



EURE

ISSN: 0250-7161

eure@eure.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Chile

Escobar, Luis

Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas  
EURE, vol. XXXII, núm. 96, agosto, 2006, pp. 73-98

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19609605>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Tema central

*Luis Escobar\**

# Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas\*\*

## Abstract

*This paper defines the index of environmental quality (ICA) as a latent variable determined by a group of factors that affects it in a positive and negative manner. Setting off from the hypothesis of non environmental homogenous pertaining to urban territory, and following the construction of a system of simple indicators and its application in large cities. The most influential factors in the determination of the ICA by each comuna are established as well. Consequently, important information is derived, which will enable the planner and environmental agent to prioritize the assignation of economic resources, not only in a differential way among comunas but for the sort of resources or environmental variables that most affect the quality of environment.*

**Keywords:** indexes of environmental quality, urban environmental management, environmental indicators, sustainable development.

## Resumen

En este artículo se define el índice de calidad ambiental (ICA) como una variable latente determinada por un conjunto de factores que lo afectan de manera positiva y negativa. Partimos de la hipótesis de la no homogeneidad ambiental del territorio urbano, y nos proponemos definir un modelo general para la estimación del ICA a partir de la construcción de un sistema de indicadores simples y su aplicación en grandes ciudades. De este artículo se deriva información importante para que el planificador y el gestor puedan priorizar la asignación de recursos económicos, no sólo de manera diferencial entre comunas, sino por el tipo de recursos o variables ambientales que más inciden en la calidad ambiental.

**Palabras clave:** índices de calidad ambiental, gestión ambiental urbana, indicadores ambientales, desarrollo sostenible.

## 1. Introducción

**L**os indicadores simples y sintéticos juegan un papel importante en la política pública, porque ayudan a construir percepción pública de problemas complejos. Además, proveen información cuantitativa para evaluar la efectividad de las alternativas de decisión pública.

Desde la promulgación de la Agenda 21, son grandes los esfuerzos a nivel mundial, regional y local que buscan consolidar un sistema de indicadores que apoye a los tomadores de decisión en el diseño de la política y gestión ambiental del territorio (OCDE, 1978, 1990, 1993, 1997, 2000 y 2001; UNCED/CNUMA, 1987 y 1992; UNCHS/HABITAT, 1997, 1999 y 2000; UNCSD, 2001; EUROSTAT, 1998 y 2000).

Si bien los problemas ambientales urbanos han sido tratados como componentes temáticos en mucho de los sistemas de indicadores de desarrollo sostenible que se han propuesto, la generación de indicadores e índices para medir los problemas ambientales y la sostenibilidad ambiental urbana son más recientes, debido a las restricciones de datos para desarrollar sistemas de indicadores a los niveles más desagregados (MMA, 1996; UNEP/PNUMA, 2001; Segnestam, 2002).

Creemos que desarrollar metodologías a niveles más desagregados es una línea de investigación relevante, dado que las grandes concentraciones urbanas son sistemas complejos en donde las situaciones ambientales (positivas y negativas) pueden presen-

tar diferencias significativas entre zonas de una misma ciudad. Ello demanda la construcción de información adecuada que permita, a los tomadores de decisiones, diseñar y priorizar la ejecución de estrategias ambientales que impacten de forma diferencial las distintas zonas en una ciudad.

En este artículo se presenta una estructura metodológica para la construcción de un sistema de indicadores ambientales a nivel urbano y se propone un modelo para construir el **índice de calidad ambiental** (ICA) de acuerdo a la división política administrativa en grandes ciudades. Este índice es considerado como una **variable latente** explicada por un conjunto de indicadores simples que lo determinan.

El concepto de calidad ambiental que se trabaja en este estudio parte de la definición de Freeman (1993), en la que un componente agregado de las amenidades ambientales, además de otros factores, incide en la localización de los agentes cuando eligen una vivienda.

## 2. Indicadores sintéticos de calidad ambiental urbana: una revisión de la literatura

### 2.1. El concepto de indicador

Los indicadores son *input* en los procesos de formulación de política ambiental, y permiten resumir una gran cantidad de datos para facilitar la comunicación de las situaciones ambientales a diferentes grupos sociales (MMA, 1996; Segnestam, 2002).

Hyatt (2001) y Ebert y Welsch (2003) manifiestan que en la definición de indicadores existe confusión aun entre los mismos expertos. Por ello, para nosotros es relevante distinguir entre indicadores simples e índices (indicadores sintéticos). Los primeros 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).

La construcción de un sistema de indicadores simples o los índices –como niveles analíticos superiores– demanda la síntesis de información que en muchas ocasiones no está disponible. Al respecto, Pena Trápero (1977) y Zarzosa (1996) sostienen

\* EIDENAR, Universidad del Valle, Cali (Colombia). E-mail: lescobar@univalle.edu.co

\*\* Esta investigación se realizó con la colaboración del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) de la ciudad de Cali, en el marco del proyecto PNUD/COL/03/021. Agradecemos el apoyo institucional del Director del DAGMA, Dr. Sergio Castañeda, y la coordinadora del grupo SIGAC, Dra. Victoria Tangarife. El autor agradece al profesor Diego Azqueta Oyarzún por su contribución como director de mis trabajos tutelados y del trabajo de tesis doctoral en la Universidad de Alcalá de Henares. En este proceso su ayuda ha sido valiosa. Sin embargo, como es de esperar, toda la responsabilidad del contenido de este artículo es del autor. Envío el 8 de octubre de 2004, aprobado el 21 de diciembre de 2005.

que generalmente el índice construido no da explicación de todos los factores que pueden describir una **variable latente**; sin embargo, son en todo momento una aproximación a ella. De acuerdo a Pender *et al.* (2000), los **índices** son una herramienta cuantitativa que simplifica a través de modelos matemáticos los atributos y pesos de múltiples variables, con la intención de proporcionar una explicación más amplia de un recurso o el atributo a evaluar y gestionar. Lo importante es que el índice garantice lo que Ebert y Welsch (2003) denominan un **índice consistente**<sup>1</sup>.

En la literatura sobre indicadores sintéticos se enfatiza que la selección del conjunto de indicadores apropiados no es una tarea fácil, dado que ello demanda el entendimiento de cómo funciona el sistema o fenómeno que se quiere explicar, y esto no siempre es posible cuando se trabaja con el medio ambiente (EEA/AMAE, 2002). Por ello, la selección de indicadores obedece no sólo a la interpretación que el científico y la sociedad hagan de una realidad, de por sí compleja, sino también a la disponibilidad de la información en un marco analítico que la interprete.

Desde las ciencias sociales, los científicos buscan definir modelos analíticos que delimiten la explicación de **variables latentes** como la **calidad ambiental**, el **desarrollo sostenible**, el **bienestar social** o cualquier otra. Por ello, un modelo puede o no ser apropiado, en función de su poder de explicación de esa realidad y no tanto por la mayor representación de la complejidad de la misma (OCDE, 1997; Dixon y Segnestamet, 2002).

Este estudio aborda el marco analítico basado en temas y subtemas (EEA/AMAE, 2002; UNCSD, 2000 y 2001). Enfocar la construcción de indicadores de desarrollo sostenible o ambientales desde **temas y subtemas**, y no desde **categorías de causalidad**, es más operativo allí donde no sean evi-

dentes los eslabones causales entre –por ejemplo– las presiones e impactos, dado su dificultad para ser precisada tal relación a un nivel de escala diferente.

Esta dificultad para determinar relaciones causales fue uno de los criterios determinantes en la selección del modelo por **temas y subtemas** en el caso de este estudio, dado que no es posible, al nivel de agregación que se trabaja (comunas o barrios de una ciudad), determinar relaciones de causalidad directa, cuando las fuentes –como la contaminación, por ejemplo- no tienen una dimensión espacial al nivel de referencia idéntico al que se ha utilizado para objetivar sus efectos e impactos. Por ello este estudio aborda el modelo por **temas y subtemas**, como una aproximación a las categorías desarrolladas por el modelo de **presión- estado-respuesta** de la OCDE (1993)<sup>2</sup>.

## 2.2. Algunas experiencias relacionadas

Son varias las iniciativas que a nivel mundial presentan modelos de indicadores basados en **temas y subtemas** aplicadas a entornos netamente urbanos, tales como el sistema de indicadores urbanos propuesto por la Conferencia sobre Asentamientos Humanos en Nairobi, que contribuyó al desarrollo del Programa de Indicadores Urbanos, y que tiene como propósito establecer a escala mundial una Red de Observatorios Urbanos que permita la evaluación y control de la implementación de los Programas Habitat y Agenda 21 (UNCHS/HABITAT, 1997). De otro lado, la OCDE (1993) ha definido trece áreas de indicadores, entre las cuales una de ellas se refiere al fenómeno ambiental urbano como área de interés especial.

Otro programa relevante a nivel mundial es el de la Organización Mundial para la Salud (OMS, 1993), que establece un conjunto de indicadores de ciudades saludables, dentro del Programa Salud para Todos en 2000.

En la Tabla 1 del Anexo presentamos un resumen de los principales hitos internacionales asocia-

---

<sup>1</sup> “Environmental indices provide a condensed description of multi-dimensional environmental status by aggregating several variables (or indicators) into a single quantity [...] The basic purpose of environmental indices is to allow comparisons of status of the environment across time or space. A fundamental desired property of environmental indices is that these comparisons should be free of ambiguity”.

---

<sup>2</sup> Algunas derivaciones importantes de este modelo se han adaptado a interpretaciones más complejas, como son los modelos de **impulso-estado-presión**; **presión-estado-impacto-respuesta** e **impulso-presión-estado-impacto-respuesta** (Jesinghaus, 1999; Segnestam, 2002).

dos a la generación de indicadores ambientales urbanos.

A nivel regional son muchas las organizaciones que se destacan por su contribución conceptual y aplicada en el tema de indicadores ambientales. En Europa las más importantes son la Agencia Medio Ambiental Europea (EEA/AMAE), Eurostat, Comisión de Comunidades Europea (CCE), entre otras organizaciones. Su propósito general está dirigido a derivar comparaciones entre países de una misma región o ciudades de los países de la región, con el fin de proponer políticas a este nivel (EEA/AEMA, 2002). En la Tabla 2 del Anexo puede observar un resumen secuencial de los principales hitos asociados a la construcción de indicadores ambientales urbanos en Europa.

Para España, además del sistema de indicadores ambientales urbanos diseñado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2000), se destacan los sistemas de indicadores desarrollados para el nivel de regiones en Cataluña (Secretat Tècnica de la Xarxa de Ciutats I Pobles cap a la Sostenibilitat, 2000), Andalucía (CMA –Junta de Andalucía, 2001; Castro, 2002) y el País Vasco (CMA, 2003), entre otras. En su mayoría, los indicadores desarrollados responden a las condiciones específicas de las regiones o ciudades típicas, con fines de comparar y diseñar políticas a este nivel.

De Estados Unidos resaltamos una de las iniciativas más destacable a nivel mundial, la llamada “Seattle Ciudad Sostenible”. Esta iniciativa de un grupo de ciudadanos en 1992, es caracterizada por un proceso de participación con amplia convocatoria comunitaria, ONGs, universidades, académicos, etc., que llevó a la definición de un conjunto de **indicadores simples** dirigidos a tres áreas temáticas: economía, sociedad y medio ambiente a nivel de la ciudad. En este mismo orden de ideas, McMahon (2002) define un sistema de indicadores sostenibles para Bristol, en Inglaterra.

A nivel de América Latina, resaltamos las experiencias de Chile, México y Costa Rica como procesos avanzados en la definición de sistemas de indicadores de desarrollo sostenible (Quiroga, 2001). Para el caso de Colombia, son dos las experiencias más relevantes, más que por su trascendencia internacional, porque están relacionadas con el modelo de

indicadores que se presenta en este estudio y permiten definir el estado del arte del objeto de estudio al nivel del caso aplicado. El primero es el sistema de indicadores ambientales para Colombia, desarrollado en el marco de los denominados Observatorios Ambientales Urbanos (OAU), en el que se han definido 78 indicadores simples agrupados en 11 áreas temáticas<sup>3</sup>, para la ocho principales ciudades de Colombia, y recientemente el trabajo realizado por el SISA en 2002, en el que se define un conjunto de 34 indicadores ambientales como un componente del desarrollo sostenible. A nivel local, Velásquez (2001) presenta un programa de indicadores de gestión urbana de la ciudad de Manizales (Colombia), en el que destacamos la hipótesis de que **los problemas de gestión de las ciudades no son homogéneos**, dado que aun en la misma ciudad las características topográficas, clima, distribución espacial de viviendas, comercio e industria, zonas verdes, vías para el tránsito y peatonal, entre otras, son de carácter heterogéneo y por lo tanto se espera que tipifiquen una calidad ambiental diferente de acuerdo al sector que se quiera analizar. Este es el nivel de agregación y la hipótesis que se trabaja en este estudio para la construcción de indicadores simples y su posterior síntesis en un índice de calidad o sostenibilidad ambiental<sup>4</sup> por comunas de una ciudad.

En cuanto a la definición y construcción de índices ambientales y de desarrollo sostenible, Castro (2002) construye índices de desarrollo sostenible para comparar los municipios de la comunidad de Andalucía (España), usando técnicas de análisis multivariado como el **análisis de componentes principales** (ACP), DP<sub>2</sub> y **análisis de conjuntos difusos**. Shi *et al.* (2004) usan ACP para evaluar zonas costeras en los municipios de Shanghai y Chong Ming Island en China, de acuerdo al índice de desarrollo sostenible.

En este estudio hemos propuesto el uso de dos técnicas de análisis multivariado, ACP y DP<sub>2</sub>, para estimar el ICA en las distintas unidades administrativas de grandes ciudades. Es importante mencionar

<sup>3</sup> Para más detalles puede consultarse [www.rds.org](http://www.rds.org).

<sup>4</sup> El índice de calidad ambiental refleja la valoración de uno de los componentes del desarrollo sostenible. Este estudio no aborda indicadores simples ni índices de los componentes económico, social e institucional.

que el uso de técnicas de análisis multivariante para la construcción de índices es amplia en la literatura sobre indicadores sociales, tal como se referencia en Pena Trapero (1977) y Zarzosa (1996).

### 3. Criterios generales para la selección de indicadores ambientales simples y sintéticos

Los criterios de selección de indicadores juegan un papel determinante cuando se aborda el diseño de un sistema de indicadores simples o la construcción de un indicador sintético, dado que éstos demandan información cuantitativa de múltiples componentes e indicadores que lo explican. Pero, ¿cómo seleccionar estos componentes e indicadores? ¿Cuántos componentes e indicadores incluir en el índice? ¿Son los indicadores una buena aproximación a la medición del fenómeno a evaluar?

Los criterios de selección tienen que ser, por un lado, el filtro para resumir una gran cantidad de datos en un número reducido de indicadores por temas, áreas, componentes, preocupaciones sociales, etc., y por otro, también deben permitir dotar el sistema de indicadores de mayor calidad estadística en la información y de un método científico que delimita la frontera del análisis.

En su mayoría, los criterios empleados para la selección de indicadores coinciden en que el primer filtro lo constituye la definición de componentes, temas o áreas de interés de acuerdo al modelo de análisis seleccionado, ya sea basado en el enfoque de desarrollo sostenible o la ciudad como ecosistema urbano (Escobar, 2004)<sup>5</sup>. El siguiente paso es definir una serie de indicadores que se pueden medir de acuerdo a su *estado* u otra categoría. En el caso de este artículo no interesa resaltar, por ejemplo que si el objetivo es medir la **calidad ambiental urbana**<sup>6</sup>, donde uno de sus componentes es el **medio ambiente ur-**

bano

bano

bano; un tema sería el **aire**, y una posible medida o indicador podría ser **microgramos de partículas en suspensión, NOx, CO<sub>2</sub>**, etc.

En cuanto a la selección de los indicadores, aun en un mismo modelo de análisis existe una amplia disparidad de criterios, quizá respondiendo a lo que se anotaba al comienzo de este artículo, y es que los indicadores son esencialmente variables dotadas de significado social y por ello responden al interés de las sociedades que los definen. Sin embargo, en la literatura revisada se puede nentrever unos criterios genéricos que permiten hacer una primera lista de filtros para la definición de una batería de indicadores:

- Deben describir un resultado final que atañe a la preocupación social.
- Deben describir situaciones sociales de elección pública, es decir, que sean susceptibles de mejorar mediante la gestión social.
- Deben estar referidos a un campo de aplicación temporal y espacial definido, de forma que permita la comparación intertemporal y entre regiones.
- Deben tener la posibilidad de agregación y desagregación, lo cual plantea un desarrollo que sea independiente de las instituciones que proporcionan la información.
- Deben estar integrados en sus definiciones, especificaciones, directrices estadísticas y categorías clasificadorias, con otros sistemas de estadísticas sociales, demográficas y económicas, con las cuales se puedan relacionar.
- Deben basarse en la validez científica. Es decir, el conocimiento científico de las relaciones de causalidad, sus atributos y su significado deben estar bien fundamentados.
- Debe ser sensible a cambios, en la medida que deben señalar cambios de tendencia en las situaciones que representan, preferiblemente en el corto plazo.
- Deben ser predictivos, de forma tal que brinden señales de posibles tendencias futuras de lo que miden.

<sup>5</sup> En este estudio se toma como modelo analítico el desarrollo sostenible y nos concentramos en trabajar un componente de éste: el ambiente urbano. Los componentes social, económico e institucional no hacen parte del conjunto de indicadores que finalmente definimos.

<sup>6</sup> Entendida como un componente del desarrollo sostenible urbano. En la bibliografía revisada algunos estudios denominan a este componente como sostenibilidad ambiental. En este estudio los términos se deben asumir como similares.

- Deben tener una cobertura geográfica nacional o basarse en escalas regionales que puedan ser agregadas a ese nivel.
- Deben ser costo-eficientes. Los indicadores deben ser prácticos y realistas y su costo debe estar considerado en la selección. Esto puede llevar a *trade-offs* entre el volumen de información necesario y el costo de recolección.
- Existencia de los datos como un criterio de selección posterior a la definición de la lista amplia de indicadores.
- Representatividad de las zonas descritas, de tal forma que permita comparar las posiciones relativas.
- Se prefieren los indicadores directos del fenómeno a explicar, pero en caso de no existir, se recomienda el uso de indicadores indirectos que no generen ambigüedad en la explicación del factor que se quiere medir.
- Los indicadores deben tener una gran capacidad de discriminación del conjunto de unidades de observación para el cual se están diseñando (barrios, comunas, ciudades, países, etc.).

En general, este amplio resumen de criterios genéricos para la selección de indicadores muestra que no existe un consenso generalizado al respecto; sin embargo, son un buen “ábanico” de criterios que los investigadores tienen a su alcance para definir esa primera lista de indicadores que le ayuden a sustentar las hipótesis de trabajo que se relacionan con esta primera fase de definición y recopilación de datos: un buen conjunto de indicadores debe ser “completo” para medir el índice, y cada uno de los indicadores debe ser una “buena” medida de los estados (u otra categoría) de la situación ambiental.

Para detalles de estos criterios y cómo se aplican a los casos específicos, se pueden consultar organismos y agencias internacionales como OCDE (1978), EUROSTAT (2000) y UNCHS/HABITAT (1997 y 2000). En España se pueden consultar algunos autores como Pena Trapero (1977), Zarzosa (1996), y un buen trabajo de síntesis de indicadores urbanos de desarrollo sostenible se puede encontrar en

Castro (2002). Para América Latina se puede consultar a Quiroga (2001).

De acuerdo al análisis realizado hasta aquí, se pueden resaltar básicamente tres aspectos determinantes en la definición de indicadores ambientales urbanos:

- Los sistemas de indicadores están referidos a un marco analítico.
- La elaboración de indicadores ambientales urbanos tienen la función de evaluar la política ambiental local y hacer un seguimiento y comparación al nivel de agregación demandado.
- La referencia espacial para los indicadores es básicamente de ciudad, y en algunos casos de municipios. Por lo tanto, la evaluación de la gestión desde lo local es bastante agregada y no da cuenta de los detalles de unidades espaciales de una mayor escala, como distritos, comunas o barrios.

Desarrollar un sistema de indicadores ambientales urbanos a una escala espacial amplia (a nivel de comuna, por ejemplo) proporcionaría a los tomadores de decisiones una importante información para ejecutar planes de acción con proyectos y actividades diferenciadas. Además son una fuente de información importante para la medición y seguimiento de la gestión institucional y el control de la opinión pública por parte de los ciudadanos.

En la siguiente sección se presenta un modelo construido como una aproximación al diseño estructurado de un sistema indicadores ambientales urbanos, que permita ordenar las comunas de una ciudad de acuerdo al índice de calidad ambiental (ICA).

#### **4. El sistema de indicadores ambientales urbanos propuesto**

##### *4.1. Indicadores de calidad ambiental: un marco de referencia*

El concepto de calidad ambiental como el estado de un conjunto multidimensional de indicadores ambientales se interpreta siguiendo a Freeman (1993), quien afirma que dada una función de utilidad donde las preferencias de los agentes son dé-

bilmente separables entre las viviendas y las características ambientales del entorno, es posible definir una función de elección de localización  $i$ ,  $b_{ij} = b_{ij}(q_i, Q_{ij}^*, S_i, N_i, u^*)$ , en la que los  $Q_{ij}^*$  son todo el conjunto de amenidades ambientales asociadas a la vivienda  $i$  para cada localidad  $j$ , excepto  $q_i$  que es una característica ambiental específica asociada a la vivienda  $i$ .<sup>7</sup> 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 modelo de 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 del entorno<sup>8</sup>.

Precisado el concepto de calidad ambiental, y dada la revisión general de los modelos de indicadores sintéticos más relevantes a nivel urbano (EEA/AEMA, 1995; Castro, 2002; MMA, 2000), proponemos un modelo en el cual se parte de uno de los componentes del desarrollo sostenible: el componente ambiental. De éste se definen dos subcomponentes<sup>9</sup> y un conjunto de 38 indicadores teóricos simples agrupados en 10 áreas temáticas (ver Tabla 1).

Los criterios empleados para seleccionar las variables que finalmente se utilizan para construir el índice de calidad ambiental son: **validez científica; capacidad de discriminación; existencia de datos; definición de situación de elección pública; representación de la zona descrita; medición directa; sensibilidad a cambios; costo-eficiencia.** Estos criterios son el filtro para la selección de los indicadores que

<sup>7</sup>  $S_i$  y  $N_i$  representan las características socioeconómicas y estructurales de la vivienda, respectivamente.  $u^*$  es un nivel de utilidad dado.

<sup>8</sup> En general, se espera que el modelo sea una guía para construir índices de calidad ambiental que sean *input* para modelar y valorar económicamente este componente del bienestar social. Esta es la segunda fase de esta investigación que intenta descubrir, a través de un modelo de precios hedónicos, el valor social de este componente multidimensional llamado ICA.

<sup>9</sup> Los subcomponentes son flujo urbano y medio ambiente urbano. El primero incluye indicadores de procesos urbanos que modifican la calidad ambiental del entorno, y el segundo se refiere al estado de indicadores que describen una característica ambiental determinada, por ejemplo, calidad del aire, área verde, etc.

finalmente harán parte del índice, dado un conjunto de indicadores teóricos que se presentan en la Tabla 1.

#### 4.2. *El modelo de indicador sintético*

La Figura 1 muestra el esquema de cómo se simplifica la información derivada del sistema de indicadores ambientales presentado en la Tabla 1. Este proceso muestra las acciones a seguir para construir un indicador sintético (ICA) que se utiliza para evaluar cada una de las unidades experimentales. En este caso nos referimos a las comunas, localidades, barrios, etc., de una zona urbana.

Partimos de la definición de calidad ambiental urbana y de sus dos componentes. De aquí se derivan un conjunto de indicadores simples, a los cuales les aplicamos los criterios definidos en la sección 4.1, resultando los indicadores operativos del sistema.

Estos indicadores operativos se deben presentar a la escala espacial definida, mediante el empleo de un **Sistema de Información Geográfico** que homogeneice espacialmente toda la base de datos. Para aquellas variables que no son susceptibles de espacializar al nivel de agregación de los indicadores definidos, se construye un modelo cartográfico para derivar su valor a la escala de trabajo (Bosque, 2000)<sup>10</sup>. El primer producto sería la representación de la distribución espacial del sistema de indicadores ambientales.

Una vez definidos los indicadores operativos y especializados, se recomienda el empleo de técnicas de análisis multivariado como el Análisis de Componentes Principales y Análisis de Distancia DP<sub>2</sub> (Pena Trapero, 1977; Zarzosa, 1996), para sintetizar un conjunto de indicadores simples en un índice, pasando de indicadores de primer nivel a indicadores sintéticos de nivel II, III y IV, tal como se expresa en la Tabla 1.

Simplificando el desarrollo conceptual expresado hasta aquí, a continuación describimos un con-

<sup>10</sup> Este es el caso de variables que obedecen a modelos de dispersión (NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, PST, etc.), o que tienen una referencia espacial que escapa a la división político administrativa de la ciudad. En este caso amerita la construcción de un modelo cartográfico que permita derivar información de la variable al nivel de esta última escala de análisis espacial del indicador.

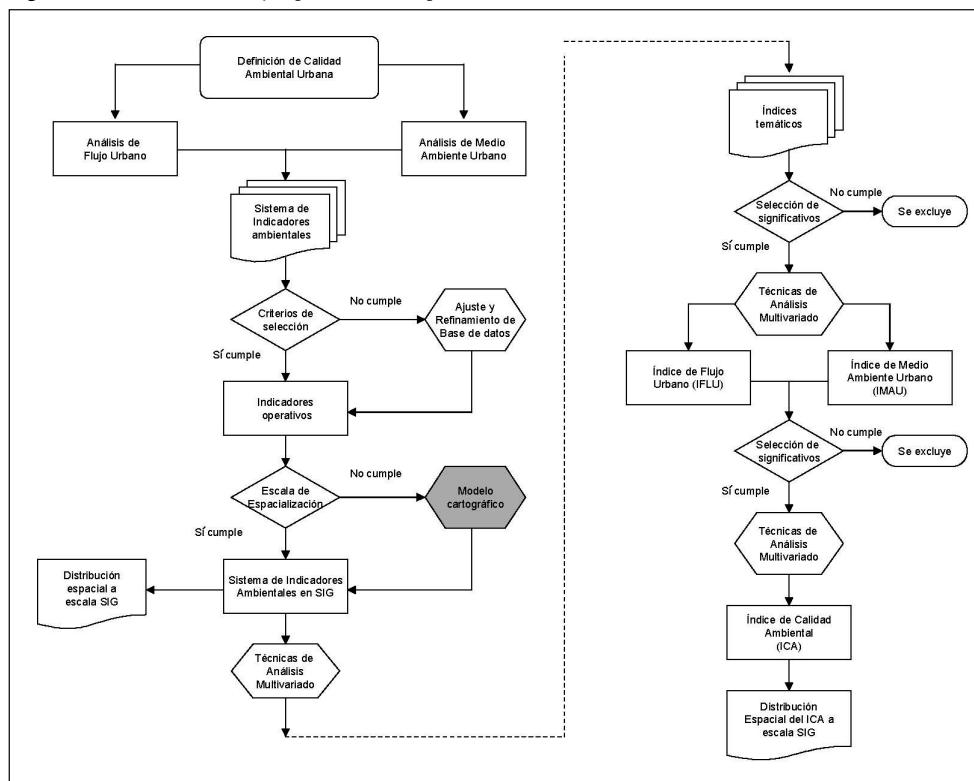
**Tabla 1.** Sistema de indicadores de calidad ambiental urbana.

| Indicadores simples<br>Nivel I  | Área temática<br>Nivel II                | Componentes<br>Nivel III               | Índice<br>Nivel IV                |
|---|--|--|-----------------------------------|
| RS1. Residuos sólidos generados (Ton)<br>RS2. Cobertura de recolección (% de viviendas)<br>RS3. Basureros crónicos (No)<br>RS4. Percepción social del servicio  | Residuos sólidos urbanos ( <i>Irsu</i> ) |  |                                   |
| CE1. Cobertura de energía (% de viviendas)<br>CE2. Conexiones ilegales (No)<br>CE3. Cobertura de gas (% de viviendas)<br>CE4. Uso de leña, carbón, etc. (No viviendas)<br>CE5. Fuentes de contaminación lumínica (No)                                 | Consumo de energía ( <i>Icen</i> )       |  |                                   |
| TR1. Densidad de coches (Coches/habitantes)<br>TR2. Accidentes mortales de tránsito (No)<br>TR3. Kilómetros de vía pavimentada (No)<br>TR4. Semáforos (No)  | Tráfico urbano ( <i>Itru</i> )           | Índice de Flujo Urbano (IFLU)          |                                   |
| CV1. Personas por vivienda (No)<br>CV2. M <sup>2</sup> por vivienda (No)<br>CV3. Densidad de viviendas (No/hectárea)  | Calidad de la vivienda ( <i>Icav</i> )   |  |                                   |
| AI1. Concentración de NOx (% del territorio)*<br>AI2. Concentración de SOx (% del territorio)*<br>AI3. Concentración de CO <sub>2</sub> (% del territorio)*<br>AI4. Concentración de material particulado*<br>AI5. Denuncias por olores molestos (No) | Aire ( <i>Iair</i> )                     |  | Índice de Calidad Ambiental (ICA) |
| AG1. Cobertura de agua (% de viviendas)<br>AG2. Cobertura de alcantarillado (% de viviendas)<br>AG3. Riesgo de inundación (% del territorio)**  | Agua ( <i>Iagu</i> )                     |  |                                   |
| RU1. Ruido diurno (% del territorio)*<br>RU2. Ruido nocturno (% del territorio)*<br>RU3. Denuncias ciudadanas (No)  | Ruido ( <i>Irui</i> )                    |  |                                   |
| SU1. Área urbanizable construida (% del total)<br>SU2. Área verde institucional (% del total)<br>SU3. Densidad área verde (m <sup>2</sup> /habitante)<br>SU4. Erosión (% del total)*  | Suelo ( <i>Isue</i> )                    | Índice de Medio Ambiente Urbano (IMAU) |                                   |
| ES1. Denuncias invasión del espacio público (No)<br>ES2. Parques y plazas por localidad (No)  | Espacio público ( <i>Iepú</i> )          |  |                                   |
| BI1. Densidad de árboles (No/habitante)<br>BI2. Árboles sembrados (No/año)<br>BI3. Fauna animal no nociva (No)<br>BI4. Especies vegetales (No)<br>BI5. Sitios de interés ecológico (No)   | Biodiversidad ( <i>Ibio</i> )            |  |                                   |

\* Estas variables pueden ser derivadas empleando un sistema de información geográfico, cuando sea diseñado un modelo cartográfico que permita estimar el porcentaje del territorio que supera los estándares. Para el caso del modelo aplicado sólo se cuenta con información georreferenciada para la concentración de material particulado. El proceso técnico consiste en el cruce de un mapa digital que represente el modelo de dispersión del contaminante en la zona urbana con el mapa de división político-administrativa de la ciudad en comunas, derivando el porcentaje del territorio que supera los estándares.

\*\* Al igual que con las variables que se derivan de modelos de dispersión, esta variable se puede estimar cruzando los mapas de riesgo de inundación con el de división político-administrativa de la ciudad, previo a la construcción de un modelo cartográfico que identifique los procesos técnicos para derivar tal información.

Figura 1. Proceso de cálculo y representación espacial del ICA.



junto de ecuaciones que explican el proceso a seguir para derivar matemáticamente el ICA. Este proceso consiste en tres fases, en las que de manera consecutiva se simplifica la información de indicadores de primer nivel, para traducirlos en índices temáticos (nivel II), luego a índices de componentes (nivel III) y finalmente al indicador sintético de calidad ambiental (nivel IV).

En la primera fase (ver Tabla 2) se puede observar la forma en que se pasa de indicadores de primer a segundo nivel. Lo importante aquí son las hipótesis de relación lineal entre el conjunto de **indicadores simples** y los índices parciales (temáticos y de componentes) e indicador sintético de calidad ambiental. El signo que toma cada una de las variables es determinante para que en el proceso matemático de síntesis de la información sea correcto, dado que el modelo (ACP o DP<sub>2</sub>) debe incluir el signo que lleva esta variable como una explicación de la variación del índice ante un cambio en el **indicador simple**.

Una vez estimados los componentes principales y las tasas de contribución de los mismos para las ecuaciones del 1 al 10, se procede a calificar cada una de las unidades experimentales de acuerdo al índice que se esté derivando, teniendo en cuenta una ecuación general que consiste en un promedio ponderado de las puntuaciones de cada componente principal, ponderados por la raíz cuadrada de la varianza de cada componente (Peters y Butler *et al.*, 1970). En este sentido, el índice para cada unidad experimental se calcula como se describe en la ecuación (11). En el caso que la técnica de análisis multivariado sea la DP<sub>2</sub>, el programa que se emplea contiene los algoritmos que permiten valorar cada una de las unidades experimentales y ordenarlos de mayor a menor (Zarzosa y Zarzosa, 1994).

En la ecuación (11),  $I_{mj}$  representa *Irse*, *Icen*, *Ira*, *Icav*, *Iair*, *Iagu*, *Iruí*, *Isue*, *Iepu* e *Ibio* separadamente para cada unidad experimental  $j$ -ésima,  $Z_{rj}$  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.

$$I_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^r Z_{ij} \cdot \sqrt{\lambda_r}}{\sum_{i=1}^r \sqrt{\lambda_r}} \quad (11)$$

Los  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  representan las unidades experimentales. Los  $i$  representan el subíndice de cada una de las variables que componen la ecuación de cada indicador de segundo nivel y que se detallan en la Tabla 1.  $W_i$  es el conjunto de pesos relativos de cada indicador de primer nivel. Como las variables que componen cada indicador de segundo nivel tienen diferentes unidades de medida y escala, se emplean técnicas de análisis multivariantes como el Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Distancia P<sub>2</sub> (DP<sub>2</sub>) (Pena Trapero, 1977; Zarzosa, 1996).

Una vez estimados los indicadores de segundo nivel (índices temáticos), se avanza a la fase II para

construir los indicadores de tercer nivel (índices de componentes). El procedimiento general consiste en seleccionar los indicadores de primer nivel que tengan **comunalidades extraídas** superiores al 40% (Castro, 2002) para cada índice temático estimado en la fase I. A los indicadores seleccionados se les aplica el ACP (o DP<sub>2</sub>) y se estima la ecuación (12), resultando la ordenación de las unidades experimentales de acuerdo a los índices de componentes IFLU e IMAU.

$$IU_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^r Z_{ij} \cdot \sqrt{\lambda_r}}{\sum_{i=1}^r \sqrt{\lambda_r}} \quad (12)$$

En la ecuación (12),  $IU_{mj}$  representa IFLU e IMAU separadamente para cada unidad experimental  $j$ -ésima. La parte derecha de ecuación es igual a la descrita en (11).

En la fase III pasamos de indicadores de tercer nivel al índice de calidad ambiental urbana. Al igual que en la fase II, seleccionamos los indicadores que tienen correlación superior al 40% con el índice de componente estimado<sup>11</sup>. A los indicadores seleccio-

**Tabla 2.** Fase I: De indicadores de primer nivel a indicadores de segundo nivel.

| Ecuación                            | Hipótesis de relación lineal   |      |
|-------------------------------------|--|------|
| $Irsu_j = \sum_{j=1}^n W_i RS_{ij}$ | $\frac{\partial Irsu_j}{\partial RS_{1j}} < 0 ; \frac{\partial Irsu_j}{\partial RS_{2j}} > 0 ; \frac{\partial Irsu_j}{\partial RS_{3j}} < 0 ; \frac{\partial Irsu_j}{\partial RS_{4j}} > 0$  | (1)  |
| $Icen_j = \sum_{j=1}^n W_i CE_{ij}$ | $\frac{\partial Icen_j}{\partial CE_{1j}} > 0 ; \frac{\partial Icen_j}{\partial CE_{2j}} < 0 ; \frac{\partial Icen_j}{\partial CE_{3j}} > 0 ; \frac{\partial Icen_j}{\partial CE_{4j}} < 0 ; \frac{\partial Icen_j}{\partial CE_{5j}} < 0$ | (2)  |
| $Itra_j = \sum_{j=1}^n W_i TR_{ij}$ | $\frac{\partial Itra_j}{\partial TR_{1j}} < 0 ; \frac{\partial Itra_j}{\partial TR_{2j}} < 0 ; \frac{\partial Itra_j}{\partial TR_{3j}} < 0 ; \frac{\partial Itra_j}{\partial TR_{4j}} < 0$  | (3)  |
| $Icav_j = \sum_{j=1}^n W_i CV_{ij}$ | $\frac{\partial Icav_j}{\partial CV_{1j}} < 0 ; \frac{\partial Icav_j}{\partial CV_{2j}} > 0 ; \frac{\partial Icav_j}{\partial CV_{3j}} < 0$   | (4)  |
| $Iair_j = \sum_{j=1}^n W_i AI_{ij}$ | $\frac{\partial Iair_j}{\partial AI_{1j}} < 0 ; \frac{\partial Iair_j}{\partial AI_{2j}} < 0 ; \frac{\partial Iair_j}{\partial AI_{3j}} < 0 ; \frac{\partial Iair_j}{\partial AI_{4j}} < 0 ; \frac{\partial Iair_j}{\partial AI_{5j}} < 0$ | (5)  |
| $Iagu_j = \sum_{j=1}^n W_i AG_{ij}$ | $\frac{\partial Iagu_j}{\partial AG_{1j}} > 0 ; \frac{\partial Iagu_j}{\partial AG_{2j}} > 0 ; \frac{\partial Iagu_j}{\partial AG_{3j}} > 0$   | (6)  |
| $Irui_j = \sum_{j=1}^n W_i RU_{ij}$ | $\frac{\partial Irui_j}{\partial RU_{1j}} < 0 ; \frac{\partial Irui_j}{\partial RU_{2j}} < 0 ; \frac{\partial Irui_j}{\partial RU_{3j}} < 0$   | (7)  |
| $Isue_j = \sum_{j=1}^n W_i SU_{ij}$ | $\frac{\partial Isue_j}{\partial SU_{1j}} > 0 ; \frac{\partial Isue_j}{\partial SU_{2j}} > 0 ; \frac{\partial Isue_j}{\partial SU_{3j}} > 0 ; \frac{\partial Isue_j}{\partial SU_{4j}} < 0$  | (8)  |
| $Iepu_j = \sum_{j=1}^n W_i EP_{ij}$ | $\frac{\partial Iepu_j}{\partial EP_{1j}} < 0 ; \frac{\partial Iepu_j}{\partial EP_{2j}} > 0$  | (9)  |
| $Ibio_j = \sum_{j=1}^n W_i BI_{ij}$ | $\frac{\partial Ibio_j}{\partial BI_{1j}} > 0 ; \frac{\partial Ibio_j}{\partial BI_{2j}} > 0 ; \frac{\partial Ibio_j}{\partial BI_{3j}} > 0 ; \frac{\partial Ibio_j}{\partial BI_{4j}} > 0 ; \frac{\partial Ibio_j}{\partial BI_{5j}} > 0$ | (10) |

<sup>11</sup> Este mismo criterio se debe emplear en la aplicación de la DP<sub>2</sub>.

nados se les aplica el ACP (o  $DP_2$ ) y se estima la ecuación (13), resultando la ordenación de las unidades experimentales de acuerdo a los índices de calidad ambiental (ICA).

$$ICA_j = \frac{\sum_{i=1}^r Z_{ij} \cdot \sqrt{\lambda_r}}{\sum_{i=1}^r \sqrt{\lambda_r}} \quad (13)$$

La ecuación (13) representa el **índice sintético** de calidad ambiental, que en el período  $t=0$  indica la calidad ambiental relativa entre las distintas unidades experimentales<sup>12</sup>. Sin embargo, de forma dinámica, el índice puede indicar cambio del período  $t-1$  al período  $t$ , tal como lo expresa la ecuación (14).

$$\Delta ICA_j = \frac{ICA_{j,t} - ICA_{j,t-1}}{ICA_{j,t}} \begin{cases} > 0 \\ = 0 \\ < 0 \end{cases} \quad (14)$$

El resultado final del **índice de calidad ambiental** que se ha formulado en este artículo es una variable que recoge las características ambientales de los distintos sectores en que se puede subdividir una ciudad; en términos de Freeman (1993), una representación del nivel de calidad ambiental “agregada” del entorno  $Q_{ij}^*$ .

## 5. Aplicación del modelo en la ciudad de Cali (Colombia)<sup>13</sup>

### 5.1. Área de estudio

Cali es la segunda ciudad de Colombia, después de Bogotá, en importancia poblacional y económica. Tiene una superficie total de 560,26 km<sup>2</sup>, de los cuales el 78,4% es área rural y el 21,6%, superficie urbana.

El municipio de Cali tiene una población total de 2.316.655 habitantes, de los cuales el 95,4% vive en la zona urbana y sólo el 4,6% vive en el área rural. Esta asimétrica distribución poblacional entre el área urbana y rural indicaría *a priori* un alto grado de presión ambiental sobre el entorno de la zona urbana.

Desde el punto de vista de su división político-administrativa, la zona urbana de Cali está sectorizada en 21 comunas (figura 2). Esto ha 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.

Desde el punto de vista ambiental, son varias las iniciativas que se han desarrollado mediante esquemas de participación y representación social a nivel de comunas. Es el caso de los planes de desarrollo municipales en los últimos 12 años, el plan de ordenamiento territorial y más recientemente en las Agendas Ambientales elaboradas con un amplio proceso de participación comunitaria, que ha evolucionado hacia la conformación de Comités Ambientales por Comuna.

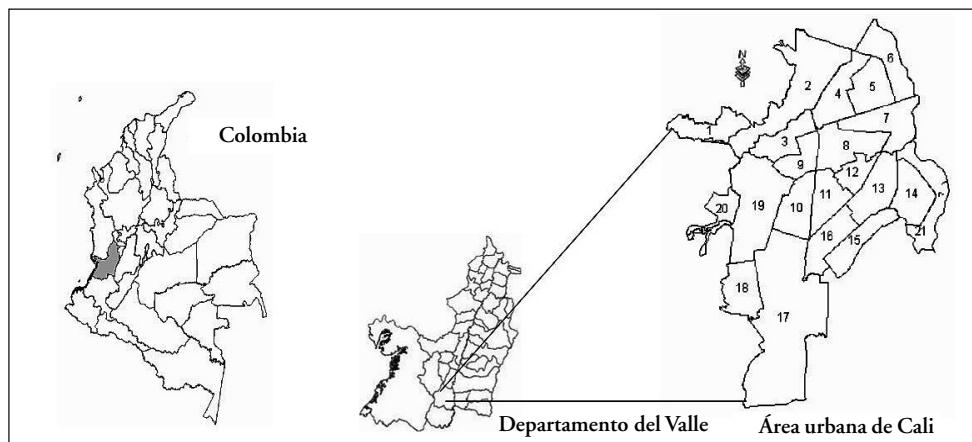
Actualmente en Cali el Departamento de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) está formulando, con la experiencia comunitaria de los Comités Ambientales, una iniciativa para definir el Sistema de Gestión Ambiental Municipal. Este sistema –y cualquiera iniciativa de planificación y gestión ambiental del territorio– demanda la construcción de un sistema de indicadores ambientales que revelen no sólo la línea base en las 21 comunas, sino que sirva de orientación al desarrollo de la gestión ambiental tanto a los tomadores de decisiones como a la sociedad en general (UNCED/CNUMA, 1992).

La organización de la información ambiental de múltiples fuentes oficiales ha sido organizada en este estudio para construir un sistema de indicadores ambientales sencillo que recoge la experiencia internacional y nacional. Esta información es procesada con base en el modelo presentado en la sección ante-

<sup>12</sup> Esto en el caso de síntesis de la información mediante el ACP, dado que con la  $DP_2$  lo que encontramos son las diferencias de calidad ambiental por comuna con respecto a un valor ideal, ya sea el estándar ambiental o un parámetro objetivo definido por los planificadores urbanos.

<sup>13</sup> La aplicación que presentamos en este artículo se refiere a los cálculos del ICA basados en el método de componentes principales. Para detalles de la aplicación de este método y el de  $DP_2$ , remitimos al lector a Escobar (2004).

Figura 2. Área urbana de las 21 comunas de Cali.



rior, que permite definir el **índice de calidad ambiental** para cada una de las 21 comunas de Cali.

### 5.2. Datos y fuentes de información

Este estudio demanda fuentes de información que proporcionen datos al nivel de agregación por comunas. Esta condición ya plantea ciertas dificultades para homogenizar las escalas de fuentes oficiales de datos, como las del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE); la información que para propósitos de planificación de las comunas ha recabado anualmente el Departamento de Planeación Municipal de Cali (DPMC) en el anuario *Cali en Cifras*; los datos derivados de las Agendas Ambientales por comuna publicados por el DAGMA; los datos de algunas entidades públicas, como las empresas de servicios públicos e información derivada de estudios ambientales desarrollados en la ciudad, como los modelos de dispersión de material particulado, ruido, aerosoles y panorama de riesgo por inundación.

La homogenización de las escalas de los datos que alimentarían el modelo de indicadores sintéticos presentado fue organizado elaborando una base de datos en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG) a nivel de comuna, para lo cual fue necesario desarrollar un modelo cartográfico (Bosque, 2000), a partir del cual se derivó la información de modelos de dispersión como el de material particulado (Plano 5-10 POT, 2002) a nivel de comunas. Todo el sistema de información ambiental y su georreferenciación tiene como año base el año 2002.

Aplicados los criterios para la selección de los indicadores idóneos para la construcción del índice de calidad ambiental, se encontraron 12 indicadores simples. De ellos, seis hacían parte de IFLU, y los restantes de IMAU.

Con la información organizada en el SIG se elaboró la línea base de todos los indicadores ambientales simples distribuidos en el espacio. Dado que el interés básico de este estudio es calificar y organizar jerárquicamente las comunas de acuerdo al ICA, se demanda la utilización de técnicas de análisis multivariados para sintetizar un conjunto de variables relacionadas que explican una **variable latente** como la calidad ambiental. En este estudio utilizamos el análisis de componentes principales<sup>14</sup>.

### 5.3. Procedimientos y resultados obtenidos

Siguiendo los criterios empleados para agregar la información de indicadores de primer nivel hasta el ICA, se encontró que, aplicando ACP en la segunda fase del modelo, todos los indicadores de primer ni-

<sup>14</sup> En este estudio también se ha aplicado otra técnica de análisis multivariado, denominada distancia  $P_2$  (Pena Trapero, 1977; Zarzosa, 1996). Aunque los resultados son parecidos a los obtenidos mediante ACP, esta técnica permite evaluar la calidad ambiental de cada una de las unidades experimentales con respecto a valores de referencia de la calidad ambiental. En este sentido su valoración no es relativa entre las unidades experimentales, sino de distancia a los denominados parámetros de calidad ambiental o metas de política ambiental que describan el comportamiento deseado de un parámetro.

vel tenían **comunalidades extraídas** superior al 60%, por lo tanto el ICA se estima con los 12 indicadores disponibles.

A continuación se resumen los pasos seguidos en la aplicación del ACP para el estudio de indicadores sintéticos.

- Se parte de un conjunto de 12 variables que conceptualmente responden al modelo de explicación de la variable latente, en este caso el ICA para cada unidad experimental.
- Se utilizan los datos estandarizados para el caso del ACP en la matriz de correlaciones.
- Se prueba 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.
- Se determina si existen datos ausentes, atípicos, etc., y define un procedimiento para su tratamiento en el modelo.
- Se organiza la base de datos de acuerdo al signo que teóricamente tiene cada variable (ver Tabla 2).
- Modelamos la base datos en SPSS para el ACP obteniendo los componentes principales y el conjunto de estimaciones que permitirán probar la consistencia de los resultados. Este paquete estadístico estima directamente los valo-

res de los componentes seleccionados –en este caso aquellos que tengan autovalores mayores o iguales a 1.

- Se estima el orden de las unidades experimentales, de acuerdo al procedimiento de agregación de componentes descrito en la sección 4.2.
- Se representan espacialmente los resultados, de tal forma que se puedan identificar patrones espaciales alrededor del índice de calidad ambiental por cada unidad experimental.

#### 5.3.1. El Índice de Flujo Urbano (IFLU)

Los seis indicadores de primer nivel que integran el IFLU son resumidos en dos componentes principales que explican el 71,76% de la varianza total explicada por los datos (Tabla 3). Las **comunalidades** indican el porcentaje de la varianza explicada contenida en los factores seleccionados. En este caso, todas son superiores al 40%, criterio que se ha adoptado para definir las variables que finalmente van a integrar el ICA.

Las cargas factoriales más significativas en la matriz de componentes principales, indican que el primer componente explica claramente la variabilidad de indicadores de **respuesta** al uso “común” de energía y disposición de residuos sólidos como cobertura de redes o infraestructura pública urbana (cobertura de energía, gas y aseo), y el segundo componente parece explicar los factores de **presión** sobre el entorno urbano, como densidad de vivienda, personas por vivienda y seguridad de tráfi-

Tabla 3. Resultados del análisis de componentes principales.

| Indicadores de primer nivel          | Componentes |         | Comunalidades  |
|--------------------------------------|-------------|---------|----------------|
|                                      | 1           | 2       |                |
| CE1. Cobertura de energía            | 0,933*      |         | 0,818          |
| RS2. Cobertura de recolección        | 0,879*      |         | 0,875          |
| CE3. Cobertura de gas                | 0,605*      |         | 0,413          |
| CV1. Personas por vivienda           |             | 0,873*  | 0,688          |
| CV3. Densidad de viviendas           |             | 0,779*  | 0,765          |
| TR2. Accidentes mortales de tránsito | -0,459*     | -0,691* | 0,747          |
| Autovalores                          | 2,361       | 1,945   | 4,306          |
| Varianza                             | 39,340      | 32,410  | Acum..: 71,76% |

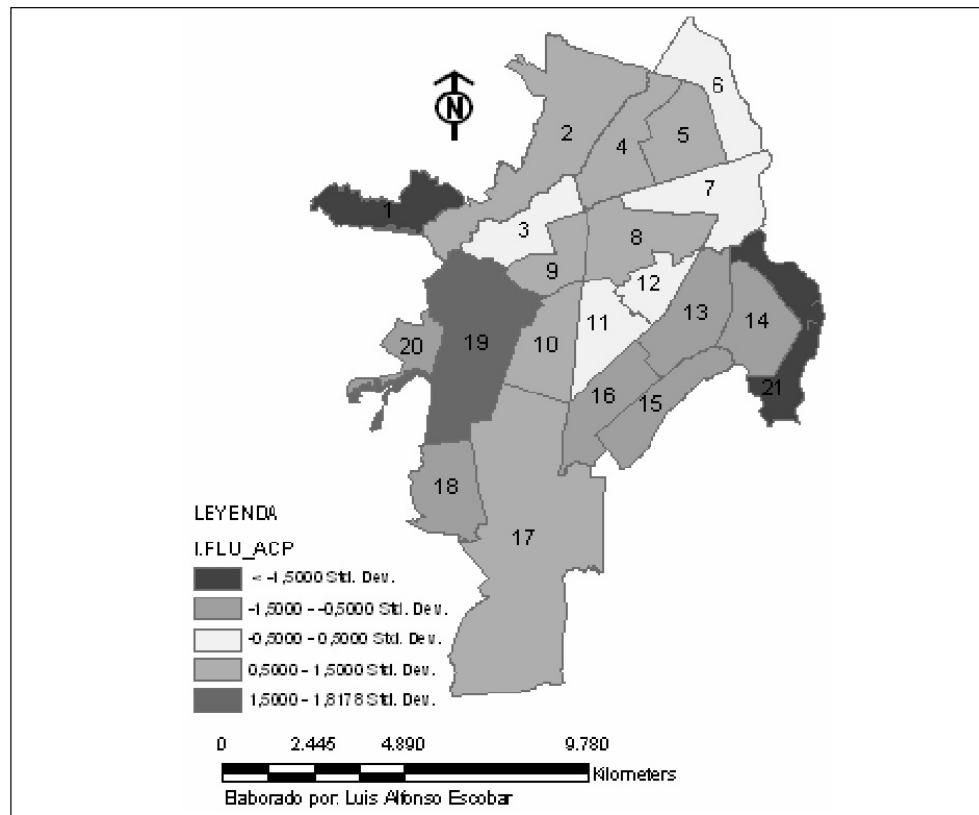
Método de Extracción: Análisis de Componentes Principales. Determinante = 5,322E-02

\*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.

Tabla 4. Índice de Flujo Urbano (IFLU).

| Comuna | Comp_1 | Comp_2 | IFLU   |
|--------|--------|--------|--------|
| 19     | 0,95   | 1,59   | 1,256  |
| 8      | 1,36   | 0,66   | 1,026  |
| 9      | 0,79   | 0,46   | 0,635  |
| 2      | -0,20  | 1,52   | 0,621  |
| 17     | -0,74  | 1,99   | 0,560  |
| 10     | 1,13   | -0,14  | 0,522  |
| 5      | 1,05   | -0,14  | 0,487  |
| 4      | 0,12   | 0,86   | 0,473  |
| 3      | -0,32  | 1,04   | 0,326  |
| 7      | 0,35   | -0,11  | 0,131  |
| 6      | 1,19   | -1,05  | 0,123  |
| 12     | 0,80   | -0,71  | 0,080  |
| 11     | 0,07   | -0,16  | -0,038 |
| 16     | -0,62  | -0,23  | -0,434 |
| 13     | -0,01  | -1,03  | -0,492 |
| 18     | -0,31  | -0,70  | -0,497 |
| 14     | 0,13   | -1,69  | -0,738 |
| 15     | -0,90  | -0,71  | -0,810 |
| 20     | -0,51  | -1,38  | -0,922 |
| 1      | -1,70  | -0,33  | -1,047 |
| 21     | -2,63  | 0,24   | -1,260 |

Figura 3. Distribución espacial del IFLU.



co, este último con signo negativo que refleja su aporte adverso al IFLU<sup>15</sup>.

En la Tabla 4 presentamos los factores o componentes calculados para cada una de las 21 comunas de la ciudad de Cali, y se determinan para ellas el IFLU, con base en el procedimiento de agregación ponderada de cada uno de los factores estimados (ver ecuación 12). El resultado final es la ordenación de las comunas de acuerdo al valor que resulta del índice parcial estimado. Éste se distribuye espacialmente como se observa en la Figura 3.

### 5.3.2. El Índice de Medio Ambiente Urbano (IMAU)

Los seis indicadores del IMAU son resumidos en tres componentes principales que explican el 90,50% de la varianza total explicada por los datos (Tabla 5). Al igual que en la sección 5.1, las **comunalidades** indican valores superiores al 40%, por lo tanto, todos los indicadores de primer nivel deben integrar el cálculo del ICA.

Las cargas factoriales más significativas en la matriz de componentes principales indican que el pri-

Tabla 5. Resultados del análisis de componentes principales rotada.

| Indicadores de primer nivel                | Componentes |        |        | Comunalidades |
|--|-------------|--------|--------|---------------|
|  | 1           | 2      | 3      |               |
| AG1. Cobertura de agua                     | 0,992       |        |        | 0,996         |
| AG2. Cobertura de alcantarillado           | 0,984       |        |        | 0,995         |
| SU1. Área urbanizable sin construir        |             | 0,942  |        | 0,912         |
| SU3. Densidad área verde                   |             | 0,884  |        | 0,866         |
| AI4. Concentración de material particulado |             |        | -0,936 | 0,898         |
| BI1. Densidad de árboles                   |             | -0,526 | 0,673  | 0,763         |
| Autovalores                                | 2,305       | 2,080  | 1,045  | 5,430         |
| Varianza                                   | 38,410      | 34,670 | 17,420 | Acum: 90,50%  |

Método de Extracción: Análisis de Componentes Principales. Método de Rotación: Varimax con Normalización Káiser. Determinant = 1,341E-03.

Tabla 6. Índice de Medio Ambiente Urbano (IMAU).

| Comuna | Comp_1 | Comp_2 | Comp_3 | IMAU   |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 17     | -0,42  | 3,09   | 0,74   | 1,148  |
| 19     | 1,04   | 1,01   | 1,13   | 1,052  |
| 5      | 1,31   | 1,22   | -0,62  | 0,781  |
| 2      | -0,57  | 0,82   | 1,62   | 0,494  |
| 10     | 0,99   | -0,48  | 0,99   | 0,457  |
| 6      | 1,28   | 0,28   | -0,97  | 0,338  |
| 8      | 1,07   | -0,72  | 0,29   | 0,221  |
| 7      | 0,53   | 0,02   | -0,66  | 0,040  |
| 3      | -0,70  | -0,04  | 1,04   | -0,013 |
| 4      | -0,22  | -0,50  | 0,96   | -0,017 |
| 11     | -0,15  | -0,27  | 0,44   | -0,040 |
| 12     | 0,71   | -0,53  | -0,48  | -0,043 |
| 14     | 0,76   | 0,22   | -1,76  | -0,082 |
| 9      | 0,26   | -1,20  | 0,96   | -0,089 |
| 16     | -0,46  | -0,45  | -0,19  | -0,391 |
| 15     | -0,81  | 0,71   | -1,35  | -0,401 |
| 20     | -0,19  | -1,18  | 0,22   | -0,443 |
| 13     | -0,17  | -0,27  | -1,25  | -0,483 |
| 18     | -0,77  | -1,20  | 0,89   | -0,500 |
| 21     | -0,43  | -0,82  | -1,18  | -0,763 |
| 1      | -3,04  | 0,27   | -0,80  | -1,266 |

<sup>15</sup> Muchos autores afirman que no siempre los componentes pueden tener una explicación directa; en este caso, los dos componentes seleccionados son consistentes con la explicación de dos grupos de variables claramente expresadas por su grado de correlación.

mer componente explica claramente la variabilidad de indicadores de **respuesta** a los problemas de disposición de agua potable y recolección de aguas residuales mediante un sistema público de redes urbanas (cobertura de agua y alcantarillado); el se-

gundo componente explica variables de **estado** que describen la disponibilidad de área verde en cada unidad experimental, y el tercer componente también refleja la variabilidad de indicadores de **estado** como la disponibilidad de árboles y la

Figura 4. Distribución espacial del IMAU.

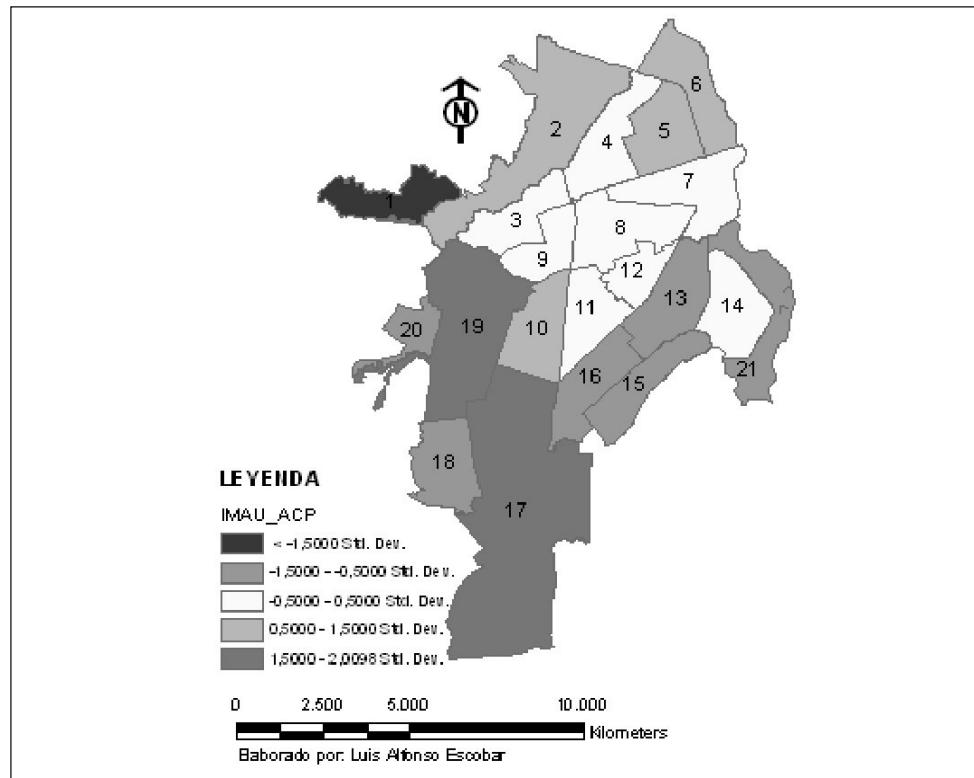


Tabla 7. Resultados del análisis de componentes principales rotada.

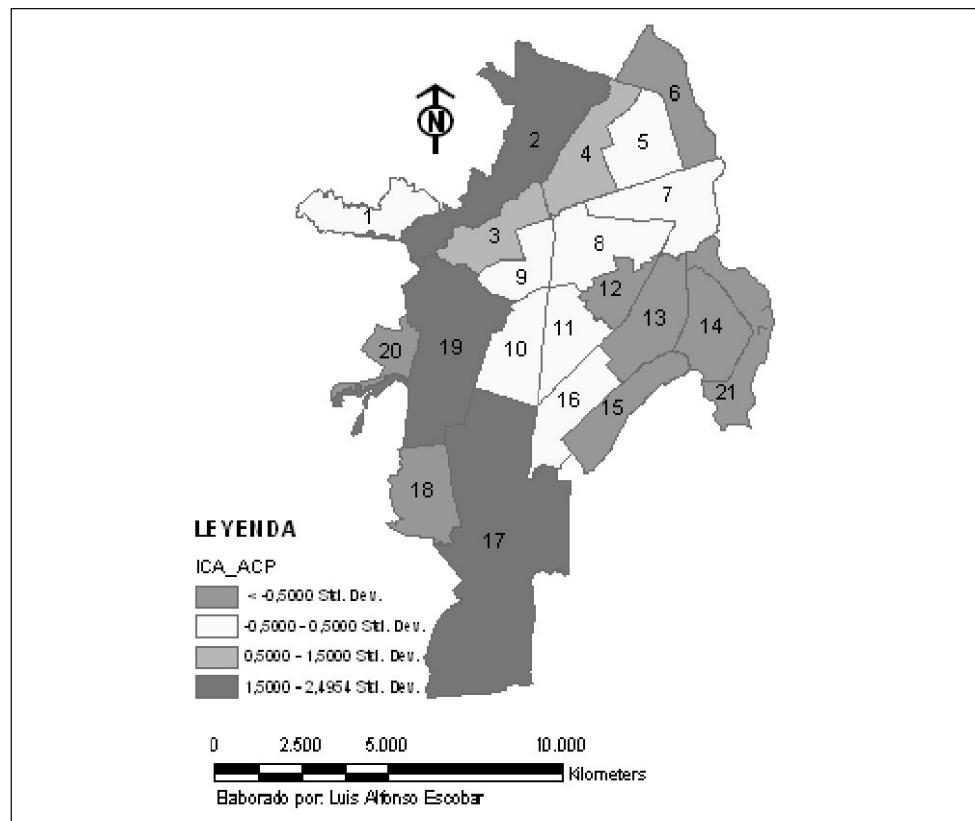
| Indicadores de primer nivel                | Componentes |        |        | Comunalidades |
|--|-------------|--------|--------|---------------|
|  | 1           | 2      | 3      |               |
| AG1. Cobertura de agua                     | 0,934       |        |        | 0,842         |
| AG2. Cobertura de alcantarillado           | 0,912       |        |        | 0,891         |
| CE1. Cobertura de energía                  | 0,898       |        |        | 0,822         |
| RS2. Cobertura de recolección              | 0,808       |        |        | 0,716         |
| CE3. Cobertura de gas                      | 0,625       |        |        | 0,437         |
| CV3. Densidad de viviendas                 | -0,400      | 0,767  |        | 0,774         |
| BI1. Densidad de árboles                   |             | 0,735  | 0,482  | 0,829         |
| CV1. Personas por vivienda                 |             | 0,722  | 0,583  | 0,861         |
| AI4. Concentración de material particulado |             | -0,780 |        | 0,678         |
| TR2. Accidentes mortales de tránsito       |             | -0,676 |        | 0,616         |
| SU1. Área urbanizable sin construir        |             |        | 0,959  | 0,934         |
| SU3. Densidad área verde                   |             |        | 0,824  | 0,833         |
| Autovalores                                | 4,285       | 3,516  | 1,432  | 9,233         |
| Varianza                                   | 35,710      | 29,300 | 11,930 | Acum.: 76,94% |

Método de Extracción: Análisis de Componentes Principales. Método de Rotación: Varimax con Normalización Káiser. Determinant = 3,134E-08.

Tabla 8. Índice de Calidad Ambiental (ICA).

| Comuna | Comp_1  | Comp_2  | Comp_3  | ICA     |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 17     | -0,6979 | 1,0723  | 2,8467  | 1,0535  |
| 2      | -0,4023 | 1,4658  | 0,9124  | 0,7469  |
| 19     | 0,8594  | 1,5400  | 0,6748  | 0,7186  |
| 3      | -0,6311 | 1,1706  | -0,1885 | 0,3830  |
| 4      | -0,1588 | 1,1279  | -0,6132 | 0,2686  |
| 5      | 1,3888  | -0,7945 | 1,6343  | 0,0906  |
| 8      | 1,0864  | 0,8221  | -0,8589 | 0,0999  |
| 9      | 0,4473  | 1,0097  | -1,2986 | 0,0660  |
| 10     | 1,1804  | 0,4357  | -0,4442 | 0,0555  |
| 11     | 0,0468  | 0,0628  | -0,1885 | -0,0210 |
| 7      | 0,3651  | -0,2265 | -0,1413 | -0,1155 |
| 16     | -0,5408 | -0,2611 | -0,3384 | -0,1740 |
| 1      | -2,4026 | -0,6531 | 0,1875  | -0,1945 |
| 18     | -0,4257 | 0,0921  | -1,0958 | -0,2214 |
| 21     | -1,8509 | -0,2881 | -0,6494 | -0,2562 |
| 15     | -0,7571 | -1,3899 | 0,9340  | -0,2895 |
| 12     | 0,8070  | -0,5036 | -0,5670 | -0,3156 |
| 6      | 1,4389  | -1,2294 | 0,4760  | -0,3376 |
| 20     | -0,2570 | -0,5068 | -1,2332 | -0,4718 |
| 13     | -0,0569 | -1,1294 | -0,2844 | -0,4781 |
| 14     | 0,5609  | -1,8166 | 0,2357  | -0,6076 |

Figura 5. Mapa de distribución espacial del ICA.



calidad del aire, esta última con signo negativo que refleja su aporte adverso al IMAU.

En la Tabla 6 presentamos los factores calculados para cada una de las 21 comunas de la ciudad de Cali y se determinan para ellas el IMAU aplicando la ecuación 12. El resultado final es la ordenación de las comunas de acuerdo al IMAU, que se distribuye espacialmente como se observa en la Figura 4.

### 5.3.3. El Índice de Calidad Ambiental (ICA)

Esta última fase de la aplicación del modelo es la síntesis de la información contenida en las 12 variables seleccionadas para construir el ICA. Básicamente se ha pasado de indicadores simples a indicadores de sintéticos de componentes (IFLU e IMAU)<sup>16</sup>, y por último, al indicador sintético global (ICA), que resume en tres componentes el 76,94% de toda la información (la varianza) contenida en las variables incorporadas.

Los componentes extraídos se expresan en cargas factoriales que tienen un sentido que orienta el análisis de grupos de indicadores simples como explicación de la variable latente ICA. El primer componente se refiere a indicadores de **respuesta** a eventuales problemas de abastecimiento de agua potable y disposición de aguas residuales, recolección de residuos sólidos y abastecimiento de energía y gas, indicando un impacto positivo de estas variables en el ICA. El componente dos no tiene un significado completamente claro, pero se destaca el que expresa el sentido negativo que teóricamente se le había asignado a la concentración de material particulado y a las muertes por accidentes de tráfico automotor sobre el ICA. El tercer componente explica variables de **estado** que describen la disponibilidad de área verde en cada unidad experimental y se relacionan positivamente con el ICA.

En la Tabla 8 presentamos los factores calculados para cada una de las 21 comunas de la ciudad de Cali y se estima el ICA aplicando la ecuación 13. El resultado final es la ordenación de las comunas de acuerdo al indicador sintético de calidad ambiental, que se distribuye espacialmente como se observa en la figura 5.

<sup>16</sup> Los indicadores sintéticos de las 10 áreas temáticas no se han estimado porque la disponibilidad de información no ha sido suficiente para realizar ACP a cada uno de ellos.

La distribución espacial del **índice de calidad ambiental** por comunas en Cali indica zonas que pueden ser, a este nivel de agregación, definidas como relativamente homogéneas. Este mapa indica cómo en la medida que la ciudad se extiende hacia el oriente y occidente, la calidad ambiental va disminuyendo conforme llega a la periferia de las zonas de ladera (oriente) y los márgenes del Río Cauca (occidente). Coincide la menor calidad ambiental con las zonas socioeconómicas más deprimidas de la ciudad; por ejemplo, la zona del distrito de Aguablanca (comunas 13, 14, 15 y 21) y en el nor-occidente la comuna 6, influenciada por la contaminación exportada del parque industrial de Acopi-Yumbo, un municipio contiguo a Cali.

Las comunas 18 y 20 son generalmente barrios ubicados en zona de ladera y cuyo desarrollo no ha sido planificado, presentando los peores indicadores de las variables que componen el ICA.

En general, la distribución espacial de la calidad ambiental de las comunas muestra cuatro grandes áreas relativamente homogéneas, que se diferencian con respecto al valor promedio del índice. Es decir, que en la medida que el valor del índice es superior o inferior al promedio (de acuerdo al sentido de cada indicador simple en el índice), éste tiende a mostrar mejor o peor calidad ambiental.

- Calidad ambiental muy buena: comunas 2, 17 y 19.
- Calidad ambiental buena: comunas 3 y 4.
- Calidad ambiental regular: comunas 5, 7, 8, 9, 10, 11, 16 y 1.
- Calidad ambiental deficiente: comunas 6, 12, 13, 14, 15, 21, 18 y 20.

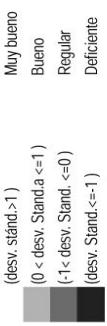
Desde el punto de vista de la gestión ambiental urbana, el modelo y los resultados presentados en este estudio son una importante herramienta para diferenciar la gestión de los tomadores de decisión en la ciudad como territorio ambientalmente no homogéneo, de tal forma que puedan objetivamente priorizar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

**Tabla 9.** Priorización de las variables que inciden en el ICA de las 21 comunas de Cali según zonas ambientalmente homogéneas.

| ESTRUCTURA DE CORRELACIÓN<br>INDICADORES SIMPLES | ICA     | COMUNAS*                |       |       |       |       |       |                           |       |       |       |       |       | CALIDAD AMBIENTAL DEFICIENTE |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|---------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  |         | CALIDAD AMBIENTAL BUENA |       |       |       |       |       | CALIDAD AMBIENTAL REGULAR |       |       |       |       |       |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  |         | 17                      | 2     | 19    | 3     | 4     | 5     | 8                         | 9     | 10    | 11    | 7     | 16    | 1                            | 18    | 21    | 15    | 12    | 6     | 20    | 13    | 14    |
| Densidad de personas por vivienda                | 0.9220  | 1.93                    | 2.00  | 1.52  | 1.14  | 0.30  | 0.98  | -0.04                     | 0.26  | 0.05  | -0.34 | -0.78 | -0.75 | -0.82                        | -0.35 | -0.06 | -0.40 | -1.36 | -0.49 | -1.07 | -0.81 | -1.26 |
| Densidad de árboles por Ha.                      | 0.8788  | 1.21                    | 2.52  | 1.57  | 0.18  | 0.91  | 0.65  | 0.46                      | -0.28 | 0.44  | 0.44  | -0.27 | -0.57 | -0.43                        | -0.92 | -1.05 | -0.95 | -0.11 | -0.24 | -1.38 | -1.12 | -1.05 |
| Densidad de viviendas por Ha.                    | 0.7332  | 1.77                    | 1.01  | 1.08  | 0.92  | 0.93  | -0.56 | 0.41                      | 0.21  | -0.57 | -0.64 | 0.90  | -0.07 | 0.87                         | -0.01 | 0.73  | -1.48 | -0.67 | -1.93 | -0.48 | -1.41 | -1.00 |
| Densidad de área verde                           | 0.7500  | 3.99                    | 0.64  | 0.88  | 0.22  | -0.34 | 0.24  | -0.55                     | -0.60 | -0.40 | -0.38 | -0.10 | -0.37 | -0.07                        | -0.33 | -0.54 | -0.09 | -0.53 | -0.33 | -0.55 | -0.33 | -0.30 |
| Calidad del aire                                 | -0.5832 | -0.61                   | -0.76 | -1.13 | -1.23 | -0.54 | 0.42  | -0.03                     | -1.19 | -1.27 | -0.29 | 0.66  | 0.12  | 1.43                         | -1.34 | 1.49  | 1.00  | 0.69  | 0.72  | -0.79 | 1.15  | 1.49  |
| Muertes por tráfico                              | -0.5726 | -0.53                   | -0.10 | -1.92 | -0.74 | -0.85 | 1.08  | -1.71                     | -1.17 | -0.42 | -0.31 | 0.12  | 0.33  | 1.19                         | 1.40  | 1.08  | 0.44  | -0.42 | -0.10 | 1.40  | -0.20 | 1.40  |
| Área urbanizable constituida                     | 0.4124  | 2.34                    | 0.42  | 0.90  | 0.15  | -0.79 | 1.62  | -1.16                     | -1.29 | -0.40 | -0.24 | -0.06 | -0.35 | 0.41                         | -0.99 | -1.16 | 1.49  | -0.82 | 0.54  | -0.99 | -0.12 | 0.49  |
| Cobertura de gas*                                | 0.2045  | 0.08                    | 0.17  | -0.47 | -1.17 | 0.55  | 1.84  | 1.05                      | -0.07 | 0.90  | 1.02  | 0.41  | 0.89  | -1.24                        | -0.53 | -1.26 | -0.53 | 1.20  | 0.93  | -1.26 | -1.26 | -1.26 |
| Cobertura de aguas*                              | -0.1977 | -1.35                   | -1.09 | 0.86  | 0.01  | -0.10 | 0.86  | 0.86                      | 0.79  | 0.86  | -0.48 | 0.86  | -1.10 | -1.03                        | 0.22  | -2.69 | -0.69 | 0.39  | 0.86  | 0.86  | 0.27  | 0.86  |
| Cobertura de alcantarillado*                     | 0.1088  | -0.22                   | -0.48 | 1.12  | 0.51  | -0.10 | 1.12  | 1.12                      | 0.48  | 1.12  | -0.09 | 0.45  | -0.42 | -3.16                        | -0.52 | -0.73 | -1.00 | 0.68  | 1.12  | 0.02  | -0.35 | 0.39  |
| Cobertura de energía*                            | 0.1005  | -0.67                   | 0.43  | 0.99  | -0.32 | -0.24 | 1.05  | 1.05                      | 0.68  | 1.05  | -0.42 | 0.22  | -0.94 | -1.50                        | 0.22  | -2.50 | -1.45 | 0.53  | 1.05  | -0.43 | 0.14  | 1.05  |
| Cobertura de acueducto*                          | 0.0368  | -0.44                   | -0.51 | 1.10  | -0.58 | -0.13 | 1.11  | 1.11                      | 0.44  | 1.11  | -0.14 | 0.44  | -0.49 | -3.16                        | -0.58 | -0.32 | -1.05 | 0.65  | 1.11  | -0.07 | -0.25 | 0.66  |

\* Los valores indican el número de desviaciones con respecto a la media de cada indicador y los tonos de blanco a grisces 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 la desviación estandar de esta tabla aquellas variables que en el ICA inciden de forma negativa (densidad de personas, densidad de viviendas, calidad del aire, accidentes de tráfico y área urbanizable construida) les fue cambiado el signo. Por ello intuitivamente para esta variable el valor positivo se debe interpretar como el numero de desviaciones estandar inferiores al promedio.



Para precisar aún más lo expresado en el párrafo anterior, en la Tabla 9 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. De otro lado, también se describen, para cada comuna, cuáles son las variables que más inciden en la modificación del ICA, identificando el número de desviaciones estándar de cada variable en cada comuna, que se aleja positiva o negativamente con respecto a la media. De esta forma, los tomadores de decisiones tienen información útil no sólo para priorizar la intervención por comunas o distintos sectores de la ciudad, sino que pueden priorizar sobre qué variables o factores intervenir en cada una de ellas de manera específica.

En la Tabla 9 puede observar, por ejemplo, cómo en las comunas que tienen una calidad ambiental muy buena, los problemas ambientales urbanos más relevantes<sup>17</sup> están asociados a la calidad del aire y a los accidentes mortales de tránsito por el flujo automotor. Esto es consistente con lo que se esperaría *a priori* en un conjunto de barrios de altos niveles de ingresos y un flujo alto de actividad comercial y cultural, como es el caso de estas tres comunas. En este sentido, la gestión ambiental debería estar dirigida principalmente al control de las fuentes de emisión móvil, dado que se ha encontrado una alta correlación espacial entre el desarrollo de las principales vías urbanas y la distribución espacial de la contaminación por material particulado. Por otro lado, la gestión debería estar dirigida también a la educación ciudadana para prevención de accidentes de tránsitos.

En la zona con calidad ambiental buena, se destaca que en estas comunas los problemas son similares a los presentados por la zona anterior, pero se incluyen problemas que pesan considerablemente en la calificación del índice, como es el caso de la densidad de área verde por habitante y la proporción del espacio edificado del territorio.

Las zonas de calidad ambiental regular y deficiente están principalmente determinadas por los bajos valores de las variables, como densidad de ár-

boles por persona, densidad de vivienda por hectárea y densidad de área verde por persona, con valores que se alejan considerablemente del promedio registrado en la ciudad.

Un análisis pormenorizado de cada una de las comunas, no sólo por el orden que ocupan en términos del ICA, sino de la relación de éste con las variables que lo determinan, permiten que el tomador de decisión tenga una “fotografía” detallada de las condiciones ambientales de la ciudad para hacer una planificación cuidadosa y diferenciada de las medidas de gestión a emplear, de tal forma que el impacto social de la inversión pública sea mayor que homogenizando la intervención ambiental en toda la ciudad.

## 6. Conclusión

En términos generales, los resultados de este estudio indican que, tal como se había previsto, las condiciones de calidad ambiental en una ciudad son heterogéneas, y se ha logrado representar en el espacio geográfico el valor que tiene cada unidad experimental, determinando finalmente un conjunto de comunas que comparten valores del índice de calidad ambiental similares y que pueden ser clasificadas como relativamente homogéneas de acuerdo al índice de calidad ambiental estimado.

La importancia operativa de estos resultados indican que se ha construido un importante instrumento para la definición de política pública en materia de medio ambiente urbano, con la cual se puede diferenciar espacialmente el grado de intervención pública en las diversas zonas y establecer criterios de prioridad en la asignación de recursos. Es decir, que el tomador de decisiones tiene una herramienta cuantitativa importante que le permite diferenciar qué factores ambientales son más importantes en cada una de las comunas y dirigir su gestión e inversión allí donde genere el mayor impacto. También son una importante herramienta para definir el estado o línea base de la situación ambiental de cada una de las comunas, con fines 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 ha demandado la construcción de un sistema de

<sup>17</sup> Es decir, para el caso de esta variable son valores superiores al valor de referencia promedio de contaminación por material particulado, lo cual es consistente con los registros presentados en estas comunas.

indicadores ambientales coherente y conceptualmente consistente con lo que se ha intentado representar: una medida cuantitativa del valor relativo de las condiciones ambientales de las unidades experimentales.

Creemos que el 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 zonas urbanas y a la escala de análisis que se desarrolló en esta investigación.

## 7. Referencias bibliográficas

- Bosque, J. (2000). *Sistema de información geográfico*. Madrid: Ediciones Rialp.
- Castro, J. M. (2002). *Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía*. Tesis doctoral. Málaga: Universidad de Málaga.
- Consejería de Medio Ambiente (2001). *Bases para un sistema de indicadores de medio ambiente urbano en Andalucía*. Sevilla: CMA.
- \_\_\_\_\_ (2003). “Guía metodológica para el cálculo de indicadores de sostenibilidad local en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Indicadores de Agenda Local 21”. CMA, Serie Programa Marco Ambiental, 20.
- Dixon, J. y L. Segnestamet (2002). *Environmental indicators: An overview of selected initiatives at the World Bank*. The World Bank Environment Department (mimeo).
- Ebert U. y H. Welsch (2003). “Meaningful environmental indices: a social choice approach”. *Journal Environmental Economics and Management*, 47: 270-283.
- EEA/AMAE (1995). *Europe's environment: The Dobris' assessment*. Luxembourg: European Environment Agency-Office for Official Publications of the European Communities.
- \_\_\_\_\_ (2002). “Towards an urban atlas: Assessment of spatial data on 25 European cities and urban areas”. *Environmental issue report*, 30. Copenhagen.
- EUROSTAT (1998). “Indicadores de desarrollo sostenible. Estudio piloto según la metodología de la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas”. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas
- \_\_\_\_\_ (2000). *Toward environmental pressure indicators for the EU*. Luxembourg: European Environment Agency-Office for Official Publications of the European Communities.
- Escobar, L. A. (2004). *Índices de calidad ambiental urbana: un modelo general y caso aplicado a Cali, Colombia*. Universidad de Alcalá de Henares (mimeo).
- Freeman III, M. A. (1993). *The measurement of environmental and resource values: Theory and methods. Resources for the future*. Washington, D.C. (mimeo).
- Hyatt, E. (2001). “Editorial”. *Ecological Indicators*, 1: 1-2.
- Jesinghaus, J. (1999). “Indicators for Decision-Making”. European Commission, JRC/ISIS/MIA, TP 361, I-21020 Ispra (VA).
- McMahon S.K (2002). “The development of quality of life indicators –a case study from the City of Bristol, UK”. *Ecological Indicators*, 2: 177-185.
- MMA (1996). *Indicadores ambientales. Una propuesta para España*. Madrid: Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente.
- \_\_\_\_\_ (2000). “Sistema español de indicadores ambientales: Área de medio urbano”. Madrid: Centro de Publicaciones, Ministerio de Medio Ambiente.
- OCDE (1978). “Urban environmental indicators”. París: OCDE.
- \_\_\_\_\_ (1990). “Environmental Policies for cities in the 1990s”. París: OCDE.
- \_\_\_\_\_ (1993). “OECD core set of indicators for environmental performance reviews”. *Environment Monographs*, 83.
- \_\_\_\_\_ (1997). *Better understanding our cities. The role of urban indicators*. París (mimeo).
- \_\_\_\_\_ (2000). *Frameworks to measure sustainable development: An OECD expert workshop*. París (mimeo).
- \_\_\_\_\_ (2001). “Sustainable development: Critical issues”. París (mimeo).
- Peña Trápero, J. B. (1977). *Problemas de la medición del bienestar y conceptos afines. Una aplicación al caso español*. Madrid: INE.
- Pender, A., L. Dunne y F. Convery (2000). “Environmental indicator for the urban

- environment: A literature review". *Working papers, Environmental studies Research series*. Dublin: University College.
- Peters, W. S. y J. Q. Butler (1970). "The construction of regional economic indicators by principal components". *Annals of Regional Science*, 4: 1-14.
- Quiroga, R. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas*. Santiago: CEPAL.
- Secretariat Técnica de la Xarxa de Ciutats I Pobles cap a la Sostenibilitat (2000). "System of local sustainability indicators". Barcelona: Diputació de Barcelona, Server de Medi Ambient.
- Segnestam, L. (2002). "Indicators of environment and sustainable development: Theories and practical experience". *Environmental Economics Series*. 89, The World Bank Environment Department.
- Shi, C., S.M. Hutchinson y S. Xu (2004). "Evaluation of coastal zone sustainability: an integrated approach applied in Shanghai Municipality and Chong Ming Island". *Journal of Environmental Management*, 1-10.
- UNCED/CNUMA (1987). *Our common future. Report of the United Nations Commission on environment and development*. Oxford: Oxford University Press.
- UNCED/CNUMA (1992). "Agenda 21". *Report of the United Nations Conference on Environment and Development*. Rio de Janeiro, 3-14 June. New York: UNCED/CNUMA.
- UNCHS/HABITAT (1997). *Monitoring human settlements with urban indicators*. Nairobi: Global Urban Observatory-Centre for Human Settlements (Habitat).
- \_\_\_\_\_. (1999). *State of the World's cities: 1999*. Nairobi: UNCHS/HABITAT.
- \_\_\_\_\_. (2000). *The Urban Environmental Forum 2000. Summary report*. UNEP/UNCHS.
- United Nations Commission on Sustainable Development (2000). Report of the consultative group to identify themes and core indicators of sustainable development. New York: UNCSD.
- \_\_\_\_\_. (2001). "Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies". *CSD. Background Paper*, 3. New York: UNCSD.
- UNEP/PNUMA (2001). "Informe sobre los indicadores ambientales y de la sustentabilidad en América Latina y el Caribe". *XIII Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe*. Nueva York: UNEP/LAC-IG.XIII/Inf.4.
- Velásquez, L. S. (2001). *Indicadores de gestión urbana. Los observatorios urbano-territoriales para el desarrollo sostenible*. Manizales: CEPAL, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos (LC/L.1483-P).
- Zarzosa, P. (1996). *Aproximación a la medición del bienestar social*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Zarzosa, F. y P. Zarzosa (1994). *Programa de cálculo del "Indicador Sintético de Distancia DP<sub>2</sub>" para medir el bienestar social*. Número de Registro 655, Registro provincial de la propiedad intelectual de Valladolid.

## ANEXO

**Tabla 1.** Evolución y contenido de los principales reportes, documentos o planes de acción ambientales a nivel mundial.

| Fecha | Título  | Responsabilidad                        | Autor/editor  | Tipo de documento | Modelo/<br>descripción  |
|-------|---|--|---|-------------------|---|
| 1987  | Informe Brundtland:<br>Nuestro Futuro Común   | Naciones Unidas<br>(UNCED/<br>CNUMA)   | World Commission<br>on Environment and<br>Development | Reporte           | Introduce el concepto de desarrollo sostenible como “el desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.   |
| 1992  | Conferencia sobre Ambiente y Desarrollo       | Naciones Unidas<br>(UNCED/<br>CNUMA)   |   | Conferencia       | Engloba el problema a nivel mundial, contribuyendo significativamente a una nueva visión del concepto y políticas de desarrollo sostenible. Los resultados de la conferencia consisten en cinco documentos oficiales:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- Declaración de Río.</li> <li>- Convención de Biodiversidad</li> <li>- Convención del Clima.</li> <li>- Principios Forestales.</li> <li>- Agenda Local 21.</li> </ul> El énfasis de la Agenda Local 21 en el artículo 28 se relaciona con las autoridades locales y la base para el proceso de consolidación de las ciudades y pueblos sostenibles. El artículo 40 se refiere a la necesidad de disponer de información adecuada para el monitoreo, evaluación y seguimiento de la sostenibilidad del desarrollo. De aquí se desarrolla la necesidad de indicadores ambientales. |
| 1993  | Estrategia Global para la Salud y el Ambiente | Proyecto de Ciudades Saludables        | World Health Organization (WHO/OMS)                   | Publicación       | Publicación basada en la relación entre salud, ambiente y desarrollo urbano y se hace un fuerte énfasis en la participación de la población.  |
| 1997  | Habitat II                                    | Naciones Unidas<br>(UNCED/<br>HABITAT) | UN  | Conferencia       | Segunda conferencia de UN en Estambul. Organizada para conocer los problemas del desarrollo humano a nivel mundial.   |

Fuente: adaptado de EEA/AMAE (2002).

Tabla 2. Evolución y contenido de los principales reportes, documentos o planes de acción ambientales en Europa.

| Fecha | Título  | Responsabilidad                 | Autor o editor                   | Tipo de documento | Descripción   |
|-------|---|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|---|
| 1987  | 4ºo. Programa de Acción Ambiental                                 | Unión Europea (UE)              |                                  | Programa          | Introduce por primera vez una aproximación integrada al ambiente urbano a escala europea. Se define el Plan de Acción Ambiental (1987-1992).  |
| 1990  | Libro verde sobre ambiente urbano                                 | Comisión Europea                | Comisión Europea                 | Comunicación      | Este libro fue un hito sobre ambiente urbano. Porque constituyó el primer camino hacia el debate e investigación sobre ambiente urbano y calidad de vida en la Unión Europea. En este informe se describieron los principales problemas ambientales urbanos, demandando la necesidad de integrar la planificación y gestión urbana de los problemas ambientales. De aquí se deduce la necesidad de monitorear y evaluar las condiciones ambientales de las ciudades.  |
| 1991  | Grupo de Expertos en Medio Ambiente Urbano de la Comisión Europea | Comisión Europea (CCE)          |                                  | Grupo asesor      | Este grupo está compuesto por especialistas independientes, gobernantes y expertos en el tema ambiental urbano. El propósito de su creación era generar estrategias de planificación del uso de la tierra incorporando objetivos ambientales. Recientemente su trabajo ha evolucionado con la creación de grupos de trabajo específicos.  |
| 1992  | Tratado sobre la Unión Europea (Maastricht Treaty)                | Unión Europea (EU)              |                                  | Tratado           | En el artículo 2 se introduce como objetivo el crecimiento sostenible, donde se manifiesta que "la Comunidad tendrá por misión promover [...] un crecimiento sostenible y no inflacionista que respete el medio ambiente".  |
| 1992  | 5ºo. Programa de Acción Ambiental                                 | Unión Europea (EU)              |                                  | Programa          | Desarrolla la Agenda Ambiental 1993-2000 definiendo la política de la Unión Europea para la sostenibilidad.   |
| 1993  | La Evaluación DOBRIS: Sobre el Ambiente Europeo                   | Agencia Ambiental Europea (EEA) | EEA                              | Reporte           | Reporte sobre el estado del ambiente en Europa, preparado para la Conferencia de Sofía. Contiene un análisis detallado sobre el estado de ambiente en las zonas urbanas europeas. Los cuadros estadísticos subyacente del capítulo sobre medio ambiente urbano figuran en el segundo volumen titulado <i>Europe's environment – Statistical Compendium for DOBRIS assessment</i> (EEA, 1993b).  |
| 1994  | Carta Aalborg   | ICLEI                           | Conferencia organizada por ICLEI | Carta o mandato   | Parte de la formulación de los principios de la Agenda Local 21 y fue establecida como la <i>Principles Conference Europea</i> sobre ciudades y pueblos sostenibles. Como resultado, se definió una política de compromiso para trabajar por la sostenibilidad, denominada la carta de Aalborg. Esta carta se centra en el rol de las ciudades y municipalidades europeas para poner pausas al logro de la sostenibilidad y enfatiza la necesidad de indicadores para monitorear y tomar decisión. Esta carta promueve la sostenibilidad de pueblos y ciudades europeas y es también una iniciativa mundial para la evaluación de los logros. |

Continúa...

| Fecha       | Título  | Responsabilidad                     | Autor o editor                   | Tipo de documento | Descripción   |
|-------------|---|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------|---|
| 1996        | Plan de Acción de Lisboa  | ICLEI                               | Conferencia organizada por ICLEI | Plan de Acción    | Este plan muestra la importancia de incrementar acciones regionales y locales en busca de los objetivos y la necesidad de indicadores para describir el estado ambiental presente y para medir la gestión de las ciudades desde la carta de Aalborg.  |
| 1996        | Reporte de Ciudades Europeas Sostenibles                            | Comisión Europea; Grupo de Expertos |                                  | Reporte           | El informe presenta las conclusiones de un debate colectivo del grupo de expertos sobre medio ambiente urbano. Describe los principios del desarrollo sostenible y los mecanismos necesarios para ello, no sólo en las ciudades, sino también a todos los niveles de la jerarquía de asentamientos humanos. Este informe se centra básicamente tanto en los aspectos institucionales como ambientales y se plantean las posibilidades que tienen las administraciones locales para garantizar la sostenibilidad.                                      |
| 1998        | Foro urbano de Viena  | Comisión Europea                    | CCE                              | Comunicación      | En el marco de que la integración de la política comunitaria referida al desarrollo urbano y el reconocimiento de la sostenibilidad requieren la participación de autoridades públicas y distintos tipos de actores, llevaron a la publicación del Plan de acción urbana de los Comisiones en este foro. Este documento, cuyo título oficial "Desarrollo sostenible urbano en la Unión Europea: Un marco para la acción", tiende a mostrar la importancia de la evaluación estratégica y la gestión como una ruta de sostenibilidad en áreas urbanas. |
| 1998 - 1999 | Cuarta conferencia regional   | Comisión Europea                    | CCE                              | Carta o mandato   | En la búsqueda hacia la consolidación de estrategias locales de aplicación de la Agenda 21, se desarrolla la denominada cuarta conferencia regional, que tenía como objetivo definir problemas específicos de acuerdo a contextos regionales y culturales parecidos en la Unión Europea.  |
| 1998        | Desarrollo sostenible en la Unión Europea: un modelo para la acción | Comisión Europea                    | CCE                              | Comunicación      | - En la región Báltica. Turquía (1998).<br>- Región Mediterránea. Sevilla (1999).<br>- Europa del Este y Central. Sofía (1999).<br>- La Haya (1999) para el nor-este de Europa.   |
| 1999        | Perspectiva de Desarrollo Espacial Europeo (ESDP)                   | Comisión Europea                    | Comisión Europea                 | Documento         | La comunicación COM (98) 605 enfatizó en la importancia de la evaluación existente y planeó actividades de soporte a la sostenibilidad y la necesidad de explorar métodos para monitorear el progreso de la Agenda Local 21.  |
|             |   |                                     |                                  |                   | El ESDP define una visión de futuro del territorio europeo. Entre sus objetivos está el servir de guía y referencia para la acción de los impactos espaciales. Su mayor objetivo es trabajar por un desarrollo balanceado y sostenible del territorio de la Unión Europea.  |

Continúa...

| Fecha | Título  | Responsabilidad                                      | Autor o editor                                       | Tipo de documento                       | Descripción   |
|-------|---|--|--|---|---|
| 2000  | Hannover<br>Campaña de ciudades sostenibles   | Conferencia  | Carta o mandato                                      |   | <p>En ésta se evaluó la trayectoria seguida desde Aalborg. Se hizo un fuerte énfasis en los compromisos de política para lograr la sostenibilidad a todos los niveles de gobiernos y especialmente para la acción local.</p>  |
|       |   |  |  |   | <p>El mantenimiento, monitoreo y evaluación de la sostenibilidad fue uno de los tópicos más importantes de la conferencia. La evaluación y seguimiento son considerados herramientas fundamentales, y se enfatizó en la necesidad de desarrollar sistemas coherentes de indicadores de sostenibilidad. Los indicadores se consideran esencialmente importantes para referenciar los cambios y evoluciones sobre la cuestión.</p>  |
| 2001  | Otro. Programa de acción ambiental<br>Asistencia europea para un mejor mundo: una estrategia de la EU para el desarrollo sostenible | Comisión Europea<br>Comisión de la Comunidad Europea | Comisión Europea<br>Comisión de la Comunidad Europea | Programa<br>Comunicación de la comisión | <p>Este programa promueve el componente ambiental de las nuevas estrategias comunitarias para el desarrollo sostenible.</p> <p>En la comunicación COM (2001) 264 se definen políticas y estrategias de largo plazo para el desarrollo sostenible desde el punto de vista económico, social y ecológico.</p>   |
| 2002  | Hacia un atlas urbano: evaluación de datos espaciales en 25 ciudades y áreas urbanas europeas                                       | Comisión Europea                                     | Comisión Europea                                     | Reporte                                 | <p>Este reporte describe y evalúa los resultados del proyecto Murbandy y Moland desarrollado para 25 ciudades y áreas urbanas europeas. En él se organiza una base de datos espacial y se deriva información relevante para construir indicadores que pueden dar información acerca de procesos espaciales tales como el crecimiento urbano, cambios de uso del suelo, intensidad y dirección de la expansión urbana, el rol de la red de transporte, etc. Este conocimiento es esencial, considerando el reciente debate sobre los indicadores ambientales urbanos. La búsqueda de un conjunto de indicadores de sostenibilidad es un importante esfuerzo hacia el desarrollo de metodologías comunes para lograr la sostenibilidad a escala global y local.</p> |

Fuente: elaboración propia.