

Evaluación de la calidad ambiental por localidades en Bogotá:

Una aproximación a la construcción de índices de calidad ambiental

Recibido para evaluación: 15 de Septiembre de 2004

Aceptación: 16 de Noviembre de 2004

Recibido versión final: 09 de Diciembre de 2004

Luis Escobar.¹
Tatiana Bermúdez.²

RESUMEN

Este artículo es una aproximación conceptual y metodológica para la construcción de un *indicador sintético*, que permite aproximarse al diagnóstico de las condiciones ambientales de 19 unidades administrativas de la ciudad de Bogotá, denominadas localidades. Aquí se sintetiza la información contenida en ocho indicadores simples seleccionados y se construye un *Índice* aplicando análisis de componentes principales (ACP), del cual se deriva la ordenación de las localidades de acuerdo al valor que toma el *Índice de Calidad Ambiental*. Una vez aplicado el método de cálculo, los resultados indican que las condiciones de calidad ambiental en la ciudad de Bogotá no son homogéneas, existiendo una clara diferenciación ambiental entre las localidades del norte y del sur. También se presenta una priorización y análisis de las principales variables que inciden en el índice de calidad ambiental por localidad, en la cual se presentan los principales determinantes del índice por cada localidad, de tal forma que el tomador de decisiones tiene información importante, para definir la línea base como punto de partida de la gestión ambiental urbana.

PALABRAS CLAVE: Índices de Calidad Ambiental, Gestión Ambiental Urbana, Indicadores Ambientales, Desarrollo Sostenible.

ABSTRACT

This paper is a conceptual and methodological estimate for the construction of a synthetic indicator, that allows one to come a step closer to the diagnosis of the environmental conditions of the nineteen administrative units of Bogotá known as *localidades*. Here the contained information is synthesized in eight simple selected indicators, the index is constructed by applying *analysis of principal components*, of which the alignment of the *localidades* is derived in accordance with the value that it takes in the environmental quality index. Once the method of calculation is applied, the results indicate that the conditions of environmental quality if Bogotá are not homogeneous, clearly existing environmental differences between *localidades* in the north and south. Also prioritization and analysis index of environmental qualities per *localidades* introduced, of which the principal determinants of the index of each *localidad* are introduced, thus providing the decision makers with important input, in order to define the base line as a stating point of the urban environmental management.

KEY WORDS: Indexes of Environmental Quality, Urban Environmental Management, Environmental Indicators, Sustainable Development.

1. Ph.D. Profesor Asistente en la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle Colombia. lescobar@univalle.edu.co

2. Economista de la Universidad del Valle. Investigadora en la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. tatyber79@hotmail.com.co



1. INTRODUCCIÓN

Actualmente vivimos en un proceso de constante urbanización, donde las ciudades se convierten en protagonistas del desarrollo político, social y económico de los países, pues absorben no solo un alto porcentaje de la población, sino también sus culturas y costumbres, constituyendo un entramado complejo de las condiciones sociales, económicas y ambientales (Escobar, 1999).

Son muchos los problemas ambientales que obedecen a la complejidad urbana de pueblos y ciudades, ya que el espacio y la competencia por los recursos son finitos, pero deben distribuirse cada vez entre más demandantes (EEA/AMAE, 2002). Bogotá es la ciudad capital de Colombia y representa su principal centro económico y demográfico. Por las características de su desarrollo histórico y la constitución actual como una de las grandes *mega ciudades* del mundo, no se escapa de esta problemática ambiental compleja cada vez más generalizada.

El dramático cambio que en la última década ha experimentado la ciudad en sus esquemas de desarrollo urbano, industrial y comercial ha hecho que los gestores de política pública y la ciudadanía en general reflexionen en relación con sus actitudes, conductas y decisiones respecto al medio ambiente y se propongan medidas estructurales que tienen como fin revertir las tendencias de deterioro ambiental de la ciudad.

La generación de información es una herramienta fundamental para revertir el deterioro ambiental de las ciudades, dado que la incorporación del ambiente en las preocupaciones urbanas y la planificación de las ciudades demandan, entre otras razones, la necesidad de objetivar el medio ambiente midiendo su estado u otra categoría de valoración (OCDE, 1993). En este sentido, en la medida en que un *problema latente* desde el punto de vista social se objetiva (se mide) el interés y preferencia por los mismos se acentúa. En este sentido, como lo afirma Brand (2001) lo ambiental deja de ser una preocupación distante y abstracta, para "entrometerse" en la vida cotidiana, condicionando la vida individual y social en una sociedad.

En la dinámica mundial, regional y local, este ha sido el papel que vienen cumpliendo los indicadores ambientales: objetivar la conciencia social acerca de los fenómenos ambientales que afectan su calidad de vida (UNCED, 1992).

En esta dinámica, la generación de indicadores e índices para la gestión social de los problemas ambientales se ha incrementado sustancialmente en los últimos años no solo por el interés social a raíz de la Agenda 21 de 1992 (artículo 40), sino también por los desarrollos tecnológicos en la medición, captura y procesamiento de datos e indicadores (Bosque, 2000).¹

La preocupación por los problemas ambientales urbanos no es circunstancial, dado que están altamente relacionados estos aspectos con la calidad de vida y el bienestar de la población (OMS, 1993). Por ello la observación y el estudio objetivo de estas problemáticas demandan no solo su identificación, sino su cuantificación a través de la construcción de indicadores que permitan diagnosticar la heterogeneidad de la situación ambiental del entorno urbano.

Este artículo es una aproximación conceptual y metodológica para la construcción de indicadores simples y de fácil acceso que permitan diagnosticar las condiciones ambientales de Bogotá a nivel de las 19 localidades político administrativas. Aquí se sintetiza la información contenida en los indicadores seleccionados y se construye un indicador sintético a través del ACP, del cual se derivan la ordenación de las localidades de Bogotá de acuerdo al Índice de Calidad Ambiental.

2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

2.1 Indicadores ambientales: Conceptos básicos

Los conceptos de *dato*, *indicador*, *índice* e *información* son términos secuenciales en el diseño y construcción de un sistema de indicadores, sin embargo ellos pueden tener distintos significados,

1. El uso combinado de información censal y la capturada mediante sensores aerotransportados, permiten construir variables e indicadores en tiempo real, sobre múltiples fenómenos de interés social, tanto en zonas urbanas, como en ecosistemas y regiones rurales. Una fotografía aérea o una imagen de satélite, por ejemplo, genera en tiempo real información sobre innumerables indicadores como formas urbanas, áreas verdes, sistemas boscosos, etc, que combinados con datos censales permiten establecer indicadores de interés social como densidad de áreas verdes, índices de verdor, etc. Winograd et al, 1999.

dependiendo de quien los use y el contexto en el cual se emplean. Por ello es conveniente precisar su definición antes de abordar la construcción de un sistema de indicadores y la elaboración de índices sintéticos.²

Los datos son el componente más básico de la generación de información. Estos son registros de alguna variable de interés que no permiten interpretar patrones de cambio o tendencia de la situación que define (OCDE, 1997). Los datos son la base del sistema, por ello se debe examinar detalladamente su disponibilidad, calidad y fuentes de información.

Muchos autores afirman que en la definición de los indicadores ambientales existe confusión, aun entre los mismos expertos (Hyatt, 2001; Ebert *et al*, 2004). Por ello es conveniente distinguir entre indicadores simples e índices (indicadores sintéticos). Los indicadores simples están constituidos por la combinación de dos o más datos, y estos indicadores (y/o muchos datos) son convertidos en un índice mediante una función matemática que los sintetiza (EEA/AMAE, 2002).

Los índices pueden ser usados como un indicador para resumir información compleja sobre un fenómeno a estudiar y es posible tener índices de distintos componentes que explican la *calidad ambiental o el desarrollo sostenible urbano* cuya combinación puede dar como resultado el índice sintético.

Los índices ambientales, como cualquier proceso de síntesis de información, generalmente no dan explicación de todas las variables que pueden describir una *variable latente*, sin embargo son en todo momento una aproximación a él. Pena Traperó (1977) y Zarzosa (1996) concluyen que cualquier indicador social (entre ellos los ambientales) son aproximaciones que se pueden completar en la medida que se agreguen nuevos datos e indicadores que contribuyan a explicar de forma más amplia el asunto estudiado³.

De acuerdo a Segnestam (2002b) los índices son comúnmente usados como niveles analíticos agregados tales como nación, región, ecosistema y en ocasiones a nivel local. Aquí creemos que la construcción de índices ambientales se puede realizar al nivel para el cual se tenga información y su construcción sea relevante para simplificar información útil a la gestión de los tomadores de decisión. En este caso los indicadores simples e índices se construyen a nivel de localidades.

2.2 Índice de Calidad Ambiental (ICA)⁴

El concepto de calidad ambiental como el estado de un conjunto multidimensional de indicadores ambientales se interpretan siguiendo a Freeman (1993), quien afirma que dada una función de utilidad en donde las preferencias de los agentes son débilmente separables entre las viviendas y las características ambientales del entorno, es posible definir una función de elección de

localización l , $b_{ij} = b_{ij}(q_i, Q_{ij}^*, S_i, N_i, u^*)$, en la que los Q_{ij}^* son todo el conjunto de amenidades

ambientales asociadas a la vivienda l para cada localidad j , excepto q_i que es una característica ambiental específica asociada a la vivienda l . Esto indicaría que los agentes eligen su localización en un entorno urbano, teniendo en cuenta el valor que toman las variables que determinan su función de elección. En este artículo, presentamos un conjunto de ocho (8) indicadores ambientales

y su síntesis en un índice de tal forma que recoja Q_{ij}^* como una agregación de indicadores multidimensionales que determinan la calidad ambiental de las localidades, vistas estas como el entorno al que se refiere Freeman (1993). En general, se espera que el ICA construido sea un *input* para modelar y valorar económicamente este componente del bienestar social⁵

Precisado el concepto de calidad ambiental y dada la revisión general de los modelos de indicadores sintéticos más relevantes a nivel urbano (EEA/AMAE, 1995; Castro, 2002; MMA, 2000; Escobar, 2004; Velázquez, 2001), encontramos que se disponía de una batería amplia de indicadores ambientales, sociales, económicos e institucionales para explicar el desarrollo sostenible y en la

2. Un trabajo en el que se describe de forma ampliada estos conceptos, se puede encontrar en Segnestam Lisa (2002a): Indicators of Environment and Sustainable Development. Theories and Practical Experience. The World Bank Environment Department.

3. Los indicadores que se utilizan en este estudio son una combinación de variables que se miden de manera directa, y algunas que por razones de ausencia de la información directa para el nivel de agregación que se trabaja, se procede a construir variables proxy que expliquen las variables de interés.

4. Ver Escobar, 2004.

5. S_i y N_i representan las características socioeconómica y características estructurales de la vivienda respectivamente. u^* es un nivel de utilidad dado.

6. Para una justificación más precisa del concepto de calidad ambiental adoptado, véase Escobar (2004).

mayoría de los casos, especialmente el sistema de indicadores urbanos propuesto para las principales ciudades de Colombia y de Manizales a nivel comunas, carecían de información para la mayor parte del conjunto de indicadores identificados. Ello imposibilita la comparación de las distintas unidades experimentales (ciudades o comunas, y en el caso de Bogotá localidades) a través de indicadores que sintetizan la información contenida en el sistema de indicadores y que explican una variable latente como el desarrollo sostenible o en nuestro caso un componente de este: la calidad ambiental o sostenibilidad ambiental⁷.

Por lo anterior, este estudio aborda solo ocho variables para las cuales se disponía de información directa o aproximada de las variables que determinan el componente ambiental urbano (Ver Anexo A).

3. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ICA

La construcción de indicadores sintéticos parte de la idea de que las variables o indicadores simples que lo componen guardan una estrecha correlación, al explicar todos los mismos fenómenos que intentan medir: una *variable latente* como el desarrollo económico, el bienestar, calidad de vida, o en nuestro caso la calidad ambiental.

Cualquier metodología que se emplee es un procedimiento matemático que sintetiza información de un nivel primario (indicadores simples) a un nivel superior de agregación o sintético denominado Índice.

Las metodologías que emplean técnicas de análisis multivariado como el ACP y la DP₂ (Escobar, 2004; Castro, 2002), abordan complejos procesos de síntesis de información que demandan variables con categorías objetivamente medidas, toda vez que su construcción matemática implica propiedades que deben garantizar que el resultado del Índice sea invariante y único para garantizar la comparabilidad de las unidades experimentales (Zarzosa, 1996).

Aquí utilizamos el ACP, que es un procedimiento matemático que transforma un conjunto de *variables respuestas* correlacionadas en un conjunto menor de variables ortogonales (no relacionadas) llamadas *componentes principales*, y que tienen como fundamento explicar la mayor parte de la varianza contenida en los datos originales⁸.

Son dos los objetivos más relevantes asociados al análisis de componentes principales:

1. Reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, descubriendo la verdadera dimensión contenida en ellos. Cuando la dimensionalidad real de los datos es inferior al número original de los datos, entonces el análisis sugiere reemplazar estos últimos por los componentes principales estimados, ayudando a mejorar la interpretabilidad de los datos.
2. Identificar nuevas variables significativas contenidas en la estructura de los datos.

La creación de nuevas variables de componentes principales es una combinación lineal de las variables originales que deben seguir un orden de importancia, teniendo en cuenta que estas no estén correlacionadas. La primera variable componente explica la mayor varianza posible en los datos y cada componente adicional adquiere la mayor variabilidad posible restante.

La mayoría de manuales y estudios aplicados de análisis multivariados presentan dos procedimientos generales para definir los componentes principales. Mediante el análisis de la matriz de varianza – covarianza ($\hat{\sigma}$) y a través de la matriz de correlación (puede consultarse algunos manuales en Anderson, 1984; Hair, *et al*, 1999; Jolliffe, 1986; Johnson, 2000). Aquí nos basamos en esta última, dado que se recomienda su uso cuando las variables a utilizar, como es nuestro caso, no presentan fundamentos de escala similares, se hace necesaria la aplicación del ACP a la matriz de correlación de las *P variables respuestas* estandarizadas y no a los datos originales, por lo tanto exige al investigador una transformación previa de los datos de tal forma que garanticen una escala y unidad de medida común.

7. En Escobar (2004) se puede encontrar una buena revisión bibliográfica de los sistemas de indicadores ambientales aplicados en el ámbito urbano, y la propuesta que este autor realiza para definir un modelo para el diseño de índices de calidad ambiental al nivel más desagregado a nivel urbano: la comuna.

8. Muchos autores advierten que si las variables ya están casi no correlacionadas, el analista no gana nada con aplicar ACP porque la dimensionalidad real del conjunto de datos es igual al número de variables respuestas. Ello demanda la necesidad de aplicar una prueba estadística previa que defina si los datos siguen una distribución normal multivariada. Puede consultarse a Johnson (2000).

Una vez definido los componentes principales, ¿cómo incorporarlos al análisis del indicador sintético que es el objeto de este estudio? Si solo es seleccionado un componente principal, este actuaría como un indicador sintético del conjunto de variables respuesta. Cuando los componentes son más de uno, ello demanda un tratamiento para utilizarlos en el análisis de los resultados.

En este artículo presentamos el cálculo del índice empleando un promedio ponderado de las puntuaciones de cada localidad, ponderados por la raíz cuadrada de la varianza de cada componente (Peters *et al*, 1970). En este sentido, el índice para cada unidad experimental se calcula como:

$$ICA_{Localidad (j)} = \frac{\sum_{i=1}^r Z_{ij} \cdot \sqrt{\lambda_r}}{\sum_{i=1}^r \sqrt{\lambda_r}} ; j = 1, 2, \dots, 21 \quad \text{y } i = 1, 2, 3 \dots r \text{ componentes.} \quad (1)$$

Siendo Z_{ij} la puntuación del componente r -ésimo para la unidad experimental j -ésima, y $\sqrt{\lambda_r}$ la raíz cuadrada del autovalor para dicho componente, garantizando así que los componentes con una mayor varianza explicada tengan una mayor ponderación en la calificación del índice.

A continuación se resumen los pasos a seguir para la aplicación del análisis de componentes principales al estudio de indicadores sintéticos:

- Se parte de un conjunto de variables que conceptualmente responden a un modelo de explicación de la variable latente. En este caso el índice de calidad ambiental por distritos político-administrativo en una ciudad (localidad, comuna o barrio).
- Se analizan los datos para determinar si se emplea el análisis de varianzas-convarianzas o el de correlaciones. Ello depende del grado de homogeneidad de la escala en que se encuentran los datos de las variables respuesta.
- Probar la independencia de las variables respuestas. Es decir, se debe probar si estas variables son independientes o no correlacionadas. En cuyo caso el ACP no operaría.
- Determinar si existen datos ausentes, *outliers*, etc, y definir un procedimiento a emplear para su tratamiento en el conjunto del análisis de componentes principales.
- Modelar la base datos en SPSS 10, obteniendo los componentes principales y el conjunto de estimaciones que permitirán probar la consistencia de los resultados. Este paquete estadístico estima automáticamente los valores de los componentes seleccionados. En este caso aquellos que tengan autovalores mayor o igual a 1.
- Estimar el orden de las unidades experimentales, de acuerdo al procedimiento de agregación de componentes descrito en la Ecuación 2.
- Análisis espacial de los resultados, de tal forma que se puedan identificar patrones espaciales alrededor del índice de calidad ambiental por distritos.

Conceptualmente la agregación de las variables que componen el ICA siguen el razonamiento matemático que se expresan en la ecuación 2.

$$ICA_j = \sum_{i=1}^n W_i IS_j \quad (2)$$

Donde W_i es el peso ponderado de cada indicador simple en el ICA. En este caso se consideran que todas las variables tienen igual peso.¹⁰ IS_j es cada uno de los indicadores simples (IS) que componen el ICA en una localidad j .



9. Las variables respuestas son independientes (no correlacionadas) si la matriz de correlaciones $P = I$ (Identidad) o, la matriz de varianzas-covarianzas es una matriz diagonal. El estadístico de prueba de $H_0: P=I$ se compara con respecto a los

valores de $|R|$ para el caso de la matriz de correlación. Para valores grandes de N , se rechaza H_0 si $-\alpha \log |R| > \chi^2_{\alpha, p(p-1)/2}$, en

donde $\alpha = N - 1 - (2p+5)/6$. El

valor de $|R|$ es el determinante de la matriz de correlación, que debe ser cercano a cero.

10. Otras metodologías como el análisis de componentes principales o la DP2 presentan esquemas de ponderación de acuerdo al aporte de la varianza de cada variable en el índice final. Ver Escobar (2004).

Una vez revisada la disponibilidad de información para Bogotá, seleccionamos ocho variables que tenían suficiente información para el nivel de agregación que trabajamos en este estudio.¹¹ Las variables y el sentido que toman al agregarse en el ICA se describen en la ecuación 3.

$$\frac{\partial ICA_j}{\partial DAV_j} > 0; \frac{\partial ICA_j}{\partial AVH_j} > 0; \frac{\partial ICA_j}{\partial DHA_j} < 0; \frac{\partial ICA_j}{\partial DVI_j} < 0; \frac{\partial ICA_j}{\partial EPR_j} > 0; \frac{\partial ICA_j}{\partial NAP_j} > 0; \frac{\partial ICA_j}{\partial VAP_j} < 0; \frac{\partial ICA_j}{\partial IIC_j} < 0 \quad (3)^{12}$$

Finalmente, los resultados de las relaciones matemáticas de cada índice se establecen en cuatro rangos de acuerdo a su valor máximo y mínimo. Estos rangos permiten establecer la calificación de los índices así:

- Deficiente: Muestra un ICA malo y preocupante.
- Regular: ICA discreto pero que es de precaución.
- Bueno: ICA mucho mejor que los anteriores pero que no es el óptimo.
- Muy Bueno: ICA excelente, de calidad, al cual deberían llegar todas las localidades.

3.1 Área de Estudio

De acuerdo con la Constitución Política de Colombia, la ciudad de Bogotá como Distrito Capital, cumple funciones políticas y administrativas propias de los departamentos y municipios dentro de unas normas especiales de organización dentro de las que se encuentran la descentralización territorial en localidades.

La ciudad de Bogotá está conformada por 20 localidades (Figura 1), las cuales nacieron como resultado de una búsqueda por facilitar el ejercicio de la autoridad y aproximar las comunidades al estado. La localidad es un territorio dotado de un régimen administrativo propio y con una unidad político administrativa que busca fomentar un sentido de pertenencia de los habitantes respecto a ella. Las localidades han configurado un modelo de administración pública descentralizada que se basa en el principio de no homogeneidad del territorio en los aspectos sociales, económicos y ambientales. Es necesario indicar que el modelo de división de la ciudad ha permitido configurar esquemas de participación ciudadana para la construcción de iniciativas de planificación y gestión del territorio que pretenden aumentar la gobernabilidad y apoyo a la política pública.

En este estudio se omitió la localidad 20 (Sumapaz), pues esta es básicamente rural y no se cuenta con la suficiente información para calcular el ICA (Ver Tabla 1).

11. Para más detalle sobre las variables y el conjunto de indicadores simples descritos, véase Bermúdez (2003).

12. Para estimar IIC, se realizó un análisis de identificación y calificación de impactos ambientales, de acuerdo a los aportes contaminantes de cada tipo de industria en diferentes aspectos ambientales que afectan a cada localidad (Ver Anexo B). La suma de los aportes de cada industria se multiplicó por el número de industrias y este número es el que refleja el impacto de la industria y el comercio en cada localidad.

13. DAVj= Densidad de Área verde por localidad; AVHj= Área verde por habitante; DHAj= Densidad de habitantes; DVIj= Densidad de viviendas; EPRj= Espacio público recuperado; NAPj= Número de árboles plantados; VAPj= Número de vallas y avisos publicitarios; IICj= Influencia de la industria y comercio. Las principales características y las fuentes de información de las variables que conforman el ICA se pueden ver con más detalle en el Anexo A.

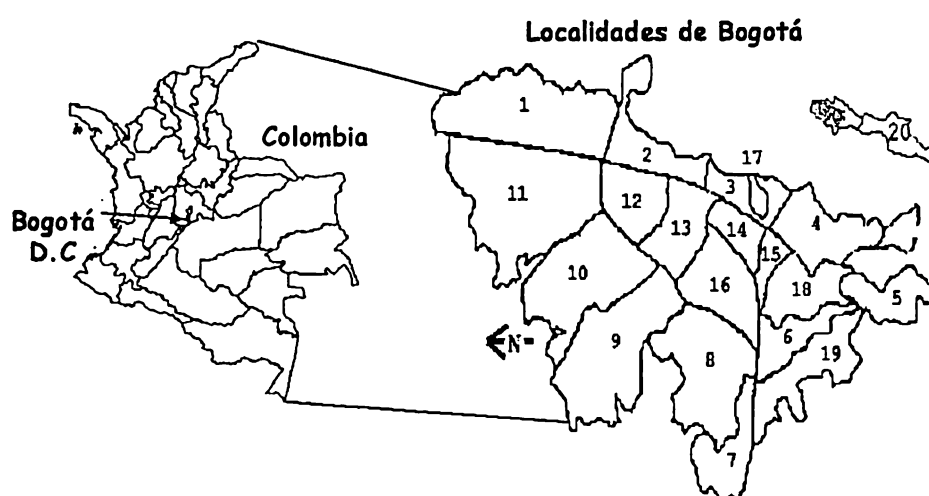


Figura 1.
Área de estudio

1. Usaquén	7. Bosa	13. Teusaquillo
2. Chapinero	8. Kennedy	14. Los Mártires
3. Santa Fé	9. Fontibón	15. Antonio Nariño
4. San Cristóbal	10. Engativá	16. Puente Aranda
5. Usme	11. Suba	17. La Candelaria
6. Tunjuelito	12. Barrios Unidos	18. Rafael Uribe Uribe
		19. Ciudad Bolívar

Tabla 1.
Localidades de Bogotá

4. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL POR LOCALIDADES

4.1. Estimación del ICA

De acuerdo a los resultados de la Matriz de Componentes Rotados, es posible identificar tres componentes principales con autovalores superiores a uno (1) y cuya sumatoria de la varianza explica el 71,88% de la información contenida en los datos que determinan finalmente el ICA; las comunales encontradas muestran un alto grado de correlación entre los indicadores simples y los componentes extraídos. El primer componente, por sus cargas factoriales más significativas (Tabla 2), parece explicar los factores de stock de recursos asociados a árboles y presencia de área verde por localidad (*área verde por habitante, densidad de área verde por localidad y el número de árboles plantados*) y que inciden positivamente en el ICA. El segundo componente explica factores que afectan negativamente el ICA, y que están relacionados con la ocupación del espacio urbano y los impactos ambientales del mismo (*densidad de viviendas e impactos de industria y comercio*). El tercer componente, al parecer captura la varianza contenida en variables que inciden positiva y negativamente y la demanda y oferta de espacio público (*densidad de habitantes, densidad de vallas y avisos publicitarios y espacio público recuperado*).

INDICADORES DE PRIMER NIVEL	COMPONENTES			COMUNALIDADES
	1	2	3	
DHA		-0,530	0,722	0,815
DVI		0,688		0,547
DAV	0,942			0,933
AVH	0,845			0,853
IIC		0,659		0,445
VAP			-0,828	0,802
NAP	0,710			0,601
EPR		0,578	0,594	0,754
Autovalores	2.364	1.706	1.681	5.750
Varianza	29.546	21.319	21.013	Acum.: 71.88 %

Tabla 2.
Resultados del análisis de componentes principales rotada

Método de Extracción: Análisis de Componentes Principales

Método de Rotación: Varimax con Normalización Kaiser

Determinante = 0.001287

*Para permitir una lectura más clara de la matriz de correlación se eliminan las cargas factoriales estimadas con valores Absolutos inferiores a 0,40. Sin embargo la estimación de los factores por cada unidad experimental se realiza en SPSS utilizando todas las cargas factoriales (Visauta, 2003; Pardo y Ruiz, 2002).

En la Tabla 3 presentamos los factores calculados para cada una de las 19 localidades de Bogotá y se estima el ICA aplicando la ecuación 2. El resultado final es la ordenación de las localidades de acuerdo al indicador sintético de calidad ambiental, que se distribuye espacialmente como se observa en la Figura 2.



Tabla 3.
Índice de Calidad Ambiental
(ICA)

Localidad	Factor_1	Factor_2	Factor_3	ICA
3	2,88	0,73	0,71	1,61
17	-1,30	2,30	1,99	0,73
13	1,43	-0,96	0,97	0,59
2	-0,27	-0,05	2,22	0,52
12	1,36	-0,72	0,35	0,45
15	0,18	0,42	-0,25	0,13
4	0,25	0,96	-1,19	0,04
6	-0,10	0,53	-0,66	-0,08
19	-0,16	0,99	-1,20	-0,12
18	-0,03	0,78	-1,28	-0,16
14	-0,63	-0,04	0,32	-0,18
7	-0,33	0,55	-0,85	-0,22
1	-0,63	-0,32	0,38	-0,24
5	-0,65	0,07	-0,12	-0,28
10	0,46	-0,95	-0,77	-0,32
16	-0,12	-0,96	-0,15	-0,38
8	-0,24	-0,42	-0,92	-0,49
9	-0,83	-0,71	0,20	-0,49
11	-1,26	-2,20	0,24	-1,10

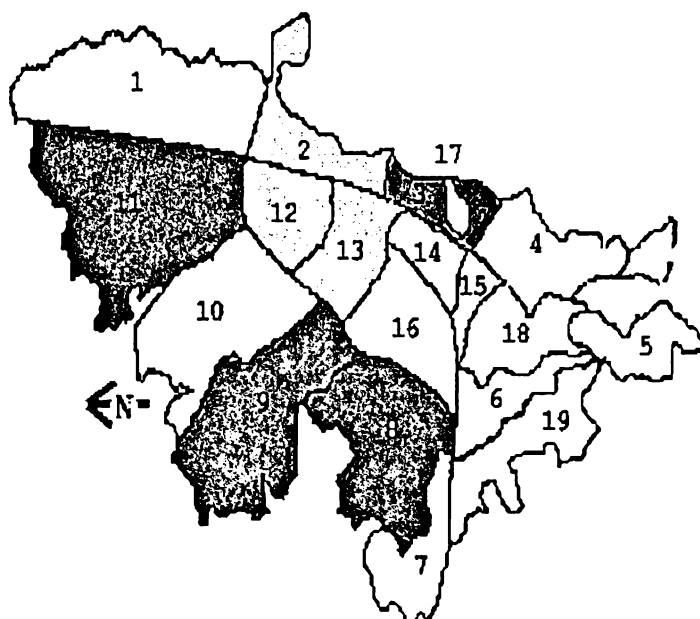


Figura 2.
Mapa de distribución espacial del
ICA

De acuerdo a la calificación del ICA en cada una de las localidades, la distribución espacial de sus valores nos permite agrupar cuatro grandes zonas que pueden ser consideradas como zonas relativamente homogéneas:

- Calidad Ambiental Muy Buena: Localidad 3.
- Calidad Ambiental Buena: Localidades 17, 13, 2 y 12.
- Calidad Ambiental Regular: Localidades 15, 4, 6, 19, 18, 14, 7, 1, 5, 10 y 16.
- Calidad Ambiental Deficiente: Localidades 9, 8 y 11.

Para precisar aun más los resultados del ICA expresados en el párrafo anterior, en la Tabla 4 se ordenan de manera general los indicadores simples, de acuerdo a su estructura de correlación con el ICA, presentando la importancia relativa de cada una de las variables que componen el índice, ordenándolos en este sentido de mayor a menor correlación. De otro lado, también se describe, para cada localidad, cuales son los indicadores simples que más inciden en la modificación del ICA, identificando el número de desviaciones estándar de cada variable, que en cada localidad, se aleja positiva o negativamente con respecto a la media. De esta forma los tomadores de decisiones tienen información útil no solo para priorizar la intervención por localidades o distintos sectores de la ciudad, sino que puede priorizar sobre que variables o factores intervenir en cada una de ellas de manera específica.¹⁴

En términos generales, la localidad que presenta la mejor calidad ambiental es Santa Fé, básicamente porque cuenta con una alta densidad de zonas verdes y de árboles plantados. La influencia de la Industria y el comercio es baja, dado que esta zona cuenta con la presencia de entidades gubernamentales y empresas de servicios que no generan mayores problemas de impacto ambiental.

Las localidades calificadas como Buenas (La Candelaria, Teusaquillo, Chapinero y Barrios Unidos) son básicamente zonas residenciales que cuentan con un gran número de árboles plantados y una alta densidad de zonas verdes por habitante y por área, y una alta proporción de espacio público recuperado, gracias a la presencia de muchos parques como el Parque Metropolitano Simón Bolívar, y a la peatonalización de la Avenida Jiménez, que constituye el eje ambiental de la ciudad. El problema que se evidencia en este sector es el aumento progresivo del comercio que influye en la contaminación visual por publicidad y la contaminación atmosférica por el tráfico automotor. Esta situación demanda la intervención de la política pública en este sentido, de tal forma que se conserve el carácter residencial del sector.

Tanto las localidades Muy Buenas y Buenas se caracterizan por estar conformadas por estratos socioeconómicos altos, y se ubican en gran parte del centro y Nor-Oriente de la ciudad conformando así una zona homogénea en cuanto a la calidad ambiental que los identifica.

Las localidades Regulares (Antonio Nariño, San Cristóbal, Tunjuelito, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe, Los Mártires, Bosa, Usaquén, Usme, Engativá y Puente Aranda) se encuentran ubicadas en toda la parte Sur de la ciudad, a excepción de Usaquén en el Norte y Engativá al Occidente, conformando así otra zona relativamente homogénea. Estas son localidades periféricas y son las más deprimidas económicamente de la ciudad. Presentan una alta concentración en la densidad de habitantes y de viviendas. Además la recuperación del espacio público y de las zonas verdes y la plantación de árboles es escasa respecto a las demás localidades.

En localidades como Bosa, Tunjuelito y Usme existen industrias de tipo ilegal como canteras y ladrilleras, que no tienen ningún tipo de control sobre los efectos que pueden tener en el medio ambiente. En Los Mártires y en Antonio Nariño, existe una gran influencia del comercio y se presentan problemas en cuanto a la ocupación del espacio público y contaminación atmosférica por tráfico automotor. En Engativá por ejemplo, se encuentra ubicado el aeropuerto internacional El Dorado, que genera graves problemas de contaminación auditiva. La localidad de Usaquén a pesar de encontrarse en el norte de la ciudad, en su interior existen todos los estratos socioeconómicos, de los más altos a los más bajos, estos últimos ubicados en los cerros nor-orientales, donde hay explotación de canteras y un uso inadecuado del suelo. En esta localidad el comercio y el tráfico automotor ejercen un impacto muy fuerte.

Cabe destacar la localidad de Puente Aranda conocida como la Zona Industrial, pues aquí se concentran un sinnúmero de industrias, principalmente manufactureras, químicas, alimenticias y de construcción. Esto genera una alta contaminación atmosférica, visual y auditiva, y por ello recibe la calificación más baja dentro de este grupo acercándose a las localidades deficientes.

Por último las localidades deficientes (Fontibón, Kennedy y Suba) se encuentran en el sur y nor-occidente de la ciudad, conformando así la última zona homogénea. Presentan una gran densidad de población y de viviendas. A pesar que estos sectores son de estratos socioeconómicos



14. Es importante anotar que el significado de los colores quieren dar al lector una apreciación visual de las diferencias entre las distintas localidades con respecto a cada indicador simple.

Estructura de correlación		LOCALIDADES*																		
INDICADORES SIMPLES	ICA	Calidad Ambiental Muy Buena	Calidad Ambiental Buena										Calidad Ambiental Regular							
		3	17	13	2	12	15	4	6	19	18	14	7	1	5	10	16	9	8	11
Densidad de Área verde por localidad (DAV)	0.85	2.37	-1.50	-1.15	-0.02	-1.80	0.28	0.45	-0.07	-0.11	0.30	-0.12	-0.17	-1.19	-0.89	-1.05	-0.36	-1.20	-0.13	-1.35
Área verde por habitante (AVH)	0.81	-1.12	-0.39	-2.88	-0.24	-1.52	-0.57	-0.39	-0.27	-0.66	-0.51	-0.77	-0.44	-0.38	-0.26	0.31	-0.27	-0.33	-0.55	-0.47
Densidad de habitantes (DHA)	0.78	0.11	0.03	-1.17	-1.16	0.30	-0.44	-0.13	-0.34	-0.53	-1.17	0.33	-0.63	-1.17	0.86	-0.56	0.08	-1.24	-0.54	-1.31
Número de vallas y avisos publicitarios (VAP)	0.70	-1.16	-1.11	0.74	-2.38	0.84	0.33	-0.61	-0.83	-0.64	-0.64	0.39	-0.76	-0.35	-0.86	-0.60	-0.21	-0.71	-0.63	-0.71
Densidad de viviendas (DV)	0.68	0.57	0.85	-0.10	-0.13	0.29	0.33	0.30	0.50	0.64	0.39	0.39	0.12	0.87	-0.07	-0.70	0.23	-0.39	-0.43	-0.72
Espacio público recuperado (EPR)	0.66	0.12	-1.04	-0.22	0.48	0.00	0.00	-0.31	-0.17	-0.28	-0.22	-0.25	-0.34	-0.20	0.00	0.00	0.00	-0.30	-0.29	-0.31
Número de árboles plantados (NAP)	0.53	-1.00	-0.27	-0.21	0.08	-0.41	-0.28	0.46	0.06	0.18	-0.31	-0.39	-0.35	-0.39	-0.28	-0.34	-0.29	-0.47	-0.32	-0.48
Influencia de la industria y comercio (IC)	0.32	0.29	-1.07	0.09	-0.11	-0.84	0.31	0.33	0.71	-1.11	0.36	-0.50	-1.12	-0.55	-1.42	-1.52	-2.32	0.04	-1.26	-0.35

* Los valores indican el número de desviaciones con respecto a la media de cada indicador simple y los tonos de verde a rojo indican agrupaciones de valores inferiores y superiores a la media, tal como se expresa en la convención. Para homogenizar la presentación de los resultados de esta tabla, aquellas variables que en el ICA inciden de forma negativa (IC, DV, VAP, DHA) les fue cambiado el signo. Por ello intuitivamente para esta variable el valor positivo se debe interpretar como el número de desviaciones estándar inferiores al promedio.

(desv. stánd.)	Muy bueno																			
(0 < desv. Std)	Bueno																			
(1 < desv. Std)	Regular																			
(desv. Stánd.)	Deficiente																			

Tabla 4.
Priorización de los indicadores
simples en el ICA por localidades

7

relativamente altos, esta situación puede deberse a la presencia de un gran número de edificios de apartamentos y conjuntos cerrados. Quizá por ser tan pobladas, las actividades comerciales e industriales son mayores, además aquí se encuentran las principales vías de la ciudad, por lo que la contaminación auditiva, visual y atmosférica es alta. También es probable que las localidades de Fontibón y Kennedy se encuentren influenciadas por la contaminación que genera la zona industrial de Puente Aranda. Además, el tamaño de zonas verdes, espacio público y el número de árboles son bastantes inferiores al promedio de la ciudad.

En general, de este estudio se puede derivar que desde el punto de vista de la gestión ambiental urbana, los resultados presentados son una importante herramienta para diferenciar la gestión de los tomadores de decisión en la ciudad como territorio ambientalmente no homogéneo, de tal forma que puedan objetivamente priorizar zonas a intervenir y los recursos a invertir en distintas tipos de acciones que afecten la calidad ambiental en cada localidad; incidiendo esto en el uso eficiente de los recursos públicos.

5. CONCLUSIONES

En términos generales los resultados de este estudio indican que las condiciones de calidad ambiental en una ciudad como Bogotá son espacialmente heterogéneas, tal como se observa en el mapa de la distribución espacial del ICA por localidades.

La importancia operativa de estos resultados consiste en que se ha construido un importante instrumento para la definición de política pública en materia de medio ambiente urbano, con la cual se pueden diferenciar espacialmente el grado intervención pública en las distintas localidades y establecer criterios de prioridad en la asignación de recurso públicos. En este sentido, se puede deducir que el tomador de decisiones tiene una herramienta cuantitativa importante que le permite diferenciar que factores ambientales son más importantes en cada una de las localidades y dirigir la gestión e inversión allí donde genere el mayor impacto. También los resultados proporcionan información importante para definir el estado o línea base de la situación ambiental de Bogotá por localidades, con el fin de establecer mecanismos de seguimiento, control y evaluación de la política pública.

Técnicamente aquí se ha estimado el Índice de calidad ambiental como una *variable latente* que es una medida cuantitativa del valor relativo de las condiciones ambientales de cada una de las unidades experimentales.

Creemos que la construcción del ICA a este nivel de agregación es un poderoso instrumento que ha permitido resumir una gran cantidad de datos en un solo índice que resume sintéticamente la mayor parte de la información contenida en las variables que determinan la calidad ambiental en Bogotá y a la escala de análisis que se desarrolló en esta investigación. Sin embargo es necesario enfatizar que este estudio es un modelo que permite hacer una aproximación a la medición del índice de calidad ambiental urbana, y que es pertinente avanzar en la incorporación de variables importantes en la determinación del ICA como la percepción ciudadana del entorno, contaminación atmosférica, entre otras.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, T.W., 1984. An introduction to multivariate statistical analysis. New York.
- Bermúdez, T., 2003. Estimación de los beneficios sociales asociados a la inversión pública en mejoramiento ambiental en Bogotá: un modelo de precios hedónicos. Tesis. Facultad de Economía. Universidad del Valle.
- Brand, P. C., 2001. La construcción ambiental del bienestar urbano. Caso de Medellín. Colombia. Economía, Sociedad y Territorio, V. III, No. 9, pp. 1-24.
- Bosque, J., 2000. Sistema de Información Geográfico. Ediciones Rialp, S. A.



- Castro, J.M., 2002. Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.
- EEA/AMAE, 2002. Towards an urban atlas Assessment of spatial data on 25 European cities and urban areas. Environmental issue report No 30. Copenhagen.
- EEA/AMAE, 1995. Europe's Environment: The Dobbris' Assessment. European Environment Agency. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Ebert U. y Welsch H., 2004. Meaningful environmental indices: a social choice approach. Journal Environmental Economics and Management. 47 (2004), pp. 270-283.
- Escobar, A., 1999. El desarrollo sostenible: dialogo de discursos. En Escobar Arturo, El final del salvaje, Cerec/Instituto Colombiano de Antropología. Bogotá.
- Escobar, L. A., 2004. Construcción de Índices de Calidad Ambiental Urbana: Un Modelo General y aplicación para Cali-Colombia. Trabajo de investigación tutelado. Universidad de Alcalá, 2004. Madrid.
- Freeman III y Myrick A., 1993. The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods. Resources for the Future. Washington, D.C.
- Hair, J.F.; Anderson R.; Tatham R. y W.C. Black., 1999. Análisis Multivariante. Prentice Hall Iberia. Madrid.
- Hyatt. E., 2001. Editorial. Ecological Indicators 1 (2001), pp. 1-2.
- Instituto Distrital para la recreación y el deporte IDRD, 1998. Marco Urbano de Actuación Tomo 1. Bogotá.
- Johnson, D., 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Internacional Thomson editores.
- Jolliffe, I.T., 1986. Principal Components Analysis. Springer. New York.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2000. Sistema español de indicadores ambientales: Área de medio urbano. Centro de Publicaciones. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- OCDE, 1997. Better understanding our cities. The role of urban indicators. Paris.
- OCDE, 1993. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. Environment Monographs N° 83. Paris.
- OMS/WHO, 1993. Healthy City Indicators. World Health Organization. Copenhagen.
- Pardo A. y M. A. Ruiz., 2002. Guía para el análisis de datos. McGraw-Hill Interamericana de España.
- Pena T., J. B., 1977. Problemas de la medición del bienestar y conceptos afines. Una aplicación al caso español. INE. Madrid.
- Peters, W.S. y Butler, J.Q., 1970. The construction of Regional Economic Indicators by principal components. Annals of Regional Science, IV, pp. 1-14.
- Segnestam, L., 2002a. Indicators of Environment and Sustainable Development: Theories and Practical Experience. Environmental Economics Series. Paper no. 89. The World Bank Environment Department.
- Segnestam L., 2002b. Indicators of environment and sustainable development. Stockholm Environment Institute. Policy & Institutions. [www. Sei.se/policy.html](http://www.Sei.se/policy.html)
- UNCED/CNUMA, 1992. Agenda 21. Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, 3-14 June 1992. Naciones Unidas. New York.
- Velázquez, L. S., 2001. Indicadores de gestión urbana. Los observatorios urbano-territoriales para el desarrollo sostenible. Manizales, Colombia. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Naciones Unidas – CEPAL. LC/L.1483 p.
- Visauta B. y Martori, J. C., 2003. Análisis estadístico con SPSS para Windows. Vol. II. Estadística Multivariante. McGraw Hill.
- Winograd M, Fernandez N. y Farrow A., 1999. Herramientas para la toma de decisiones en América Latina y el Caribe: indicadores ambientales y Sistema de Información Geográfica. CIAT/UNEP
- Zarzosa Espina, P., 1996. Aproximación a la medición del Bienestar Social. Universidad de Valladolid. Valladolid.

