índice de impacto ambiental sobre la salud pública e indicadores simples que lo conforman**

NOMBRE DEL ÍNDICE	NOMBRE DEL SUBÍNDICE		ELEMENTO AMBIENTAL	DEPENDENCIA	NOMBRE INDICADOR SIMPLE	GRUPO	RECURSO	TEMA
<b>ÍNDICE IMPACTO AMBIENTAL SOBRE LA SALUD PÚBLICA</b>			SALUD PÚBLICA AMBIENTAL	SDS	Tasa de Mortalidad por Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) en Niños Menores de 5 Años			Salud Ambiental
				SDS	Tasa de Mortalidad por Neumonía en Menores de 5 años		Aire	Salud Ambiental
				SDS	Prevalencia de Sibilancias (silbidos en el pecho en niños lactantes) en Menores de 5 años Debido al Material Particulado			Salud Ambiental
				SDS	Casos Atendidos en Salas de Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA)		Aire	Salud Ambiental
				SDS	Tasa Mortalidad Infantil			Salud Ambiental

### 2.3.3 Índice de gestión ambiental

Este índice y los subíndices que lo conforman pueden apreciarse en la *Tabla 5*  
Subíndice de gestión ambiental empresarial

Está conformado por seis indicadores simples, relacionados con la gestión que se lleva a cabo en el Distrito para la reducción de vertimientos y residuos peligrosos; así como el ahorro en el consumo de los recursos naturales. Muestra también la gestión para la concientización de empresas en el desarrollo de programas de autogestión ambiental.

**Tabla 5 Índice de gestión ambiental, subíndices e índices que lo conforman**

NOMBRE DEL ÍNDICE	NOMBRE DEL SUBÍNDICE	ELEMENTO AMBIENTAL	DEPENDENCIA	Nombre del indicador	GRUPO	RECURSO	TEMA
<b>ÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL</b>	SUBÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL	GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL	SEGAE	Reducción Acumulada Anual de Vertimientos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD-	General	Agua	Gestión Ambiental Empresarial
			SEGAE	Reducción Acumulada de Generación de Residuos Peligrosos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	General	Suelo	Gestión Ambiental Empresarial
			SEGAE	Empresas en Proceso de Autogestión Ambiental.	General		Gestión Ambiental Empresarial
			SEGAE	Ahorro Acumulado en el Consumo de Energía Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	General	Agua	Gestión Ambiental Empresarial
			SEGAE	Ahorro Acumulado en el Consumo de Agua Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	General	Agua	Gestión Ambiental Empresarial
			SEGAE	Radicación de Trámites Ambientales	General		Gestión Ambiental Empresarial
	SUBÍNDICE DE SANEAMIENTO, ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	SANEAMIENTO	EAAB	Cobertura del Sistema de Alcantarillado Pluvial	General		Ordenamiento y Ecurbanismo
			EAAB	Cobertura del Servicio de Alcantarillado	de	Acueducto	Residencial
			EAAB	Cobertura del Servicio de Acueducto Residencial	General	Agua	Ordenamiento y Ecurbanismo
		MANEJO DE RESIDUOS	SRHS	Aceites Usados Movilizados	General		Control para la Calidad Ambiental
			SRHS	Kilómetros de Río con Calidad Mejorada para los Ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental
	SUBÍNDICE DE GESTIÓN DE ÁREAS PROTEGIDAS	ECOSISTEMAS Y ÁREAS PROTEGIDAS	SER	Acciones de Restauración, Recuperación y Rehabilitación Ecológica en Áreas de la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital.	General		Ecosistemas
			SER	Certificados de Conservación Ambiental Expedidos	General		Ecosistemas
			SER	Áreas en Proceso de Restauración Ecológica	General		Ecosistemas
		CONSUMO AGUA	SPPA	PIGA, Consumo per Cápita de agua en Las Entidades Públicas Distritales	General		Control para la Calidad Ambiental
		CONSUMO DE DENERGÍA ELÉCTRICA	SPPA	PIGA, Consumo per Cápita de energía (kWh/persona) en las entidades públicas distritales.	General		Control para la Calidad Ambiental
	SUBÍNDICE DE GESTIÓN ARBOLADO URBANO	ÁRBOLADO URBANO	JBB	Número de Árboles Jóvenes Mantenidos al Año de la Siembra	General	Vegetación	Estructuras
			JBB	Árboles plantados AP	General	Vegetación	Estructuras
		EDUCACIÓN AMBIENTAL	OPEL	Personas vinculadas a estrategias de educación ambiental		Educación	

### Subíndice de gestión de áreas protegidas

Tiene que ver con las acciones de restauración, recuperación y rehabilitación que el Distrito emprende en los ecosistemas y las áreas protegidas

### Subíndice de gestión arbolado urbano

Está constituido por dos indicadores que muestran la gestión en relación con el número de árboles jóvenes mantenidos al año de la siembra y el número de árboles plantados al año.

### Subíndice de saneamiento básico de acueducto y alcantarillado

Conformado por tres indicadores que muestran la cobertura de servicios públicos esenciales y del sistema de alcantarillado pluvial.

El índice de gestión ambiental será construido también a partir de otros indicadores simples como el de manejo de residuos (aceites usados) y de la gestión para el mejoramiento de la calidad del agua, para los principales cuerpos de agua del Distrito. Además abarca indicadores de gestión para el ahorro en el consumo de agua y de energía eléctrica; así como de la gestión en educación ambiental y en el control de la calidad del aire.

En la

*Ilustración 2* puede observarse que existen propuestas de nuevos indicadores simples para completar el subíndice de gestión ambiental empresarial. Estos indicadores son los del SEGAE y GAE (ver **ANEXO 6**). Se plantea desarrollar también nuevos indicadores para la gestión de áreas protegidas, para la gestión de la calidad del agua, por parte de la EAAB y la gestión de residuos sólidos. La EAAB propuso un nuevo índice de cumplimiento operativo PTAR, que podrá agregarse a esta lista de índices compuestos (consultar en el mismo anexo).

#### *2.3.4 Índice de riesgo para el consumo de agua potable*

Este índice se encuentra publicado actualmente en el OAB junto con los indicadores simples. Se propone hacerlo parte de la batería de índices sintéticos. Como hace alusión a una temática específica que es agua para el consumo humano, no se vio la pertinencia de agregarlo con otros índices o subíndices, para construir otro más global.

#### *2.3.5 Índice de calidad del aire*

La metodología para este índice y los intervalos de calidad que emplea, están publicados en la página del OAB. Sus valores por estación, pueden ser consultados en la red de calidad del aire del D.C., existe también reporte anual con el ICA. Se dispone de un índice global de calidad de aire a nivel de Bogotá, calculado anualmente, el cual deberá publicarse.

Se propone mantenerlo al aire, tal como está diseñado, pero en el módulo de índices compuestos o sintéticos.

### 3 ESTANDARIZACIÓN DE INDICADORES SIMPLES

Para la construcción de los índices compuestos, la definición de cuánto va a contribuir cada indicador simple y cómo se puede transformar cada uno de ellos para poderse agregar, con base en la noción conceptual definida previamente, son dos de los aspectos fundamentales a resolver.

Las variables que se utilizarán para la construcción de los índices sintéticos están en diferentes unidades de medición y tienen una dinámica distinta en cuanto a su variabilidad, también disponen de una región específica en la recta de los reales, en donde se encuentran los valores deseados; por lo tanto, se considerará para cada caso una transformación de los indicadores entre cero y cien que permitirá en un paso posterior agregarlos y así obtener un índice sintético que resuma el conjunto de indicadores que agrupa.

Una buena parte de los indicadores seleccionados se encuentran disponibles solamente desde el año 2008, por lo tanto se tomaron los valores de los indicadores simples del observatorio entre el período 2008 al 2012 como valores de referencia y basados en estos datos se calcula para los diferentes casos particulares una ecuación matemática que permite transformar o estandarizar cada indicador simple entre cero y cien. Cada uno de los métodos de estandarización que se presentan a continuación podrá ser consultado con el cálculo detallado en la hoja de Excel del **ANEXO 4**; los resultados gráficos y tabulares pueden consultarse en el **ANEXO 5**

#### 3.1 Estandarización directa

Varios de los indicadores que se encuentran en el observatorio y que se utilizarán para la construcción del índice sintético se encuentran estandarizados o su estandarización es casi inmediata y requieren únicamente un reescalamiento o trasladar los valores asociados a atributos positivos hacia valores cercanos a 100. A continuación se presentan los indicadores con su formulación respectiva para estandarizarlos entre cero y cien y de esta manera disponer de ellos para su uso directo en la construcción del índice sintético (Tabla 6):

**Tabla 6 Estandarización directa**

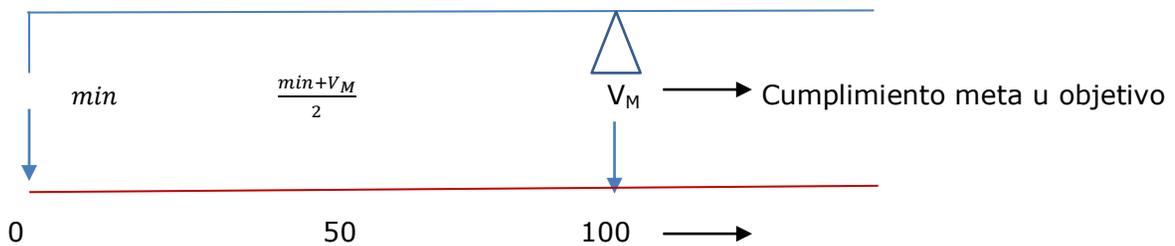
Nombre del indicador	Fórmula estandarización
Numero de Días que se Excede la Norma de Material Particulado, Mensual	$I = 100 - (x/365) * 100$
Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Río Fucha	$I = x$
Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Río Salitre	$I = x$
Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Canal Torca	$I = x$
Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Río Tunjuelo	$I = x$
Cobertura del Sistema de Alcantarillado Pluvial	$I = x$
Cobertura del Servicio de Alcantarillado	$I = x$
Cobertura del Servicio de Acueducto Residencial	$I = x$

*\*\*En la tabla anterior **I** representa cada indicador y **x** la variable original.*

### 3.2 Estandarización del indicador con respecto a un valor meta u objetivo (valores altos deseables de la variable)

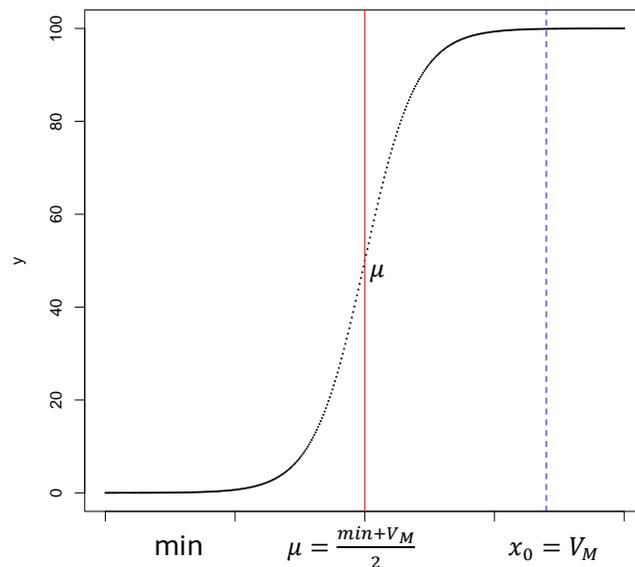
Los indicadores simples que disponen a la fecha de una meta u objetivo, se transformarán a nuevas variables que estén entre cero y 100, de tal manera que los valores que alcancen o superen un valor objetivo o meta ( $V_M$ ) se les asignará una puntuación cercana a 100 en el nuevo índice sintético. Por otro lado, los valores que se encuentren por debajo de la meta u objetivo obtendrán una puntuación que decrecerá en la medida en que estos se alejen de la meta. Ver *Ilustración 3*.

El indicador podría estar acotado por un mínimo conceptual pero se utilizará como mínimo valor de referencia el valor mínimo observado entre los años 2008 y 2012.



**Ilustración 3 Estandarización con respecto a un valor meta u objetivo ( $V_M$ ) y valor alto deseable de la variable**

La transformación que se utilizará para estandarizar este tipo de indicadores es la *logit* inversa. Esta función transformará los valores cercanos al valor normativo hacia valores cercanos a 100, por otro lado, se considerará como punto de inflexión de la curva el punto medio ( $\mu$ ) entre el valor mínimo observado en el período y el valor objetivo o meta ( $V_M$ ); en el punto de inflexión la variable transformada tomará el valor de cincuenta. Ver *Ilustración 4*.



**Ilustración 4 Curva logística con un valor meta u objetivo ( $V_M$ ) y valores altos deseables de la variable**

La formulación matemática de la función *logit* inversa cuando los valores deseados se encuentran en magnitudes altas de la variable, se presenta a continuación.

$$I = 100 \times \frac{\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}{1 + \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}$$

Para el caso particular de esta transformación, el punto de inflexión  $\mu$  es el punto medio entre el mínimo de la variable en el período 2008 y 2012 y el valor meta u objetivo de la variable. En ese valor de inflexión el valor que toma la curva será igual a 50.

El otro parámetro  $\sigma$  es un parámetro de escala que se configura de tal manera que la curva se acerque a cien en el valor meta u objetivo ( $V_M$ ). La siguiente expresión de  $\sigma$  permite que conocidos los puntos de inflexión y un punto cualquiera de la curva la variable transformada tome respectivamente en la variable transformada los valores de 50 y 99.

$$\sigma = \frac{\mu - x_0}{\log\left(\frac{100}{y_0} - 1\right)}$$

Para este caso particular,  $\mu = \frac{\min + V_M}{2}$ ,  $x_0 = V_N$  y  $y_0 = 99$

La transformación *logit* inversa además de tener un comportamiento suavizado también permitirá discriminar adecuadamente aquellos valores que aún no han alcanzado la meta, lo cual la hace una transformación muy útil para la estandarización de indicadores simples a valores acotados, en este caso entre cero y cien. A continuación se presentan los indicadores simples a los que se les aplicará este método de transformación (ver Tabla 7).

**Tabla 7 Estandarización con respecto a un valor objetivo o meta (valores altos deseables de la variable)**

NOMBRE DEL INDICADOR	VALOR META/OBJETIVO	$\mu$	$\sigma$
Árboles por habitante	0.18	0.2	0.0
Zonas Verdes Efectivas Per Cápita	5 m <sup>2</sup> /hab	4.6	0.1
Acciones de Restauración, Recuperación y Rehabilitación Ecológica en Áreas de la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital	100 ha	57.6	20.9
Árboles plantados	100 árboles/año	53567.5	6722.8
Personas vinculadas a estrategias de educación ambiental	1.200.000 personas (cuatrienio 2012-2016)	0.5	0.1

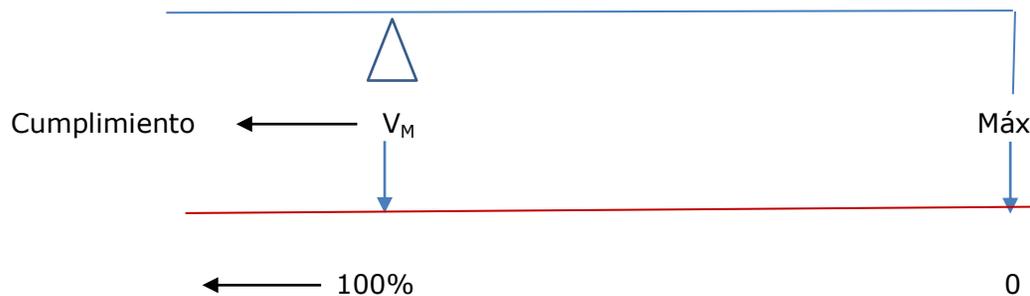
El indicador simple de personas vinculadas a estrategias de educación ambiental tiene una meta que varía año a año con lo cual no existe un único valor objetivo o meta para el período 2008-2012. Para solucionar lo anterior, se calcula una nueva variable realizando el

cociente entre el número de personas vinculadas a estrategias de educación ambiental y el valor programado para esta variable en cada año respectivo, de tal forma que si la variable toma exactamente el mismo valor programado, la variable transformada tomaría el valor de uno, que se convierte en el valor de referencia de la nueva variable sobre la cual se realiza la estandarización.

### 3.3 Estandarización del indicador con respecto a un valor meta u objetivo (valores bajos deseables de la variable)

Los indicadores simples que disponen a la fecha de una meta u objetivo se transformarán a nuevas variables que estén entre cero y 100, de tal manera que los valores que tomen valores menores o iguales a un valor objetivo o meta ( $V_M$ ) se les asignará como puntuación en el nuevo índice sintético un valor cercano (convergente) a 100. Por otro lado, los valores que se encuentren alejados de la meta u objetivo obtendrán una puntuación que decrecerá en la medida en que se van alejando de alcanzarla. Ver *Ilustración 5*.

El indicador podría estar acotado por un máximo conceptual pero se utilizará como máximo valor de referencia el valor máximo observado entre los años 2008 y 2012.



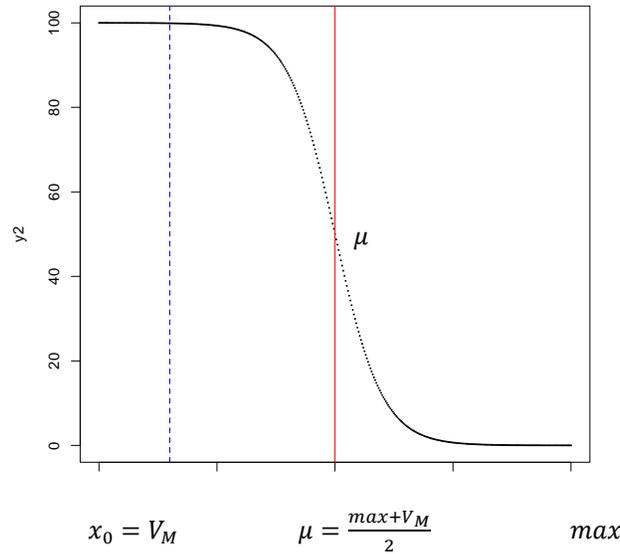
**Ilustración 5 Estandarización con respecto a un valor meta u objetivo ( $V_M$ ) y valor bajo deseable de la variable**

La transformación que se utilizará será una variación de la curva *logit* inversa. Esta función transformará los valores cercanos al valor meta u objetivo hacia valores cercanos a 100, por otro lado, se considerará como punto de inflexión de la curva el punto medio entre el valor objetivo (meta) y el valor máximo observado en el período; en el punto de inflexión la variable transformada tomará el valor de cincuenta. Ver *Ilustración 6*

La formulación matemática de la curva *logit* cuando los valores deseables de la variable se encuentran en magnitudes bajas se presenta a continuación.

$$I = 100 \times \frac{\exp\left(\frac{\mu-x}{\sigma}\right)}{1 + \exp\left(\frac{\mu-x}{\sigma}\right)}$$

Para el caso particular de esta transformación el punto de inflexión  $\mu$  es el punto medio entre el máximo de la variable en el período 2008 y 2012 y el valor meta u objetivo de la variable. En ese valor de inflexión el valor que toma la curva será igual a 50



**Ilustración 6 Curva logística con un valor meta u objetivo ( $V_M$ ) y valores bajos deseables de la variable**

El otro parámetro  $\sigma$  es un parámetro de escala y se configura de tal manera que la curva se acerque a uno en el valor meta u objetivo ( $V_M$ ). La siguiente expresión de  $\sigma$  permite lograr esto, conocidos los puntos de inflexión, un punto cualquiera de la curva y su respectivo valor en la variable transformada:

$$\sigma = \frac{x_0 - \mu}{\log\left(\frac{100}{y_0} - 1\right)}$$

Para este caso particular,  $\mu = \frac{max+V_M}{2}$ ,  $x_0 = V_M$  y  $y_0 = 99$

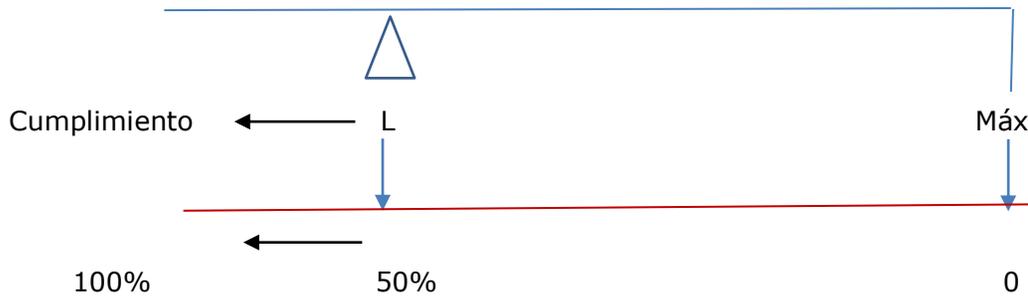
A continuación se presentan los indicadores simples a los que se les aplicará este método de transformación (ver *Tabla 8*).

**Tabla 8 Estandarización con respecto a un valor objetivo (valores bajos deseables de la variable)**

NOMBRE DEL INDICADOR	VALOR META/OBJETIVO	$\mu$	$\sigma$
Tasa de Mortalidad por Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) en Niños Menores de 5 Años	1 (por 100.000 habitantes)	1.35	0.05
Tasa de Mortalidad por Neumonía en Menores de 5 años	9 (por cada 100.000 niños)	15.00	0.87
Tasa Mortalidad Infantil	8 (Nacidos vivos por 1000)	10.65	0.38

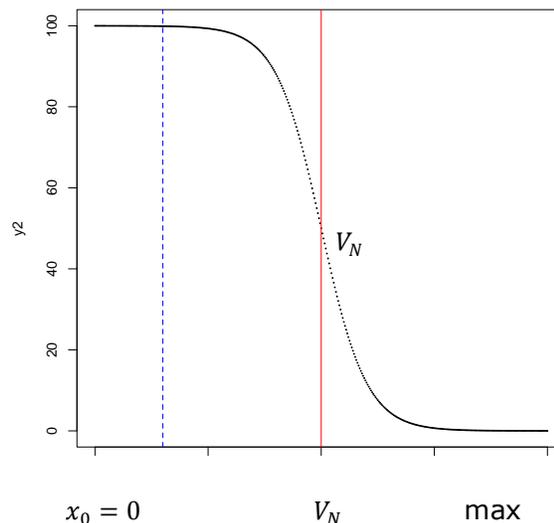
### 3.4 Estandarización del indicador con respecto a un valor normativo (valores bajos deseables de la variable)

Algunos indicadores simples disponen de una normatividad cuyo incumplimiento debe señalarse, asignándole a la variable transformada o estandarizada una magnitud que de alertas sobre el incumplimiento de la norma. Los indicadores que tienen normatividad y adicionalmente sus valores deseables son bajos (por ejemplo los indicadores de aire) tomarán el valor de cincuenta sobre 100 si cumplen la normatividad, tomando como valor exacto el valor normativo. En la medida que la variable tome valores por encima de la normatividad (sobrepase la norma), el valor transformado decrecerá acercándose a cero, si es al contrario, se acercará a 100. Ver *Ilustración 7*



**Ilustración 7 Estandarización con respecto a un valor normativo y valores bajos deseables de la variable**

Se considerará la función logit inversa para estandarizar los valores de la variable, el punto de inflexión de la curva será el valor normativo en donde la variable transformada tomará el valor de 50, se considerará el valor cero como el mínimo de la variable, de tal manera que hacia la izquierda la variable transformada tomará el valor de 100. Ver *Ilustración 8*



**Ilustración 8 Curva logística con un valor normativo y valores bajos deseables de la variable**

Nuevamente se plantea la función logit inversa:

$$I = 100 \times \frac{\exp\left(\frac{\mu-x}{\sigma}\right)}{1 + \exp\left(\frac{\mu-x}{\sigma}\right)}$$

Para el caso particular de esta transformación el punto de inflexión  $\mu$  es el valor normativo. El parámetro de escala  $\sigma$  se configura de tal manera que la curva se acerque a uno en los valores cercanos a cero y a 50 en el punto de inflexión ( $V_N$ )

$$\sigma = \frac{x_0 - \mu}{\log\left(\frac{100}{y_0} - 1\right)}$$

Para este caso particular,  $\mu = V_N$ ,  $x_0 = 0$  y  $y_0 = 99$

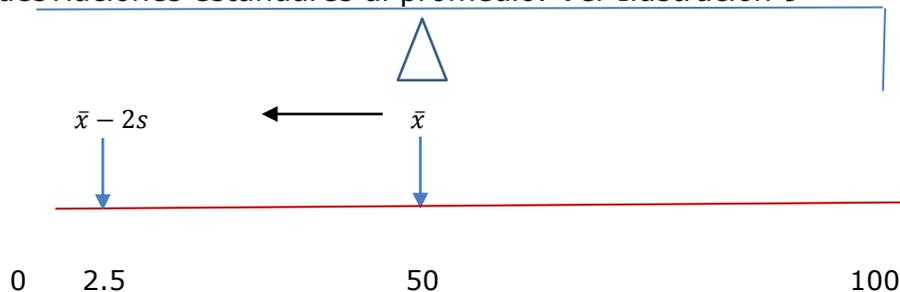
A continuación se presentan los indicadores simples a los que se les aplicará este método de transformación (ver *Tabla 9*)

**Tabla 9 Estandarización con respecto a un valor normativo (valores bajos deseables de la variable)**

NOMBRE DEL INDICADOR	VALOR NORMATIVO	$\mu$	$\sigma$
Material particulado Inferior a 10 Micras ( $\mu$ ) Promedio Anual	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	4.3
Dióxido de Azufre Promedio Anual	31 ppb	31	2.7
Dióxido de Nitrógeno	53 ppb	53	4.6
Monóxido de Carbono por 1 hora	34,93 ppm	35	3.0
Ozono Promedio 8 horas	41 ppb	41	3.6

### 3.3 Estandarización de una serie histórica sin valores normativos ni valores meta u objetivo (valores altos deseables de la variable)

Si un indicador simple no tiene un valor normativo ni tampoco un valor objetivo o meta su estandarización a valores entre cero y cien depende de los valores que adopte en unos años de referencia. Para estandarizar este tipo de indicadores se considerará que el promedio observado durante el período (2008-2012) tendrá un valor estandarizado igual a 50. Si el indicador, por otro lado, obtiene valores menores al promedio, el valor estandarizado del indicador irá decreciendo. El indicador tomará un valor igual a 2.5, si es menor en dos desviaciones estándares al promedio. Ver *Ilustración 9*



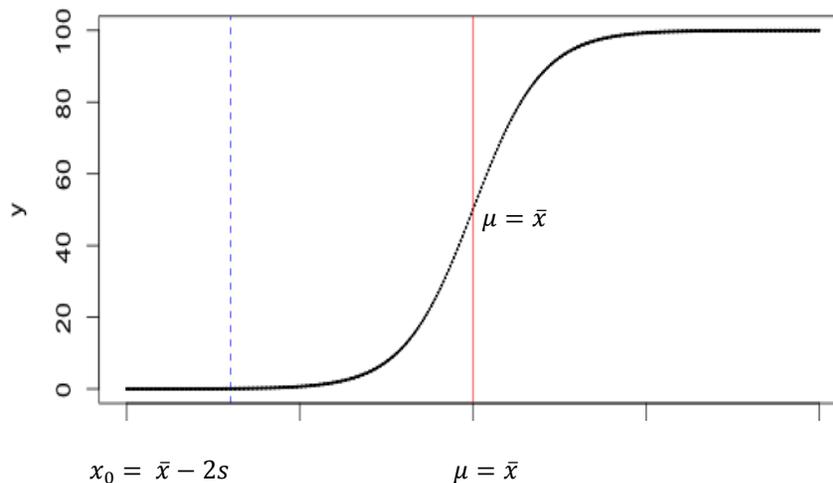
**Ilustración 9 Estandarización con respecto a al promedio y valores altos deseables de la variable**

La justificación de lo anterior se basa en el supuesto que el proceso aleatorio asociado al índice sintético en el período tiene una distribución normal, con una media  $\bar{x}$  y una desviación estándar  $s$ .

La transformación que se utilizará será la curva *logit* inversa. Se considerará como punto de inflexión de la curva el promedio de la variable en el período 2008-2012; los valores que se encuentren alejados en dos desviaciones estándares a la izquierda del promedio se transformarán en un valor de 2.5 (sobre un máximo de 100 que puede tomar la variable estandarizada). Ver *Ilustración 10*.

Se utiliza la función logit inversa para convertir los valores entre cero y cien:

$$I = 100 \times \frac{\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}{1 + \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}$$



**Ilustración 10** Curva logística con un valor promedio y valores altos deseables de la variable

El punto de inflexión  $\mu$  considerado para la curva es el promedio en el período 2008 al 2012, el parámetro de escala se configura de tal forma que el indicador estandarizado tome un valor de 2.5 en  $\bar{x} - 2s$ . El valor del parámetro de escala será:

$$\sigma = \frac{x_0 - \mu}{\log\left(\frac{100}{y_0} - 1\right)}$$

Para este caso particular,  $\mu = \bar{x}$ ,  $x_0 = \bar{x} - 2s$  y  $y_0 = 2.5$

A continuación se presentan los indicadores simples a los que aplica este método de transformación (ver *Tabla 10*).

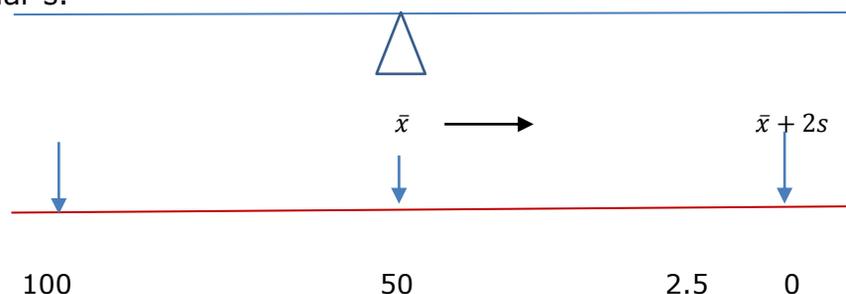
**Tabla 10 Estandarización con respecto a un valor promedio (valores altos deseables de la variable)**

NOMBRE DEL INDICADOR	UNIDADES	$\mu$	$\sigma$
Reducción Acumulada Anual de Vertimientos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital -PREAD-	m <sup>3</sup>	1058405	358539.9914
Reducción Acumulada de Generación de Residuos Peligrosos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital – PREAD	t/año	33481.8	3172.143354
Ahorro Acumulado en el Consumo de Energía Programa de Excelencia Ambiental Distrital – PREAD	GJ	1776749.4	550784.2149
Ahorro Acumulado en el Consumo de Agua Programa de Excelencia Ambiental Distrital – PREAD	m <sup>3</sup>	1477946	249244
Radicación de Trámites Ambientales	%	434	147.2331748
Aceites Usados Movilizados	Galones	3221689.4	295135.1941
Kilómetros de Río con Calidad Mejorada para los Ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo	km	8.114	0.993655633
Certificados de Conservación Ambiental Expedidos	Certificados/año	287.8421458	30.91045497
Número de Árboles Jóvenes Mantenidos al Año de la Siembra	Unidades	227.8872	14.82893282
Empresas en Proceso de Autogestión Ambiental	Número de empresas	525.0	177.1
Áreas en proceso de restauración ecológica	ha	57.61	20.94

### 3.4 Estandarización de una serie histórica sin valores normativos ni valores meta u objetivo (valores bajos deseables de la variable)

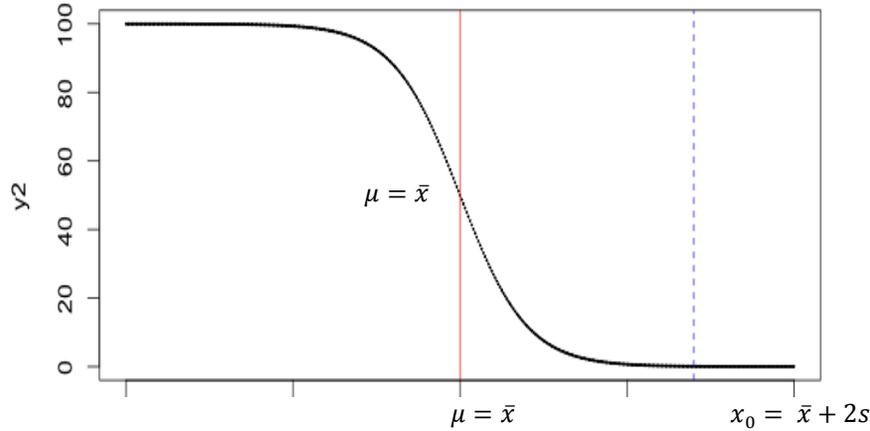
Si un indicador simple no tiene un valor normativo ni tampoco un valor objetivo o meta su estandarización a valores entre cero y cien depende de los valores que tome en unos años de referencia. Para estandarizar este tipo de indicadores se considera que el promedio observado durante el período (2008-2012) tendrá un valor estandarizado igual a 50. Si el indicador adopta valores menores al promedio, tendrá un valor de estandarización igual a 2.5, si es menor en dos desviaciones estándares al promedio. Ver *Ilustración 11*

La justificación de lo anterior se basa en el supuesto que el proceso aleatorio asociado al índice sintético en el período tiene una distribución normal, con una media  $\bar{x}$  y una desviación estándar  $s$ .



**Ilustración 11 Estandarización con respecto a al promedio y valores bajos deseables de la variable**

La transformación que se utilizará será la curva *logit* inversa. Se considerará como punto de inflexión de la curva el promedio de la variable en el período 2008-2012; los valores que se encuentren alejados en dos desviaciones estándares a la derecha del promedio se transformarán en un valor de 2.5 (sobre un máximo de 100 que puede adoptar la variable estandarizada). Ver *Ilustración 12*.



**Ilustración 12** Curva logística con un valor promedio y valores bajos deseables de la variable

Se utiliza la función *logit* inversa para convertir los valores entre cero y cien:

$$I = 100 \times \frac{\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}{1 + \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}$$

El punto de inflexión  $\mu$  considerado para la curva es el promedio en el período 2008 al 2012, el parámetro de escala se configura de tal forma que el indicador estandarizado tome un valor de 2.5 en  $\bar{x} - 2s$ . El valor del parámetro de escala será:

$$\sigma = \frac{x_0 - \mu}{\log\left(\frac{100}{y_0} - 1\right)}$$

Para este caso particular,  $\mu = \bar{x}$ ,  $x_0 = \bar{x} - 2s$  y  $y_0 = 2.5$

A continuación se presentan los indicadores simples que se les aplica este método de transformación (*Tabla 11*).

**Tabla 11** Estandarización con respecto a un valor promedio (valores bajos deseables de la variable)

NOMBRE DEL INDICADOR	Unidades	$\mu$	$\sigma$
Carga de Sólidos Suspendidos Totales Transportados al Río Bogotá	t/año	83395	13329.6
Carga de Materia Orgánica (DBO Demanda Biológica de Oxígeno) Aportada al Río Bogotá	t/año	70203	9013.1
Disposición de Residuos en el Relleno Sanitario Doña Juana Per Cápita	t/habitantes	0.3	0.00386
Número de Vehículos Particulares	Unidades	1087743	82731.7

NOMBRE DEL INDICADOR	Unidades	$\mu$	$\sigma$
Prevalencia de Sibilancias (silbidos en el pecho en niños lactantes) en Menores de 5 años Debido al Material particulado	%	52	12.8
Casos Atendidos en Salas de Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA)	Casos/año	31448	3324.3
PIGA, Consumo per Cápita de agua en Las Entidades Públicas Distritales	m <sup>3</sup> /persona	2	0.3
PIGA, Consumo per Cápita de energía en las entidades públicas distritales.	kWh/persona	83	2.6

#### 4 PONDERACIÓN DE LOS INDICADORES ESTANDARIZADOS

El método de ponderación empleó cuatro criterios para hallar el peso relativo de cada indicador simple dentro de los diversos subíndices e índices a ser construidos.

##### 4.1 Métodos de ponderación

Para obtener la ponderación de indicadores al interior de cada uno de los índices y subíndices que conformarán la batería, se utilizó el siguiente procedimiento de asignación de pesos:

1. Se realizó una calificación del indicador a través de cuatro criterios:
  - a. Juicios de experto
  - b. Sostenibilidad de los datos
  - c. Calidad de los datos en términos de funcionalidad y credibilidad
  - d. Importancia social e información útil, relacionada también con la pertinencia y relevancia para políticas y objetivos ambientales del Distrito.

Los anteriores criterios se evaluaron en una escala de uno a cinco y se describen más adelante.

2. Para tratar adecuadamente la importancia diferenciada que tiene cada uno de los cuatro criterios en términos de sus medidas de tendencia central y de variabilidad, se procedió a estandarizar las puntuaciones, al interior de cada uno de los índices y subíndices que conformarán la batería. De esta manera se garantizará que se tenga en cuenta la importancia relativa de cada indicador simple, dentro de la agregación a ser efectuada.

La fórmula de estandarización usada fue:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s_x}$$

Donde  $\bar{x}$  es el promedio de las calificaciones de los cuatro criterios considerados;  $X_i$  es la calificación del criterio considerado;  $s_x$  es la desviación estándar de cada uno de los indicadores simples al interior de los índices considerados.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Los valores se estandarizaron al interior de cada uno de los índices propuestos (índice de calidad ambiental, índice de gestión ambiental e índice de impacto ambiental sobre la salud pública).

- Los valores estandarizados correspondientes a cada una de las puntuaciones de los cuatro criterios considerados para cada uno de los índices en el paso dos, se transforman a una escala entre cero y 100.

$$z_{esc} = 100 \times \frac{z - \min(z)}{\max(z) - \min(z)}$$

Donde  $\min(z)$  y  $\max(z)$  son respectivamente el mínimo y el máximo de los valores estandarizados al interior de cada uno de los subíndices mencionados en el numeral 3.

- Los valores estandarizados correspondientes a cada uno de los cuatro criterios, se promedian al interior de cada uno de los índices.

$$z_{esc} = \frac{z_{esc1} + z_{esc2} + z_{esc3} + z_{esc4}}{4}$$

- Finalmente, los valores obtenidos en el paso 4, son re escalados de tal forma que la suma de los pesos resultantes en cada uno de los índices sea 100. Nuevamente se utiliza la misma fórmula descrita en el paso dos, pero usando en lugar de los valores estandarizados ( $z$ ), el valor promedio calculado en el paso anterior.
- La contribución de cada uno de los subíndices al interior del índice sintético se calcula realizando el cociente de la suma de los indicadores simples que componen el subíndice dividido por la suma de los indicadores simples que conforma el índice sintético, según esquema jerárquico de índices y subíndices.

Este ejercicio para los indicadores simples propuestos, se presenta en el **ANEXO 1**.

Las columnas a, b, c y d corresponden a las calificaciones de los criterios: juicios de experto, sostenibilidad de los datos, calidad de los datos e importancia social respectivamente; las columnas  $z_1$  a  $z_4$  corresponden a las estandarizaciones de las puntuaciones de cada uno de los anteriores criterios al interior de cada uno de los índices, las columnas  $z_{1esc}$  a  $z_{4esc}$  corresponden los valores estandarizados transformados entre cero y cien al interior de cada uno de los índices. La columna promedio corresponde el promedio de  $z_{1esc}$  a  $z_{4esc}$ . Finalmente la columna *Pesos* corresponde al promedio transformado entre cero y cien.

**Tabla 12 Ponderación de indicadores simples dentro de los subíndices e índices sintéticos**

Nombre del indicador	GRUPO	RECURSO	TEMA	Juicios de experto	Sostenibilidad de los datos	Calidad de los datos subyacentes	Importancia social e información útil	z1	z2	z3	z4	z1escala do	z2escala do	z3escala do	z4escala do	Promedio
Carga de Sólidos Suspendedos Totales Transportados al Río Bogotá	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental	5	5	4,5	5	0,968246	0,9139	1,098	1	100	100	75	100	93,75
Carga de Materia Orgánica (DBO Demanda Biológica de Oxígeno) Aportada al Río Bogotá	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental	5	5	3,5	5	0,968246	0,9139	-0,854	1	100	100	25	100	81,25
Disposición de Residuos en el Relleno Sanitario Doña Juana Per Cápita	General	Suelo		4	5	4	4	-0,32275	0,9139	0,122	-0	66,667	100	50	66,667	70,833333
Numero de Días que se Excede la Norma de Material Particulado, Mensual	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental	5	3	3,5	5	0,968246	-1,175	-0,854	1	100	0	25	100	56,25
Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Río Fucha	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental	4	3	4	4	-0,32275	-1,175	0,122	-0	66,667	0	50	66,667	45,833333
Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Río Salitre	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental	4	3	4	4	-0,32275	-1,175	0,122	-0	66,667	0	50	66,667	45,833333
Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Canal Torca	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental	4	3	4	4	-0,32275	-1,175	0,122	-0	66,667	0	50	66,667	45,833333
Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Río Tunjuelo	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental	4	3	4	4	-0,32275	-1,175	0,122	-0	66,667	0	50	66,667	45,833333
Material Particulado Inferior a 10 Micras (µ) Promedio Anual	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental	5	5	4	5	0,968246	0,9139	0,122	1	100	100	50	100	87,5
Dióxido de Azufre Promedio Anual	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental	4	5	4	3	-0,32275	0,9139	0,122	-1	66,667	100	50	33,333	62,5
Dióxido de Nitrógeno	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental	4	4	3	3	-0,32275	-0,131	-1,83	-1	66,667	50	0	33,333	37,5
Monóxido de Carbono por 1 hora	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental	4	5	3	3	-0,32275	0,9139	-1,83	-1	66,667	100	0	33,333	50
Ozono Promedio 8 horas	General	Aire	Control para la Calidad Ambiental	5	4	4	4	0,968246	-0,131	0,122	-0	100	50	50	66,667	66,66667
Árboles por habitante	General	Vegetación	Estructuras	4	5	4,5	5	-0,32275	0,9139	1,098	1	66,667	100	75	100	85,416667
Zonas Verdes Efectivas Per Cápita	General	Suelo	Espacio público	5	5	4	5	0,968246	0,9139	0,122	1	100	100	50	100	87,5
Número de Vehículos Particulares	General		Movilidad Sostenible	2	3	5	2	-2,90474	-1,175	2,074	-2	0	0	100	0	25
Tasa de Mortalidad por Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) en Niños Menores de 5 Años			Salud Ambiental	5	3	4	5	0,67082	-0,73	0,447	0,7	100	0	100	100	75
Tasa de Mortalidad por Neumonía en Menores de 5 años		Aire	Salud Ambiental	5	5	4	5	0,67082	1,0954	0,447	0,7	100	100	100	100	100
Prevalencia de Sibilancias (silbidos en el pecho en niños lactantes) en Menores de 5 años Debido al Material Particulado			Salud Ambiental	4	3	3	4	-0,44721	-0,73	-1,789	-1	50	0	0	0	12,5
Casos Atendidos en Salas de Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA)		Aire	Salud Ambiental	3	3	4	4	-1,56525	-0,73	0,447	-1	0	0	100	0	25
Tasa Mortalidad Infantil			Salud Ambiental	5	5	4	5	0,67082	1,0954	0,447	0,7	100	100	100	100	100
Reducción Acumulada Anual de Vertimientos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD-	General	Agua	Gestión Ambiental Empresarial	5	5	3,5	4	0,860309	0,8603	-0,774	-0	100	92,04	16,808	66,667	68,878529
Reducción Acumulada de Generación de Residuos Peligrosos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	General	Suelo	Gestión Ambiental Empresarial	5	5	3,5	4	0,860309	0,8603	-0,774	-0	100	92,04	16,808	66,667	68,878529
Empresas en Proceso de Autogestión Ambiental.	General		Gestión Ambiental Empresarial	3	3	3,5	4	-1,31914	-1,319	-0,774	-0	33,333	0	16,808	66,667	29,20198
Ahorro Acumulado en el Consumo de Energía Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	General	Agua	Gestión Ambiental Empresarial	5	5	4	4	0,860309	0,8603	-0,229	-0	100	92,04	33,616	66,667	73,080509
Ahorro Acumulado en el Consumo de Agua Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	General	Agua	Gestión Ambiental Empresarial	5	5	4	4	0,860309	0,8603	-0,229	-0	100	92,04	33,616	66,667	73,080509
Radicación de Trámites Ambientales	General		Gestión Ambiental Empresarial	3	3	4	3	-1,31914	-1,319	-0,229	-1	33,333	0	33,616	33,333	25,070626
Cobertura del Sistema de Alcantarillado Pluvial	General		Ordenamiento y Ecurbanismo	4	5	5	3	-0,10509	1,0488	1,923	-1	72,287	106,46	96,126	41,231	79,025312
Cobertura del Servicio de Alcantarillado de	de	Acueducto	Residencial	4	5	5	3	-0,10509	1,0488	1,923	-1	72,287	106,46	96,126	41,231	79,025312
Cobertura del Servicio de Acueducto Residencial	General	Agua	Ordenamiento y Ecurbanismo	4	5	5	3	-0,10509	1,0488	1,923	-1	72,287	106,46	96,126	41,231	79,025312
Aceites Usados Movilizados	General		Control para la Calidad Ambiental	2	4	3	2	-2,40887	-0,229	-1,319	-2	0	46,02	0	0	11,504942
Kilómetros de Río con Calidad Mejorada para los Ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo	General	Agua	Control para la Calidad Ambiental	5	4	4	5	0,860309	-0,229	-0,229	0,9	100	46,02	33,616	100	69,908901
Acciones de Restauración, Recuperación y Rehabilitación Ecológica en Áreas de la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital.	General		Ecosistemas	5	3	4,5	5	0,860309	-1,319	0,315	0,9	100	0	50,424	100	62,605939
Certificados de Conservación Ambiental Expedidos	General		Ecosistemas	3	3	3,5	3	-1,31914	-1,319	-0,774	-1	33,333	0	16,808	33,333	20,868646
Áreas en Proceso de Restauración Ecológica	General		Ecosistemas	5	3	3	5	0,860309	-1,319	-1,319	0,9	100	0	0	100	50
PIGA, Consumo per Cápita de agua en Las Entidades Públicas Distritales	General		Control para la Calidad Ambiental	4	3	4	4	-0,22942	-1,319	-0,229	-0	66,667	0	33,616	66,667	41,737293
PIGA, Consumo per Cápita de energía (kWh/persona) en las entidades públicas distritales.	General		Control para la Calidad Ambiental	4	3	4	4	-0,22942	-1,319	-0,229	-0	66,667	0	33,616	66,667	41,737293
Número de Árboles Jóvenes Mantenidos al Año de la Siembra	General	Vegetación	Estructuras	5	5	4	5	0,860309	0,8603	-0,229	0,9	100	92,04	33,616	100	81,413842
Árboles plantados AP	General	Vegetación	Estructuras	5	5	4	5	0,860309	0,8603	-0,229	0,9	100	92,04	33,616	100	81,413842
Personas vinculadas a estrategias de educación ambiental		Educación		4	3	4	4	-0,22942	-1,319	-0,229	-0	66,667	0	33,616	66,667	41,737293

Los siguientes son los criterios utilizados para realizar las ponderaciones de los indicadores simples al interior de cada uno de los índices y subíndices que conforman la batería de sintéticos (ver calificaciones en la matriz del **ANEXO 1** y en la *Tabla 12* .

#### *4.1.1 Criterio de ponderación juicio de expertos*

Este criterio empleó el juicio de expertos para sopesar la importancia de un indicador en la temática abordada por cada subíndice e índice propuesto. Con base en el significado ambiental implícito en cada índice compuesto, se indagó a expertos de la Universidad Nacional, para que señalaran aquellos indicadores simples que fueran centrales y representativos de la característica ambiental que se estaba abordando. El resultado de esta calificación puede ser observado en la columna "juicio de expertos".

#### *4.1.2 Criterio de ponderación sostenibilidad de los datos*

Este criterio evaluó que tan sostenible han sido cada uno de los indicadores simples utilizados para la agregación del índice sintético. En una escala de uno a cinco se calificó este criterio. Los indicadores que fueron publicados en los últimos siete años se les otorga una calificación de tres, los indicadores que tengan valores publicados entre ocho y diez años se califican con cuatro y finalmente aquellos indicadores que se encuentran disponibles hace más de diez años reciben una calificación de cinco. Es de resaltar que a los indicadores que tuvieran una historia de menos de cinco años se les asignó calificación de dos, puesto que ésta fue la serie de tiempo mínima que se consideró común y pertinente para los indicadores analizados.

#### *4.1.3 Criterio de ponderación calidad de los datos subyacentes*

En este criterio se cuantifica la calidad del indicador en términos de su funcionalidad, es decir que el indicador sea medible, operable y sensible a los cambios registrados en la situación inicial; otro criterio de calidad que se tuvo en cuenta, es la credibilidad del indicador, es decir si el indicador está basado en estándares estadísticos apropiados.

#### *4.1.4 Criterio de ponderación importancia social e información útil que brinda cada indicador*

Este criterio tuvo en cuenta la importancia social del indicador, es decir, la utilidad que ofrece al ciudadano que lo consulta, está relacionada también con la pertinencia y relevancia de éste para demostrar coherencia y relación con las políticas públicas y con los objetivos ambientales del Distrito en sus procesos de planeación.

Las calificaciones asignadas, fueron puestas a disposición de las dependencias y entidades encargadas de la publicación de los indicadores simples, para que ellas participaran en este proceso. Algunas de ellas proporcionaron calificaciones que fueron actualizadas en la matriz de calificación.

Estas no dejan de ser asignaciones subjetivas, de allí que si se tomara la decisión de realizar modificaciones a las valoraciones de los criterios, se podrá usar la matriz del **ANEXO 1** que tiene las fórmulas para el cálculo de nuevos pesos.

La calificación de los diversos criterios de ponderación y el procesamiento para obtener los diferentes pesos se presentaron en la *Tabla 12*

## 4.2 Resultados de la ponderación de indicadores simples para los índices y subíndices sintéticos

Para los índices sintéticos se consideraron los pesos de cada uno de los indicadores simples que lo componen. Es casi inmediato poder establecer los pesos de los subíndices que conforman cada índice sintético.

En la *Tabla 13* y el **ANEXO 1** se presenta el resultado de esas ponderaciones por cada indicador simple y para los subíndices e índices propuestos.

## 5 AGREGACIÓN DE INDICADORES SIMPLES EN ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS

### 5.1 Método de agregación utilizado

Una vez estandarizados los indicadores simples de tal forma que las mejores condiciones para el ambiente adopten un valor de 100 y el peor desempeño un valor de cero (0), se procedió a agregar los indicadores estandarizados al interior de cada una de las jerarquías definidas.

Los indicadores se agregaron usando una combinación lineal, utilizando como coeficientes de ésta, los pesos resultantes en la fase de ponderación.

La fórmula general de agregación usada fue:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^p w_i x_i}{\sum_{i=1}^p w_i}$$

Donde cada valor  $w_i$  representa la ponderación de cada indicador simple dentro de la jerarquía definida para la construcción del índice sintético  $x_i$ . Los pesos  $w_i$  de cada indicador simple para cada subíndice e índices sintéticos pueden observarse en él.

Las agregaciones de cada uno de los índices compuestos definidos, pueden consultarse en el **ANEXO 4** (en digital)

### 5.2 Caso particular WQI de agua

Para los indicadores del subíndice de estado del agua, fue tomado en consideración que ellos tienen un significado agregado para la calidad de agua superficial en una escala de ciudad. Los indicadores WQI se presentan discriminados por corrientes principales del Distrito, pero los demás indicadores trabajados tienen una escala de cubrimiento para el total de la ciudad. De allí que se propuso agregar estos tres indicadores, para generar un solo índice de calidad del agua superficial para Bogotá.

**Tabla 13 Resultado de ponderaciones de índices simples, subíndices e índices sintéticos**

Nombre del indicador	Peso indicador	Subíndice sintético de primera jerarquía	Contribución (%) indicador simple a subíndice de primera jerarquía	Peso subíndice sintético de primera jerarquía	Subíndice sintético de segunda jerarquía	Contribución (%) indicador simple a subíndice de segunda jerarquía	Peso subíndice sintético de segunda jerarquía	ÍNDICE SINTÉTICO	
Carga de Sólidos Suspendidos Totales Transportados al Río Bogotá	9,49	SUBÍNDICE DE PRESIÓN DEL AGUA	53,6	17,7	SUBÍNDICE DE PRESIÓN AMBIENTAL	31,0	30,6	ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL	
Carga de Materia Orgánica (DBO Demanda Biológica de Oxígeno) Aportada al Río Bogotá	8,23		46,4			26,9			
Disposición de Residuos en el Relleno Sanitario Doña Juana Per Cápita	7,17					7,2			23,4
Numero de Días que se Excede la Norma de Material Particulado, Mensual	5,70					5,7			18,6
Agua Superficial Indicadores en Corrientes Fucha	4,64	SUBÍNDICE DEL ESTADO DEL AGUA	25	18,6	SUBÍNDICE DEL ESTADO AMBIENTAL	6,69	69,4		
Agua Superficial Indicadores en Corrientes Salitre	4,64		25			6,69			
Agua Superficial Indicadores en Corrientes Torca	4,64		25			6,69			
Agua Superficial Indicadores en Corrientes Tunjuelo	4,64		25			6,69			
Material Particulado Inferior a 10 Micras (µ) Promedio Anual	8,86	SUBÍNDICE DEL ESTADO DEL AIRE	28,8	30,8	SUBÍNDICE DEL ESTADO AMBIENTAL	12,77	69,4		
Dióxido de Azufre Promedio Anual	6,33		20,5			9,12			
Dióxido de Nitrógeno	3,80		12,3			5,47			
Monóxido de Carbono por 1 hora	5,06		16,4			7,29			
Ozono Promedio 8 horas	6,75		21,9		9,73				
Árboles por habitante	8,65			8,6		12,46			
Zonas Verdes Efectivas Per Cápita	8,86			8,9		12,77			
Número de Vehículos Particulares	2,53			2,5		3,65			
Tasa de Mortalidad por Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) en Niños Menores de 5 Años	24,00						24	ÍNDICE DE IMPACTO A LA SALUD PÚBLICA	
Tasa de Mortalidad por Neumonía en Menores de 5 años	32,00						32		
Prevalencia de Sibilancias (silbidos en el pecho en niños lactantes) en Menores de 5 años Debido al Material Particulado	4,00						4		
Casos Atendidos en Salas de Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA)	8,00						8		
Tasa Mortalidad Infantil	32,00						32		
Reducción Acumulada Anual de Vertimientos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD-	6,39				SUBÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL	20,4	31,4	ÍNDICE DE GESTIÓN AMBIENTAL	
Reducción Acumulada de Generación de Residuos Peligrosos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	6,39					20,4			
Empresas en Proceso de Autogestión Ambiental.	2,71					8,6			
Ahorro Acumulado en el Consumo de Energía Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	6,78					21,6			
Ahorro Acumulado en el Consumo de Agua Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	6,78					21,6			
Radicación de Trámites Ambientales	2,33					7,4			
Cobertura del Sistema de Alcantarillado Pluvial	7,33				SUBÍNDICE DE SANEAMIENTO, ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	22,0			
Cobertura del Servicio de Alcantarillado	7,33								
Cobertura del Servicio de Acueducto Residencial	7,33								
Aceites Usados Movilizados	1,07					1,1			
Kilómetros de Río con Calidad Mejorada para los Ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo	6,48					6,5			
Acciones de Restauración, Recuperación y Rehabilitación Ecológica en Áreas de la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital.	5,81				SUBÍNDICE DE GESTIÓN DE ÁREAS PROTEGIDAS	46,9	12,4		
Certificados de Conservación Ambiental Expedidos	1,94					15,6			
Áreas en Proceso de Restauración Ecológica	4,64					37,5			
PIGA, Consumo per Cápita de agua en Las Entidades Públicas Distritales	3,87					3,9			
PIGA, Consumo per Cápita de energía (kWh/persona) en las entidades públicas distritales.	3,87					3,9			
Número de Árboles Jóvenes Mantenidos al Año de la Siembra	7,55				SUBÍNDICE DE GESTIÓN ARBOLADO URBANO	50,0	15,1		
Árboles plantados AP	7,55					50,0			
Personas vinculadas a estrategias de educación ambiental	3,87							3,9	

El cálculo del WQI agregado se realizó a través de un promedio ponderado de la calidad del agua para cada uno de los tramos de los ríos Fucha, Salitre, Tunjuelo y Torca. Los pesos se definieron con base en la longitud en kilómetros de cada tramo. La fórmula empleada fue:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^p L_i x_i}{\sum_{i=1}^p L_i}$$

$L_i$  representa la longitud del tramo  $i$

$X_i$  representa la puntuación entre cero y 100 de la calidad del agua para el tramo  $i$  en un año específico

El cálculo efectuado fue:

$$\text{WQI} = (1.98 * \text{Tramo\_Fucha}[1] + 7.56 * \text{Tramo\_Fucha}[2] + 2.74 * \text{Tramo\_Fucha}[3] + 5.03 * \text{Tramo\_Fucha}[4] + 1.31 * \text{Tramo\_Salitre}[1] + 2.31 * \text{Tramo\_Salitre}[2] + 2.70 * \text{Tramo\_Salitre}[3] + 13.45 * \text{Tramo\_Salitre}[4] + 5.96 * \text{Tramo\_Torca}[1] + 7.10 * \text{Tramo\_Torca}[2] + 1.46 * \text{Tramo\_Tunjuelo}[1] + 4.1 * \text{Tramo\_Tunjuelo}[2] + 14.16 * \text{Tramo\_Tunjuelo}[3] + 14.39 * \text{Tramo\_Tunjuelo}[4]) / 84.25$$

Este mismo procedimiento se llevó a cabo para el WQI de cada año.

## 6 RESULTADOS DE ÍNDICES SINTÉTICOS

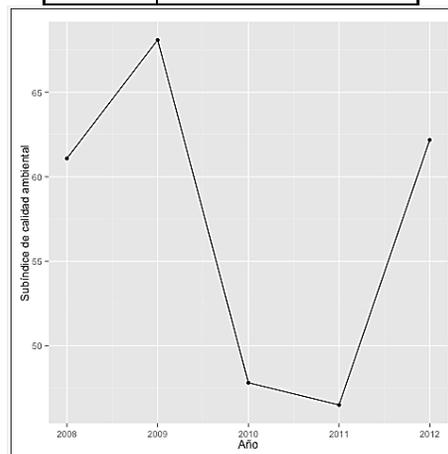
Los cálculos detallados de los índices y subíndices presentados y las agregaciones ponderadas empleadas para su obtención, pueden ser consultados en el **ANEXO 4**

### 6.1 Índice de calidad ambiental de Bogotá

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=828&v=1>

A continuación se presentan los resultados de este índice para el intervalo de tiempo 2008 – 2012.

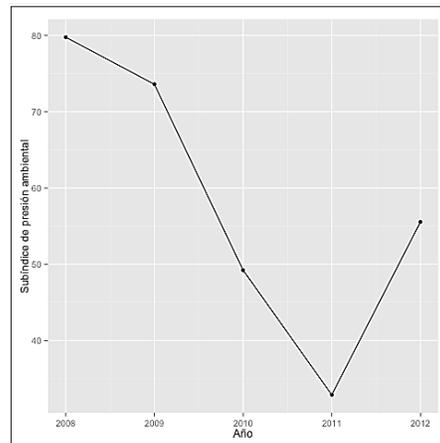
Año	Calidad ambiental
2008	61,1
2009	68,1
2010	47,8
2011	46,5
2012	62,2



### 6.1.1 Subíndice de presión ambiental

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=844&v=l>

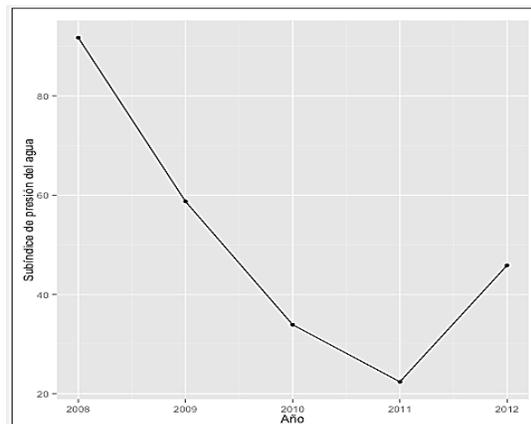
Año	Presión ambiental
2008	79,8
2009	73,6
2010	49,2
2011	32,9
2012	55,5



#### 6.1.1.1 Subíndice de presión del agua

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=841&v=l>

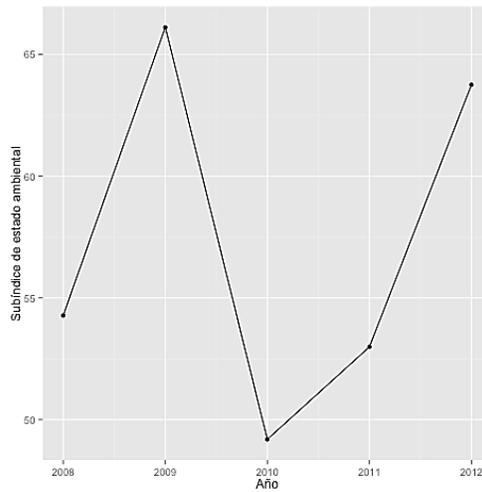
Año	Presión del Agua
2008	91,7
2009	58,7
2010	33,9
2011	22,4
2012	45,9



6.1.2 Subíndice del estado ambiental:

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=845&v=1>

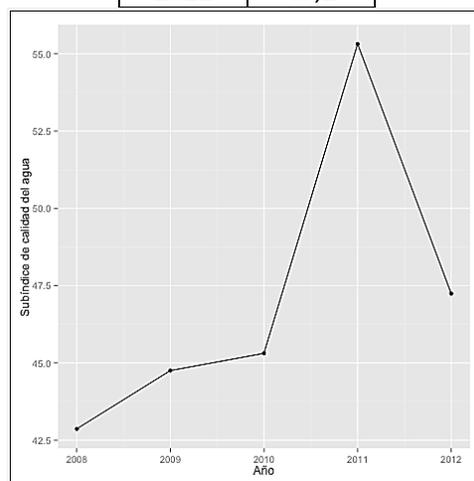
Año	Estado ambiental
2008	52,8
2009	65,7
2010	47,2
2011	52,5
2012	65,1



6.1.2.1 Subíndice del estado del agua

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=842&v=1>

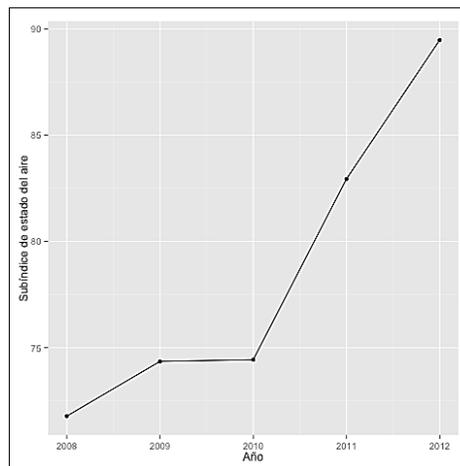
Fecha	WQI
2008	42,9
2009	44,8
2010	45,3
2011	55,3
2012	47,2



### 6.1.2.2 Subíndice del estado del aire

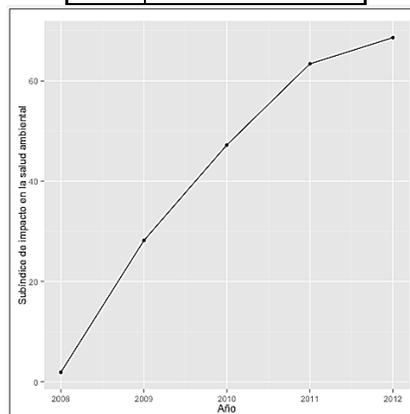
<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=843&v=1>

Año	Estado del aire
2008	71,8
2009	74,4
2010	74,4
2011	82,9
2012	89,5



## 6.2 Índice impacto ambiental sobre la salud pública

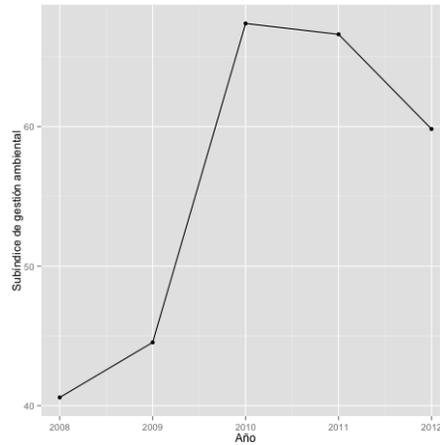
Año	Impacto sobre la salud pública
2008	1,9
2009	28,2
2010	47,2
2011	63,4
2012	68,6



### 6.3 Índice de gestión ambiental

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=846&v=1>

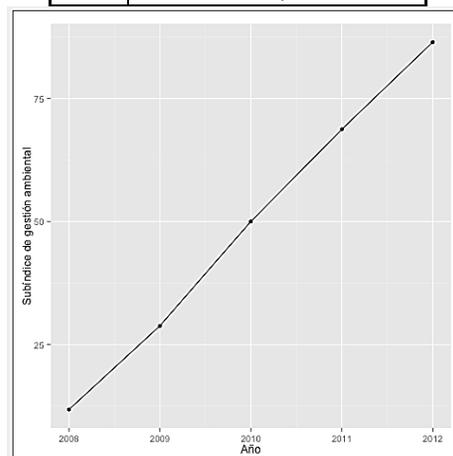
Año	Gestión ambiental
2008	40,59
2009	44,54
2010	67,39
2011	66,62
2012	59,83



#### 6.3.1 Subíndice de gestión ambiental empresarial

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=847&v=1>

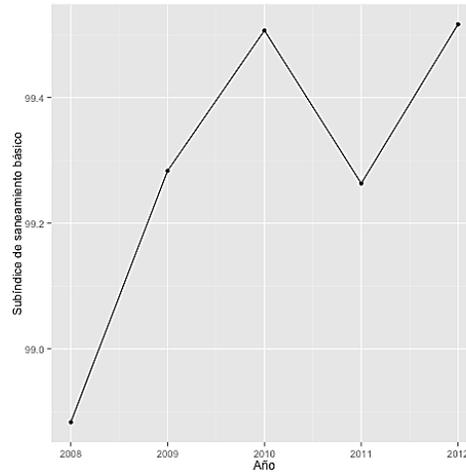
Año	Gestión ambiental empresarial
2008	11,8
2009	28,8
2010	50,0
2011	68,7
2012	86,5



### 6.3.2 Subíndice de saneamiento, acueducto y alcantarillado

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=848&v=1>

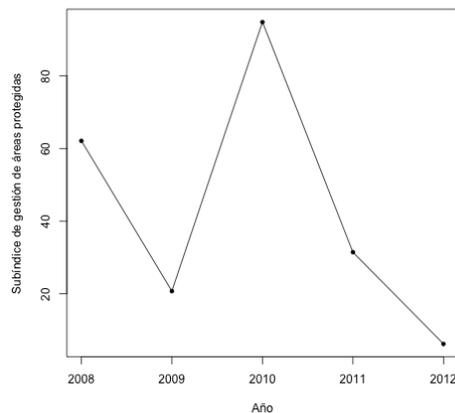
Año	Subíndice
2008	98.88
2009	99.28
2010	99.51
2011	99.26
2012	99.52



### 6.3.3 Subíndice de gestión de áreas protegidas

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=849&v=1>

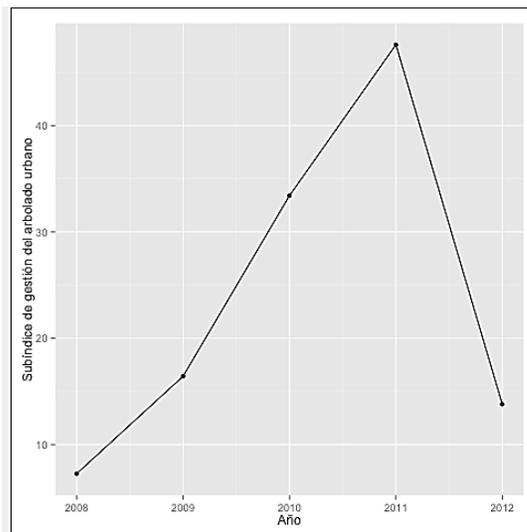
Año	Ecosistemas áreas protegidas
2008	62,11
2009	20,72
2010	94,80
2011	31,45
2012	6,19



### 6.3.4 Subíndice de gestión arbolado urbano

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=850&v=1>

Arbolado Urbano	Arbolado urbano
2008	7,3
2009	16,4
2010	33,4
2011	47,6
2012	13,8



## 6.4 Análisis de tendencias de índices y subíndices ambientales

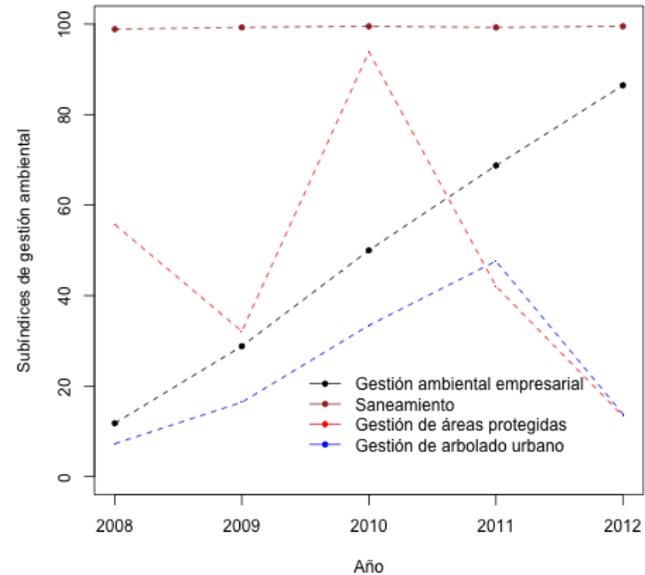
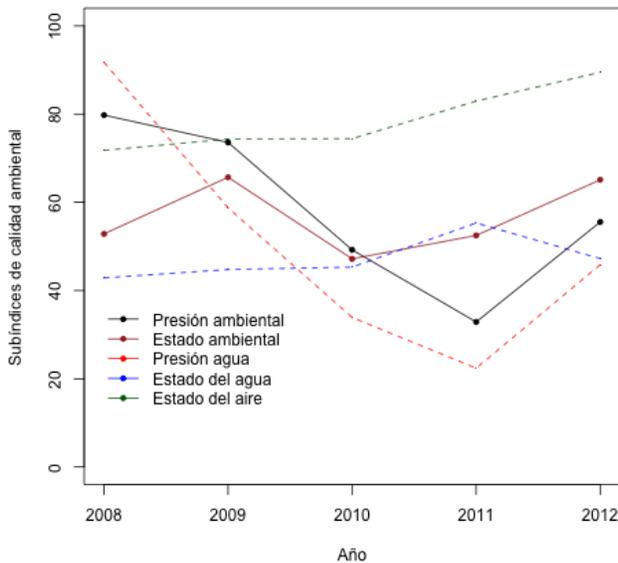
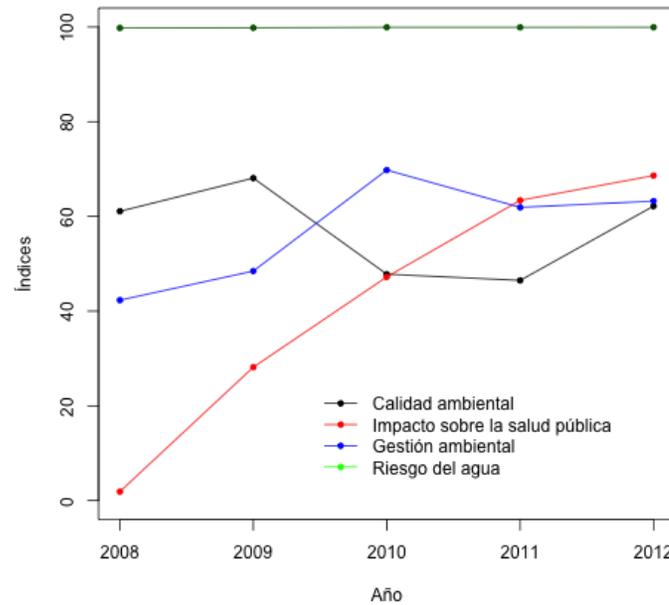
En la *Ilustración 13* se presentan las gráficas consolidadas de los índices y subíndices ambientales construidos. El índice de calidad ambiental presenta una tendencia a mejorar en el último año; mientras que la gestión ambiental presentó mejores resultados en el 2010, que en la última fecha (2012). El impacto ambiental en la salud pública ha tendido a disminuir, manteniendo esta tendencia en el 2012.

En relación con los subíndices, el de presión ambiental traía una tendencia al aumento de esa presión, hasta el 2011. Ya en el último año esa tendencia cambió hacia un mejoramiento de este aspecto. Lo mismo sucedió, aunque con variaciones menos notorias, con el subíndice de estado ambiental, que se ha mantenido en niveles intermedios.

El subíndice de presión sobre el agua, tuvo una tendencia a aumentar dicha presión hasta el año 2011, a partir de esa fecha, la presión presenta una tendencia a la disminución, aunque la presión se ubica aún en niveles intermedios.

El subíndice de estado del agua se ha mantenido casi constante, con una calidad media, en la serie de tiempo analizada; mientras que el del aire, presenta una tendencia a mejorar en el tiempo, manteniendo siempre niveles relativamente bajos de contaminación.

En cuanto a la gestión ambiental, la empresarial muestra una fuerte tendencia a mejorar en el tiempo; mientras que el saneamiento de acueducto y alcantarillado ha permanecido constante, con una buena respuesta a satisfacer la cobertura solicitada. La gestión de áreas protegidas tuvo unos niveles altos al 2010, pero a partir de esa fecha, ha tenido una fuerte disminución, llegando a niveles bajos de respuesta. La gestión del arbolado urbano llegó a su máximo nivel en el 2010, alcanzando valores intermedios; y presenta hacia el último año una tendencia a desmejorar la respuesta.



**Ilustración 13 Comportamiento en el tiempo de los índices y subíndices ambientales del OAB**

## 7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE ÍNDICES SIMPLES CON LOS ÍNDICES SINTÉTICOS

Para cada uno de los índices y subíndices se evaluó su sensibilidad a cambios en el valor de las variables originales que lo componen. Para ver cuál es el efecto de una variable sobre el índice sintético se realizan los siguientes procesos

1. Se utiliza el valor del indicador sintético en el año 2012. Este valor se denominará  $I_0$
2. Se evalúa el índice sintético en el año 2012 modificando una de las variables que alimenta dicho índice. Esto se realiza sumándole o restándole al valor de ese año una desviación estándar de los valores observados en el período 2008-2012 y manteniendo constante las demás variables. A la variable que se modifica en el año 2012, se le suma una desviación estándar, si los valores deseables de ésta, están hacia valores grandes y se restará una desviación estándar si la variable tiene sus valores deseables hacia las magnitudes pequeñas. El índice así calculado se denominará  $I_1^{(p)}$ .  
 $I_1^{(p)}$  simboliza que el indicador se calculó modificando la variable  $p$  y manteniendo constante las demás variables.

Por ejemplo si se quiere calcular la sensibilidad de la tercera variable en un índice compuesto alimentado por cinco indicadores simples y esta variable tiene sus valores deseados hacia valores altos, se calculan los indicadores estandarizados para las otras cuatro variables, usando las observaciones del año 2012 y la tercera variable es evaluada usando el valor del año 2012 más una desviación estándar, a esta variable se le denominará  $I_1^{(3)}$

3. Para el valor del año 2012 se realiza la diferencia entre  $I_1^{(p)}$  e  $I_0$ . Esta diferencia entre estas dos cantidades permite ver cuánto mejoraría el índice compuesto por cada desviación estándar en que mejore el indicador simple de interés, manteniendo constantes las otras variables. Esta diferencia se denominará la *sensibilidad de la variable  $p$ -ésima* en el índice compuesto, se denotará  $\Delta^{(p)}$ . Para cada variable  $p$  que compone el índice compuesto se calculará su sensibilidad.
4. Finalmente conociendo la sensibilidad de cada variable en cada índice compuesto se puede establecer cuáles son los indicadores simples que siendo mejorados pueden incrementar en mayor medida el desempeño del índice compuesto y en qué magnitud.

A continuación se lleva a cabo el análisis de sensibilidad, utilizando la metodología anteriormente descrita, para cada uno de los subíndices e índices construidos.

### 7.1 Índice de Calidad Ambiental de Bogotá ICAB

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=828&v=>

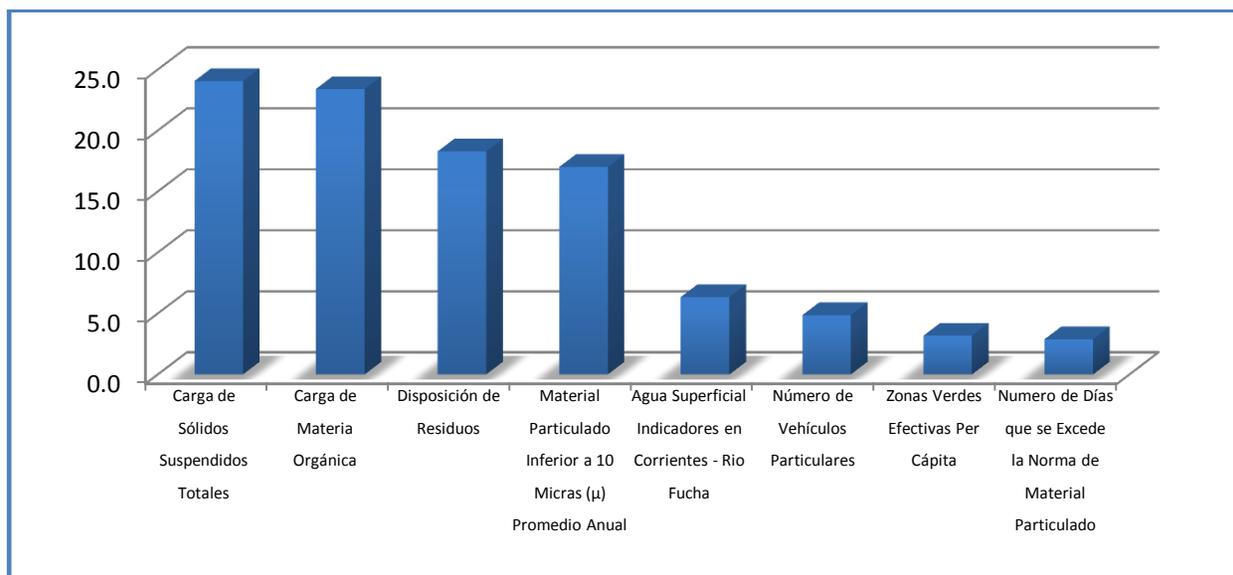
En el análisis se observa cómo se incrementa el índice de calidad ambiental por cada desviación estándar en que mejora el desempeño de cada variable que compone dicho índice, manteniendo fijas las variables restantes. Las variables de presión del agua (carga de sólidos suspendidos totales y carga de materia orgánica), la disposición de residuos, la calidad de las corrientes y en menor medida la cantidad de vehículos, las zonas verdes efectivas per cápita y el número de días que se excede la norma de material particulado, son las variables que tienen mayor efecto sobre el índice de calidad ambiental. Las mejoras

que se dan en las demás variables no contribuyen a un incremento en el índice, puesto que presentan valores muy altos. En la *Tabla 14* se observan las variables y su sensibilidad dentro del índice de calidad ambiental.

En la *Ilustración 14* se presenta en forma gráfica esta contribución de indicadores simples al índice de calidad ambiental

**Tabla 14 Sensibilidad de variables, dentro del índice de calidad ambiental**

Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
Carga de Sólidos Suspendidos Totales	16510.0	3.4	24.1
Carga de Materia Orgánica	24416.9	3.3	23.4
Disposición de Residuos	0.0	2.6	18.3
Material Particulado Inferior a 10 Micras ( $\mu$ ) Promedio Anual	7.5	2.4	17.0
Agua Superficial Indicadores en Corrientes del Distrito	4.9	0.9	6.3
Número de Vehículos Particulares	151546.3	0.7	4.9
Zonas Verdes Efectivas Per Cápita	0.3	0.5	3.2
Número de Días que se Excede la Norma de Material Particulado	26.3	0.4	2.9
Ozono Promedio 8 horas	1.6	0.0	0.0
Dióxido de Nitrógeno	2.6	0.0	0.0
Dióxido de Azufre Promedio Anual	3.2	0.0	0.0
Monóxido de Carbono por 1 hora	0.2	0.0	0.0
Árboles por habitante	0.0	0.0	0.0



**Ilustración 14 Contribución indicadores simples a índice de calidad ambiental**

Un análisis de sensibilidad se llevó a cabo, utilizando la metodología anteriormente descrita, para cada uno de los subíndices enmarcados dentro del índice de calidad ambiental de Bogotá: el subíndice de presión ambiental, y el subíndice del estado ambiental.

### 7.1.1 Subíndice de presión ambiental SPAm

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=844&v=1>

En el análisis de sensibilidad se observa como mejora el subíndice de presión ambiental por cada desviación estándar en que mejora el desempeño de las variables que componen dicho índice y manteniendo fijas las restantes. Para todas las variables que componen el subíndice, los mejores resultados se encuentran en valores bajos de éstas; se observa que el índice mejora en 11.2 puntos si se decrece la carga de sólidos suspendidos totales al río Bogotá en 16.510 toneladas (1 desviación estándar); se da una mejora similar en el índice si se disminuye la carga orgánica en una desviación estándar.

La disminución de residuos sólidos en una desviación estándar al relleno sanitario de Doña Juana también mejora significativamente el índice (10.9 sobre el valor del subíndice), en contraste una mejora en el número de días que se excede la norma de material particulado en una desviación estándar solo produce una mejora del índice en 1.3 puntos.

En conclusión las variables de carga contribuyen en cerca de un 70% a la mejora del índice, la disposición de residuos sólidos en cerca de un 27%, por otro lado una mejora en el número de días que se excede la norma de material particulado contribuye muy poco a cambios en el subíndice. Ver *Tabla 15*

**Tabla 15 Análisis de sensibilidad subíndice de presión ambiental**

Subíndice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
Presión ambiental	Carga de Sólidos Suspendidos Totales Transportados al Río Bogotá	16510	11.2	35.1
	Carga de Materia Orgánica (DBO Demanda Biológica de Oxígeno) Aportada al Río Bogotá	24417	10.9	34.1
	Disposición de Residuos en el Relleno Sanitario Doña Juana Per Cápita	0.007	8.5	26.6
	Número de Días que se Excede la Norma de Material particulado, Mensual	26	1.3	4.2

#### 7.1.1.1 Subíndice de presión del agua SPA

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=841&v=1>

Las variables que componen el subíndice de presión del agua son casi igualmente sensibles a sus mejoras, contribuyendo por cada desviación estándar en que mejoran las variables a un incremento cercano a 19 puntos en el subíndice. Ver *Tabla 16*

**Tabla 16 Análisis de sensibilidad subíndice de presión del agua**

Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
Carga de Sólidos Suspendidos Totales Transportados al Río Bogotá	16510.0	19.3	50.7

Carga de Materia Orgánica (DBO Demanda Biológica de Oxígeno) Aportada al Río Bogotá	24416.9	18.8	49.3
---	---------	------	------

### 7.1.2 Subíndice del estado ambiental SEAm

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=845&v=1>

Al desarrollar el análisis de sensibilidad se observa que el índice es sensible únicamente a cuatro de las variables que componen el subíndice, siendo la más importante la variable que cuantifica el material particulado inferior a 10 micras, contribuyendo en un poco más de la mitad a las mejorías que se pueden dar en el subíndice. El subíndice no es sensible a los cambios que se presentan en las demás variables del estado del aire, la razón por la cual ocurre esto es que los valores normativos definidos para estas variables están muy por encima de los valores que se han obtenido para estos indicadores simples en años recientes, por lo tanto prácticamente cualquier mejoría que se den en estos indicadores no modifican en absoluto el valor del subíndice.

Una mejora en la calidad del agua contribuye en un poco más de un punto de incremento en el valor del subíndice, por otra parte el número de vehículos particulares y las zonas verdes efectivas per cápita contribuyen por cada desviación estándar a una mejoría del índice cercana a un punto. Ver *Tabla 17*.

**Tabla 17 Análisis de sensibilidad subíndice de estado ambiental**

Subíndice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
Estado ambiental	Agua Superficial Indicadores en Corrientes -	4.85	1.298	20.2
	Material particulado Inferior a 10 Micras ( $\mu$ ) Promedio Anual	7.51	3.480	54.2
	Dióxido de Azufre Promedio Anual	3.21	0.000	0.0
	Dióxido de Nitrógeno	2.56	0.001	0.0
	Monóxido de Carbono por 1 hora	0.16	0.000	0.0
	Ozono Promedio 8 horas	1.63	0.001	0.0
	Árboles por habitante	0.02	0.000	0.0
	Zonas Verdes Efectivas Per Cápita	0.26	0.650	10.1
	Número de Vehículos Particulares	151546	0.994	15.5

En conclusión para lograr mejoras significativas (de más de una desviación estándar respecto a los valores que tomó el índice entre el 2008 y el 2012) del índice, se requieren de mejorías bastante significativas en las cuatro variables mencionadas anteriormente; y para las variables del estado del aire se recomienda reformular los valores normativos para hacerlos más consistentes con los valores que han tomado en los últimos años.

#### 7.1.2.1 Subíndice del estado del agua SEA

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=842&v=1>

Por cada unidad de mejoría en la calidad del río Tunjuelo se da una mejoría de 0.485 unidades del subíndice del estado agua, el incremento del subíndice inducido por una mejora en la calidad del agua de los demás ríos es considerablemente menor. El índice del

estado del agua es especialmente sensible a mejora de las calidades de los ríos Tunjuelo y tiene una sensibilidad similar para los demás tramos, siendo menos sensibles al Canal Torca. Ver *Tabla 18*

**Tabla 18 Análisis de sensibilidad subíndice del estado del agua**

Subíndice	Indicador simple	Sensibilidad	% de contribución
Estado del agua	Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Rio Fucha	0.206	20.6
	Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Rio Salitre	0.235	23.5
	Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Canal Torca	0.156	15.6
	Agua Superficial Indicadores en Corrientes - Rio Tunjuelo	0.485	48.5

#### 7.1.2.2 Subíndice del estado del aire SEAIR

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=843&v=>

Como se mencionó anteriormente, el subíndice del estado del aire es únicamente sensible al material particulado inferior a 10 micras promedio anual, esto se debe a que las metas establecidas para los demás indicadores simples que cuantifican el estado del aire tienen metas establecidas muy por encima de los valores observados en los últimos años en términos de cumplimiento alcanzan puntuaciones cercanas a 100 por lo cual una mejora en cualquiera de estos indicadores no se refleja en el valor del índice. Ver *Tabla 19*

**Tabla 19 Análisis de sensibilidad subíndice del estado del aire**

Subíndice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
Estado del aire	Material particulado Inferior a 10 Micras ( $\mu$ ) Promedio Anual	7.51	7.84	99.95
	Dióxido de Azufre Promedio Anual	3.21	0.00	0.00
	Dióxido de Nitrógeno	2.56	0.00	0.02
	Monóxido de Carbono por 1 hora	0.16	0.00	0.00
	Ozono Promedio 8 horas	1.63	0.00	0.03

## 7.2 Índice impacto ambiental sobre la salud pública

Se observa que el índice de impacto ambiental es especialmente sensible a disminuciones en la tasa de mortalidad infantil, en la tasa de mortalidad por enfermedad diarreica aguda y al número de casos atendidas por enfermedad respiratoria agua.

Una mejora en una desviación estándar genera un incremento muy significativo de cerca de 16 puntos en el índice de impacto sobre la salud pública. Ver *Tabla 20*

**Tabla 20 Análisis de sensibilidad índice de impacto ambiental sobre la salud pública**

Subíndice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
Estado ambiental	Tasa de Mortalidad por Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) en Niños Menores de 5 Años	0.3	2.5	11.2
	Tasa de Mortalidad por Neumonía en Menores de 5 años	4.9	0.1	0.6

Subíndice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
	Prevalencia de Sibilancias (silbidos en el pecho en niños lactantes) en Menores de 5 años Debido al Material Particulado	23.4	0.2	1.1
	Casos Atendidos en Salas de Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA)	6089.4	2.9	13.3
	Tasa Mortalidad Infantil	0.9	16.2	73.8

### 7.3 Índice de gestión ambiental SGA

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=846&v=1>

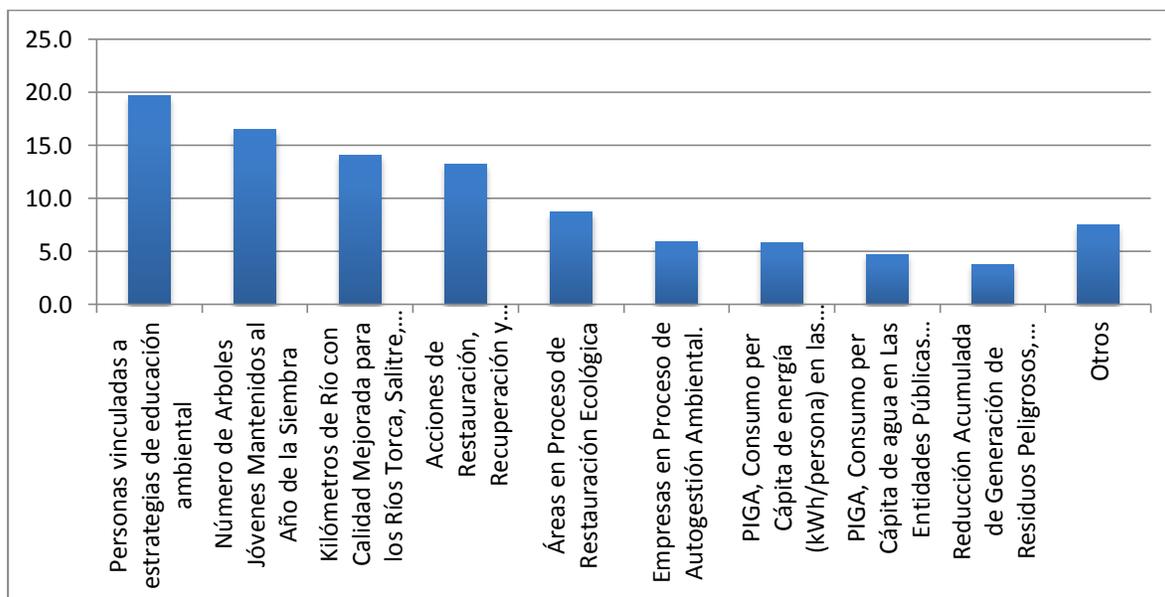
Al llevar a cabo el análisis de sensibilidad se observa que las variables que determinan más el comportamiento del índice de gestión ambiental son el número de personas vinculadas a estrategias de educación ambiental, el número de árboles jóvenes mantenidos, los kilómetros de río con calidad mejorada y las acciones de restauración y, en menor medida, las áreas en proceso de restauración, las empresas en proceso de autogestión ambiental; y las medidas de ahorro en servicios públicos y reducción de residuos. Se presenta el análisis de sensibilidad para los indicadores simples mencionados anteriormente y los demás que componen el índice. Ver *Tabla 21*

**Tabla 21 Sensibilidad de indicadores simples para el índice de gestión ambiental**

Índice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
<b>Gestión ambiental</b>	Personas vinculadas a estrategias de educación ambiental	3.9	1.3	19.7
	Número de Árboles Jóvenes Mantenidos al Año de la Siembra	3.2	27.2	16.5
	Kilómetros de Río con Calidad Mejorada para los Ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo	2.8	1.8	14.1
	Acciones de Restauración, Recuperación y Rehabilitación Ecológica en Áreas de la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital.	2.6	38.4	13.3
	Áreas en Proceso de Restauración Ecológica	1.7	38.4	8.8
	Empresas en Proceso de Autogestión Ambiental.	1.2	324.4	5.9
	PIGA, Consumo per Cápita de energía (kWh/persona) en las entidades públicas distritales.	1.1	4.8	5.8
	PIGA, Consumo per Cápita de agua en Las Entidades Públicas Distritales	0.9	0.5	4.7

Índice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
	Reducción Acumulada de Generación de Residuos Peligrosos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	0.7	5810.7	3.8
	Ahorro Acumulado en el Consumo de Energía Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	0.5	1008916.0	2.3
	Certificados de Conservación Ambiental Expedidos	0.3	140.9	1.6
	Ahorro Acumulado en el Consumo de Agua Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD	0.4	456562.1	1.9
	Radicación de Trámites Ambientales	0.2	269.7	0.8
	Aceites Usados Movilizados	0.1	540623.0	0.5
	Saneamiento básico de acueducto y alcantarillado	0.1	0.3	0.3
	Reducción Acumulada Anual de Vertimientos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital - PREAD-	0,0	656766,7	0,1
	Árboles plantados AP	3,2	27,2	16,5

En la Ilustración 15 se presenta en forma gráfica este resultado



**Ilustración 15 Contribución indicadores simples al índice de gestión ambiental**

Un análisis de sensibilidad se llevó a cabo para cada uno de los subíndices enmarcados dentro del índice de gestión ambiental: el subíndice gestión ambiental empresarial, subíndice de saneamiento, acueducto y alcantarillado, el subíndice de gestión de áreas protegidas y el subíndice de gestión de arbolado urbano.

### 7.3.1 Subíndice de gestión ambiental empresarial SEGAE

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=847&v=1>

El subíndice de gestión ambiental empresarial es especialmente sensible a mejoras en el número de empresas en proceso de autogestión ambiental, a la reducción en la generación de residuos peligrosos y, en menor medida, al ahorro acumulado en consumo de energía y agua por parte de las entidades distritales. El índice presenta una baja sensibilidad a mejoras en la radicación de trámites ambientales. Ver *Tabla 22*

**Tabla 22 Análisis de sensibilidad subíndice de gestión ambiental empresarial**

Subíndice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
Gestión ambiental empresarial	Reducción Acumulada Anual de Vertimientos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital -PREAD-	656766.7	0.7	7.6
	Reducción Acumulada de Generación de Residuos Peligrosos, Programa de Excelencia Ambiental Distrital – PREAD	5810.7	2.4	23.9
	Empresas en Proceso de Autogestión Ambiental.	324.4	3.7	37.3
	Ahorro Acumulado en el Consumo de Energía Programa de Excelencia Ambiental Distrital – PREAD	1008916.0	1.4	14.5
	Ahorro Acumulado en el Consumo de Agua Programa de Excelencia Ambiental Distrital – PREAD	456562.1	1.2	11.8
	Radicación de Trámites Ambientales	269.7	0.5	5.0

### 7.3.2 Subíndice de saneamiento, acueducto y alcantarillado SSB

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=848&v=1>

El subíndice de saneamiento, acueducto y alcantarillado es igualmente sensible a mejoras en las variables, por cada unidad en que mejora su desempeño, mejora en 0.33 el valor del índice. Dado que este índice está por encima del 95%, las mejoras que se pueden dar en las variables inciden muy poco en la mejora del subíndice. Ver *Tabla 23*

**Tabla 23 Análisis de sensibilidad subíndice de saneamiento, acueducto y alcantarillado**

Subíndice	Indicador simple	Sensibilidad por unidad	% de contribución
Gestión ambiental empresarial	Cobertura del Sistema de Alcantarillado Pluvial	0.33	33%
	Cobertura del Servicio de Alcantarillado	0.33	33%
	Cobertura del Servicio de Acueducto Residencial	0.33	33%

### 7.3.3 Subíndice de gestión de áreas protegidas SEAP

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=849&v=1>

El subíndice de gestión de áreas protegidas es especialmente sensible a mejoras en las acciones de restauración y áreas de restauración. Por cada desviación estándar en que mejoren estas dos variables el subíndice presenta incrementos muy significativos en su desempeño. Por otro lado una mejora en número de certificados en una desviación estándar (56 certificados) tienen una menor incidencia en la mejora del subíndice que los otros indicadores (3.3 puntos en el subíndice). Ver *Tabla 24*.

**Tabla 24 Análisis de sensibilidad subíndice de áreas protegidas**

Subíndice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
Gestión de áreas protegidas	Acciones de Restauración, Recuperación y Rehabilitación Ecológica en Áreas de la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital.	21.1	38.36	56.2
	Certificados de Conservación Ambiental Expedidos	2.5	140.9	6.8
	Áreas en Proceso de Restauración Ecológica	13.9	38.4	37.0

### 7.3.4 Subíndice de gestión arbolado urbano SGAU

<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=850&v=1>

Este subíndice es muy sensible al incremento en el número de árboles jóvenes mantenidos. Por otro lado el índice no es sensible al número de árboles plantados debido al alto valor de la meta establecida la cual no permite detectar mejorías en este indicador. Ver *Tabla 25*.

**Tabla 25 Análisis de sensibilidad subíndice de gestión de arbolado urbano**

Subíndice	Indicador simple	Desviación estándar	Sensibilidad	% de contribución
Gestión arbolado urbano	Número de Árboles Jóvenes Mantenidos al Año de la Siembra	27.2	21.4	99.6
	Árboles plantados AP	6255.2	0.1	0.4

## 8 CÁLCULO DE DATOS FALTANTES EN LAS SERIES DE TIEMPO

Para algunos indicadores simples, fue necesario calcular datos faltantes para el 2012. Estos fueron los siguientes casos:

1. Tasa de Mortalidad por Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) en Niños Menores de 5 Años (año faltante 2012)
2. Kilómetros de Río con Calidad Mejorada para los Ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo (año faltante 2008)
3. Certificados de Conservación Ambiental Expedidos (año faltante 2012)

Para completar la serie del primer y tercer indicador se utilizó un modelo estadístico con la información histórica disponible desde el 2004 y el año 1999, respectivamente. El método empleado para ellos fue regresión local polinomial.

Para el segundo indicador se usó regresión lineal, ya que los modelos de regresión local aquí no proveen un ajuste adecuado, debido a la poca cantidad de datos.

## 9 DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE CÁLCULO DE LOS ÍNDICES SINTÉTICOS

Fueron desarrollados varios programas en R con todos los cálculos necesarios para construir los índices y subíndices sintéticos. Este programa generó un archivo donde se encuentran año a año los indicadores estandarizados y las agregaciones de éstos en los índices y subíndices definidos. Adicionalmente los programas generan las tablas y gráficas de cada uno de los índices y de las variables estandarizadas.

Por otro lado, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para las variables que componen cada uno de los índices. Estos programas pueden ser consultados y usados, si fuera necesario, para el desarrollo posterior de nuevos índices compuestos.

El software utilizado (GNU R) posee licencia libre (GNU), la cual no tiene restricciones de uso.

En el **ANEXO 7** (digital), se presenta un script llamado *desarrollo\_indices.R*, el cual invoca otros dos scripts (*lectura\_de\_datos.R* y *funciones\_estandarizacion.R*) para llevar a cabo el cálculo de índices y subíndices compuestos y generar todas las salidas gráficas y tabulares respectivas. Adicionalmente, se presenta el script con el cual se desarrolló el análisis de sensibilidad (*análisis\_de\_sensibilidad.R*)

Estos resultados obtenidos y los diferentes cálculos, fueron llevados a Excel. Allí se da opción a los usuarios de actualizar los indicadores, cada año, y el cálculo de los índices compuestos respectivos se realiza en forma automática (ver **ANEXO 3**).

Con el presente documento se pone a disposición de los usuarios un manual de guía para correr los programas y el llenado de la hoja de cálculo del Anexo 3. Se puede acceder a él a través del archivo: [Manual usuario entregables SDA.pptx](#)

## 10 HOJA METODOLÓGICA DE LOS ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS

En el **ANEXO 2** se presentan un archivo Excel con las hojas metodológicas de índices y subíndices sintéticos construidos. Allí se desarrollan los metadatos de cada subíndice e índice sintético.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

Annalee Yassi, Tord Kjellström, Theo de Kok, Tee L. Guidotti. 2002. Salud ambiental básica. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina regional para América Latina y el Caribe, Organización Mundial de la Salud, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, Ministerio de salud pública de Cuba. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental.

Castro J. M. 2002. Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía. Tesis doctoral. Universidad de Málaga. España.

Guhl-Nannetti Ernesto. 2002. La sostenibilidad y los páramos. Ponencia Congreso de páramos. Bogotá : Gente Nueva

Villasís k. R. 2011. Indicadores de sustentabilidad urbana: el caso de la zona metropolitana de San Luis Potosí. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias ambientales. Posgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis potosí.

## **ANEXO 1** MATRIZ DE CALIFICACIÓN DE PESOS PONDERADOS DE INDICADORES SIMPLES PARA LOS SUBÍNDICES E ÍNDICES DE LA BATERÍA DE SINTÉTICOS

Contiene la calificación de los cuatro criterios de ponderación considerados para el cálculo de pesos o importancia relativa de cada indicador simple en el subíndice o índice que lo agrega. Allí se presentan también los cálculos estadísticos que se aplican a los criterios para establecer cada peso ponderado.

En las últimas columnas se muestra consolidada la contribución (%) de cada indicador simple al subíndice de primera jerarquía y el peso de cada subíndice sintético de primera jerarquía; la contribución (%) de cada indicador simple al subíndice de segunda jerarquía y el peso de cada subíndice sintético de segunda jerarquía.

Archivo digital: ***ANEXO 1\_ponderacion.xlsx***

## **ANEXO 2** HOJAS METODOLÓGICAS DE ÍNDICES Y SUBÍNDICES SINTÉTICOS

Archivo digital: ***ANEXO 2\_hojas\_metodologicas.xlsx***

## **ANEXO 3** HOJA PARA CÁLCULOS FUTUROS DE LOS ÍNDICES SINTÉTICOS

En esta hoja se pueden calcular los índices compuestos a futuro. Ella tiene diseñadas las fórmulas de estandarización de cada indicador, con base en el método que aplica para él; considera el peso ponderado de cada indicador y lleva a cabo la agregación según la clasificación jerárquica establecida para los diferentes subíndices e índices compuestos.

Está dividida en tres partes: en la primera aparecen las series de tiempo de cada indicador simple, en la segunda las de los subíndices e índices y en la tercera la tabla de referencia por colores que agrupa los indicadores simples, según subíndices de primera y segunda jerarquía e índices sintéticos, para facilitar el proceso de alimentación de los datos.

Es necesario introducir valores a todos los indicadores simples que conforman los subíndices de diversas jerarquías o los índices, de otra forma, el cálculo no podrá ser efectuado.

Para facilitar este proceso se deja como referencia, en la misma hoja de cálculo, la tabla de jerarquías de subíndices e índices compuestos (ubicada en la parte de abajo). Si se quiere realizar algún cálculo, para cierto año, se recomienda iniciar a alimentar para esa fecha, los datos de cada indicador simple (los que aparecen en la parte derecha de la tabla de referencia), acorde con el color. Cada subíndice tiene sus correspondientes indicadores del mismo color. Si se requiere calcular el índice de mayor jerarquía, el proceso de alimentación de datos debe continuar hacia la izquierda de la tabla de referencia (de subíndice de primera jerarquía a subíndice de segunda jerarquía, según los colores de la tabla).

Archivo digital: ***ANEXO 3\_hoja calculo\_indices.xlsx***

#### **ANEXO 4** HOJA DE CÁLCULO DETALLADA CON ESTANDARIZACIONES Y AGREGACIONES PONDERADAS DE SUBÍNDICES E ÍNDICES SINTÉTICOS

En esta hoja se presentan los cálculos detallados de la estandarización de cada indicador simple, el cálculo de los pesos y su porcentaje de participación según subíndice y/o índice y la agregación para obtener cada subíndice e índice compuesto. En cada celda de la hoja de cálculo se encuentra la fórmula con la que se obtiene el valor correspondiente a alguno de los aspectos mencionados.

Los colores que se usan para presentar las jerarquías de subíndices e índices son los mismos que los del anexo anterior.

Archivo digital: ***ANEXO 4\_calculos\_indices\_formulas.xlsx***

#### **ANEXO 5** TABLAS Y GRÁFICOS DE LOS INDICADORES ESTANDARIZADOS VS. INDICADORES ORIGINALES Y DE SERIES TEMPORALES DE VARIABLES ESTANDARIZADAS

En este anexo se presentan las tablas y gráficos que fueron usados y generados dentro del análisis de sensibilidad, las estandarizaciones usando los diversos métodos y tablas con la obtención de los subíndices e índices compuestos. En la carpeta SALIDAFINAL, se presentan los resultados numéricos de las estandarizaciones de indicadores simples y del cálculo de subíndices e índices, en archivos de Excel.

Los gráficos para los diversos métodos de estandarización son de dos tipos: los que muestran la variable a estandarizar vs. la variable estandarizada; y los de la variable tiempo vs. Valores estandarizados.

Archivo digital: Carpeta ***ANEXO 5 Estandarizacion tablas graficos***

#### **ANEXO 6** MATRIZ DE INDICADORES SIMPLES Y COMPUESTOS PROPUESTOS POR DEPENDENCIAS Y OTRAS ENTIDADES

Archivo digital: ***ANEXO 6\_nuevos\_indicadores\_propuestos.xlsx***

#### **ANEXO 7** PROGRAMAS DE DESARROLLO EN LENGUAJE ESTADÍSTICO R PARA EL CÁLCULO DE LOS ÍNDICES COMPUESTOS Y EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Archivo digital: Carpeta ***ANEXO 7 programas de desarrollo R***

## **ANEXO 2 HOJAS METODOLÓGICAS**