

## **Priorización de zonas geográficas mediante el uso de sistemas de información geográfica: Aplicación a un municipio Colombiano**

**Luis Alejandro Builes Jaramillo**<sup>1</sup> luis.builes@colmayor.edu.co, **Laura Lotero Vélez**<sup>2</sup>

### **RESUMEN**

En este artículo se propone una metodología para la integración de variables ambientales, de ocupación del territorio y poblacionales, como complemento a la evaluación ambiental estratégica propuesta para Colombia en materia de política ambiental, con énfasis en salud ambiental. A partir de la información disponible y desde un enfoque cualitativo, se identifican conflictos entre las variables de interés para la priorización de zonas de intervención pública mediante proyectos de nivel municipal, los cuales deberían derivarse de las propuestas de la evaluación ambiental estratégica nacional. En la sección de metodología se detallan los aspectos generales de las evaluaciones ambientales estratégicas así como de la metodología complementaria propuesta y se presenta un caso de aplicación particular en un municipio colombiano. Los resultados muestran que la metodología propuesta es transversal y facilita la toma de decisiones con base en múltiples criterios para priorizar, en un contexto geográfico, la implementación de políticas estratégicas por medio de proyectos.

**Palabras clave:** sistema de información geográfico, medioambiente, calidad ambiental, calidad de vida, evaluación ambiental estratégica.

## **Geographic zones prioritization using geographical information systems: Case study of a Colombian municipality**

### **ABSTRACT**

In this paper we propose a methodology for the integration of environmental, land-use and population variables as a complement to a strategic environmental assessment proposed in Colombia in terms of environmental policy, with an emphasis in environmental health issues. From available information and with a qualitative approach, we can identify conflicts between the variables of interest for the prioritization of zones for public intervention through projects, at the municipality level, derived from a national strategic environmental assessment. In the methodology section we detail the general features of strategic environmental assessment, as well as the complementary methodology proposed. Then, we present the case study of a Colombian municipality. In the results section, we show that the proposed methodology is transversal and that it facilitates the decision making process based on multiple criteria to prioritize, in a geographical context, the implementation of strategic policies by means of projects.

**Keywords:** geographical information system, environment, environmental quality, quality of life, strategic environmental assessment.

Recibido el 18 de octubre de 2013, aceptado el 22 de diciembre de 2013.

---

<sup>1</sup> Grupo de investigación Ambiente Hábitat y Sostenibilidad, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín. Carrera 78 # 65-46, Barrio Robledo. Medellín Colombia.

<sup>2</sup> Programa de Doctorado en Ingeniería – Sistemas e Informática, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

## INTRODUCCIÓN

La evaluación ambiental estratégica (EAE) es un proceso de apoyo para la incorporación de la dimensión ambiental a la toma de decisiones estratégicas (JILIBERTO & BONILLA 2008). Es una herramienta de análisis de implicancias ambientales al nivel de política que posibilita una estimación de las afectaciones o ventajas a nivel estratégico de una decisión a nivel transnacional, nacional o local. En la actualidad es considerada como una herramienta fundamental para la evaluación de normatividad pública, ya sea de carácter rural o urbano (GÓMEZ 2011; LOZADA 2011; PIÑA 2010).

Para los países en desarrollo, el reto de la conservación ambiental es mayor día a día, ya que son estos los que se enfrentan a mayores desafíos en materia ambiental, debido a que son considerados como lugares mega-diversos (*biodiversity hotspots*), y algunos se consideran como focos de extracción de materias primas (CHAKER *et al.* 2006; GARFI *et al.* 2010). El rápido crecimiento de sus zonas urbanas y los procesos limitados de planificación han desencadenado también en la degradación de los sistemas ambientales urbanos debido a la contaminación atmosférica, del agua y por ruido, factores que afectan la salud de las poblaciones más vulnerables (UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME 2009).

Uno de los principales temas a incluir dentro del desarrollo de las EAE es la salud, y de esta forma se encuentra explícito dentro de las diferentes guías y directivas para su uso (EUROPEAN COMMISSION 2001; ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS 2006; JILIBERTO &

BONILLA 2008). A través de la evaluación de diferentes iniciativas de EAE, se ha encontrado que las evaluaciones del sector salud son de gran influencia en las decisiones que se toman con respecto a planes y proyectos estratégicos (FISCHER *et al.* 2010). Se tienen en cuenta las potencialidades de la Evaluación Ambiental Estratégica para países en desarrollo, y en especial para la planificación ambiental y de salud de sus localidades.

La Evaluación Ambiental Estratégica ofrece una manera práctica y directa de avanzar hacia la sostenibilidad ambiental y el desarrollo sostenible ya que este tipo de metodologías permiten la integración de los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas de los países y localidades. Adicionalmente, también ayuda a cumplir el Plan Johannesburgo de Implementación, acordado en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en 2002, que hizo énfasis en la importancia de “marcos estratégicos y una toma de decisiones equilibrada para hacer avanzar la agenda de desarrollo sostenible” (ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS 2006, p.17).

Existen limitaciones en la implementación de las EAE a nivel mundial, ya que estas propuestas de nivel estratégico no logran aterrizar a nivel local (RETIEF *et al.* 2008). En Colombia se presentan este tipo de rupturas en la implementación, específicamente a nivel municipal y departamental, debido a las diferencias entre la gestión a corto plazo, planteada por los breves períodos de alcaldías y gobernaciones, y las políticas propuestas a largo plazo por parte de entidades de planeación estratégica.

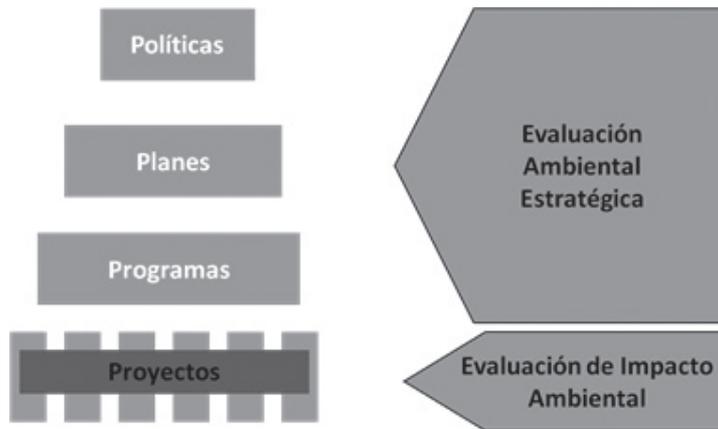
En este artículo se propone una metodología de tipo cualitativo, para la priorización de zonas geográficas mediante el uso de sistemas de información geográfica. La priorización de zonas se convierte en una herramienta para complementar y facilitar la implementación de proyectos a nivel local, siguiendo los objetivos de la EAE de política ambiental vigente a nivel de país en Colombia. Este tipo de metodologías son necesarias debido a las limitaciones en la implementación de políticas de nivel estratégico y de las recomendaciones derivadas de las EAE a una escala geográfica menor, en este caso a nivel municipal. La metodología está basada en el análisis del estado del recurso aire y su relación con la salud ambiental en un contexto geográficamente distribuido. Se tomaron en consideración diferentes variables, entre ellas la calidad del aire, los usos del suelo y la calidad de vida de la población, con el fin de apoyar proyectos encaminados al mejoramiento de la calidad ambiental en el marco de procesos de ordenamiento territorial.

La metodología es aplicable a escala de municipio, para lo cual este artículo presenta la metodología general y luego muestra un caso de aplicación en el municipio de Itagüí, Colombia. La sección de metodología presenta una caracterización de la herramienta EAE, la propuesta metodológica partiendo de la definición de las capas de información a utilizar, la evaluación de conflictos entre las variables de estudio y la definición de zonas críticas, se presenta la zona de estudio y se describe la metodología propuesta para el uso de la metodología en el municipio de Itagüí. En la sección de resultados se presentan los resultados que se obtienen de la aplicación de la metodología al caso de estudio. Finalmente, en la sección de conclusiones y discusión se hace el análisis de los resultados y se discute la potencialidad de la herramienta como apoyo a las EAE.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Debido a su carácter estratégico, las EAE se caracterizan por ser evaluaciones al nivel de política, planes y programas (Fig. 1). Con este tipo de metodología se busca hacer una evaluación de las implicaciones ambientales acumuladas, y se considera como una herramienta para mejorar la eficiencia de las políticas o planes (RUNHAAR & DRIESSEN 2007). Una vez se hacen las evaluaciones ambientales en el nivel estratégico, los proyectos particulares que se desprenden de las políticas, planes y programas y que deben ser aplicados en el contexto geográfico, reducen la complejidad de sus Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) particulares.

Según CHAKER *et al.* (2006) no existe una metodología definida para la ejecución de las EAE, para su desarrollo es necesario identificar las particularidades del país, o de la localidad en la que se intenta llevar a cabo, lo que da a esta metodología un carácter flexible y adaptable. En algunos países se han desarrollado guías para la identificación de los casos de uso de las EAE, a partir de la Directiva Europea 2001/42/CE, principalmente en países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y clientes del Banco Mundial (HE *et al.* 2010). Taiwán fue uno de los primeros países asiáticos en implementar el uso de estas metodologías y cuenta con normatividad para su uso desde 1994 (MING-LONE LIU *et al.* 2006). En Suráfrica la aplicación de las EAE es de carácter voluntario (RETIEF *et al.* 2008). En Colombia se cuenta con una guía elaborada, con colaboración internacional, por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (CENDEX 2008; JILIBERTO & BONILLA 2008).



**Fig.1** Posicionamiento de la EIA y la EAE en la jerarquía de toma de decisiones. Fuente: Tomado y adaptado de ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (2006).

**Fig.1** Positioning of EIA and SEA in the decision making hierarchy. Source: Adapted from de ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (2006).

Como se presenta en la figura 2 existen dos visiones para enfrentar evaluaciones de este tipo: una de carácter *Bottom up*, que enfoca el desarrollo de la evaluación partir de las evaluaciones de impacto ambiental y otra de carácter *Top Down* enfocada a la evaluación desde la concepción de la política o el plan (CHAKER *et al.* 2006). También existen diferentes enfoques de trabajo: metodologías descriptivas, metodologías estadísticas o metodologías de simulación (ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO

ECONÓMICOS 2006). Cuando las EAE son usadas para hacer una elección entre diferentes alternativas se propone el uso de métodos cuantitativos, como por ejemplo el uso de técnicas multicriterio (GARFÌ *et al.* 2010), pero cuando estas metodologías se emplean para la identificación de situaciones críticas y para sugerir estrategias para la mitigación de impactos ambientales se acepta el uso de métodos cualitativos (FINNVEDEN *et al.* 2003; ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS 2006).



**Fig.2** Acercamientos *Top Down* y *Bottom up* para la Evaluación Ambiental Estratégica. Fuente: Tomado y adaptado de CHAKER *et al.* (2006).

**Fig.2** Top Down and Bottom up approaches for the Strategic Environmental Assessment. Source: Adapted from CHAKER *et al.* (2006).

Para evaluar la efectividad de la aplicación de las metodologías EAE se han desarrollado diferentes estudios, que han demostrado que la implementación de las recomendaciones derivadas de estas evaluaciones necesitan de un fuerte respaldo institucional para lograr algún grado de eficacia (CHAKER *et al.* 2006; RUNHAAR & DRIESSEN 2007; RETIEF *et al.* 2008; WU *et al.* 2011), además de una fuerte contextualización en el entorno local para el cual se busca hacer la implementación. Este tipo de metodologías prueba ser efectiva para aplicaciones como la planificación energética a nivel nacional o local (FINNVEDEN *et al.* 2003) y la planificación territorial (KØRNØV 2009) en países desarrollados en los cuales se han elaborado marcos normativos alrededor de este tipo de evaluaciones y se consideran como una evolución de las metodologías de evaluación de impacto ambiental..

#### **Diseño metodológico de una herramienta de apoyo para la EAE de política ambiental en Colombia**

En Colombia existe una guía de EAE para el desarrollo de una política ambiental con énfasis en la salud pública, en la cual se trazaron pautas metodológicas, se identificaron actores, principales problemáticas y se dio una visión general de la dinámica entre la contaminación atmosférica y la salud ambiental en el país (CENDEX 2008). Esta guía particular para la formulación de políticas partió de una iniciativa de carácter estratégica nacional, encabezada por el Departamento Nacional de Planeación de Colombia (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN 2005) y tiene en cuenta consideraciones de salud ambiental. Se reconoce la necesidad de un acercamiento

más estratégico al problema de la vinculación del medio ambiente y la salud en la formulación de planes y políticas (LOBOS & PARTIDÁRIO 2010).

La política pública ambiental con énfasis en salud ambiental necesita de estrategias para ser llevada al nivel municipal, en donde se ejecutan los proyectos, donde se articulan los planes de carácter estratégico con la ejecución gubernamental, y dónde se impacta de manera directa a las comunidades más afectadas por el deterioro de la calidad del aire. Este artículo propone una metodología para la definición de zonas con prioridad a escala municipal, para la intervención a través de proyectos derivados de una política ambiental orientada a los conflictos de salud ambiental, para así cerrar el círculo de la planificación estratégica, atendiendo de forma prioritaria, a través de políticas de orden nacional, a aquellos más afectados por la contaminación ambiental.

Esta metodología se fundamenta en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de problemáticas en salud ambiental relacionadas con la contaminación atmosférica como se recomienda en CENDEX (2008), las cuales están articuladas con la evaluación ambiental estrategia ambiental colombiana. La metodología parte de la consideración de la dinámica de contaminación ambiental planteada para el contexto colombiano, y consta de 3 fases principales (tabla 1) para la superposición de capas de información: 1) definición de las capas de información, 2) evaluación de conflictos y 3) definición de zonas críticas. Está fundamentada en la revisión de información secundaria disponible con escala local.

**TABLA 1. PASOS METODOLÓGICOS PARA LA EVALUACIÓN CUALITATIVA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**  
**TABLE 1. METHODOLOGICAL PHASES FOR THE QUALITATIVE EVALUATION. SOURCE: OWN DEVELOPMENT**

Paso Metodológico	Nombre	Descripción
1	Definición de capas de información	Información disponible sobre contaminación del recurso aire, ruido ambiental y salud pública en el municipio
2	Identificación de conflictos	Superposición de capas para la identificación de conflictos
3	Definición de zonas para la formulación de política pública	Evaluación de criterios y de conflictos para la definición de las zonas para la formulación de política pública

*Definición de las capas de información:*

A partir de la información secundaria disponible en varias regiones de Colombia se proponen 5 capas principales de información: 1) emisiones atmosféricas; 2) concentraciones de contaminantes atmosféricos; 3) ruido ambiental; 4) usos del suelo y 5) población.

Cada una de las fuentes de información asociadas a la capas (tabla 2) facilita el análisis de la dinámica entre la contaminación atmosférica y la salud pública, partiendo desde las fuentes de emisión de contaminantes, las concentraciones que estas fuentes generan

en la atmósfera, las normas de uso del suelo que permiten el asentamiento de estas fuentes y la localización de la población, finalmente llegando a la disposición de las personas en el territorio y su respuesta, en materia de salud, a la influencia de la contaminación atmosférica.

La información de cada una de las capas es representada en formato vectorial, y es analizada empleando sistemas de información geográfica. Inicialmente se propone un proceso de superposición y análisis conjunto de las variables, para luego, según las necesidades o particularidades de la localidad proceder con análisis de variabilidad espacial más detallados.

**TABLA 2. CAPAS DE ANÁLISIS Y TIPOS DE INFORMACIÓN POR CAPA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

**TABLE 2. LAYERS OF ANALYSIS AND TYPES OF INFORMATION BY LAYER. SOURCE: OWN DEVELOPMENT**

CAPA	POSIBLES FUENTES DE INFORMACIÓN
EMISIONES	INVENTARIOS DE EMISIONES
	INVENTARIOS DE CHIMENEAS
	MEDICIONES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
	MODELACIÓN DE EMISIONES
CALIDAD DEL AIRE	ESTIMACIONES DE LA CALIDAD DEL AIRE
	MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE
RUIDO AMBIENTAL	MEDICIÓN DE RUIDO AMBIENTAL
	MAPEO DE RUIDO AMBIENTAL
USO DEL SUELO	NORMATIVIDAD PARA EL USO DEL SUELO
POBLACIÓN Y SALUD PÚBLICA	DENSIDAD POBLACIONAL
	MORBILIDAD POR ENFERMEDADES CARDIORRESPIRATORIAS

*Evaluación de conflictos:*

La evaluación de conflictos es un proceso de superposición espacial de las capas de información definidas, con el fin de evaluar en cuáles zonas se encuentran problemáticas asociadas a la contaminación del aire, para lo cual es necesario evaluar por lo menos 3 contaminantes, los usos del suelo y la población de la localidad en estudio. En el caso colombiano, se cuenta con normatividad que regula los niveles de ruido ambiental en zonas urbanas (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL 2006), normatividad que regula el tipo de uso del suelo (CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA 1997), y normatividad sobre los niveles permisibles de contaminación atmosférica (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL 2010).

Con respecto a la información poblacional, se hace una evaluación de las densidades poblacionales en las diferentes zonas de la localidad y se hace una localización de los casos de enfermedades cardiorrespiratorias

en el territorio, con el fin de evaluar cuáles son las zonas con la mayor incidencia de este tipo de afecciones, ya que las enfermedades cardiorrespiratorias están relacionadas con la contaminación atmosférica (RODRIGUEZ 2009). Esta evaluación se logra con el cruce de bases de datos de Registros Individuales de Prestación de servicios de Salud -RIPS- (MINISTERIO DE SALUD 2000) y bases de datos censales para la adjudicación de beneficios de subsidios estatales de salud -SISBEN- (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN 2008), por medio de la consulta de campos compatibles entre ambas bases de datos, como es el caso de la identificación del ciudadano, la cual es un número único. Con esta información se definen cuáles son los valores más altos de consulta por enfermedades cardiorrespiratorias en la localidad y las zonas en las que se encuentran localizadas.

La definición de conflictos se caracteriza por la evaluación del cumplimiento de estas normas. En tabla 3 se presentan los tipos de conflictos por cada capa de información base.

**TABLA 3. TIPOS DE CONFLICTOS DE INFORMACIÓN POR CAPA: FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

**TABLE 3. TYPES OF CONFLICT INFORMATION BY LAYER. SOURCE: OWN DEVELOPMENT**

Capas	Descripción de conflictos
Calidad de aire	Se exceden los niveles permitidos para emisiones en las normas nacionales
Ruido Ambiental y usos del suelo	Se exceden los niveles de contaminación por ruido ambiental definidos en la normatividad, según el tipo de uso del suelo
Población	Altas densidades poblacionales y tasas de morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias

*Definición de zonas para el apoyo a la implementación de política:*

La definición de zonas para el apoyo a la implementación de política pública depende de la desagregación espacial lograda en la evaluación de conflictos. En Colombia

los municipios están divididos en barrios, definidos a su vez por características administrativas y/o culturales. Las zonas pueden componerse de una agrupación de barrios para el caso de localidades colombianas, o una agrupación de las mínimas zonas territoriales definidas para

el análisis de la información secundaria. Con base en los conflictos identificados en el paso metodológico inmediatamente anterior, se hace una priorización de la

necesidad de intervención, mediante la suma de los puntajes definidos para los tres criterios principales descritos en la tabla 4.

**TABLA 4. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS PARA EL APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN DE POLÍTICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

**TABLE 4. ZONES CLASSIFICATION CRITERIA FOR THE SUPPORT OF POLICIES IMPLEMENTATION. SOURCE: OWN DEVELOPMENT**

Necesidad de intervención	Criterio de contaminación atmosférica y ruido ambiental	Criterio de morbilidad	Criterio de densidad poblacional
Según suma de puntos por criterio	Se asigna un punto por cada uno de los contaminantes que exceden la norma establecida	Depende del número de intervalos definidos para la clasificación de la morbilidad, se asigna el mayor número de puntos, equivalente al número de intervalos, al intervalo con el mayor número de consultas	Depende del número de intervalos definidos para la clasificación de la densidad, se asigna el mayor número de puntos, equivalente al número de intervalos, al intervalo con la mayor densidad

El primero es un criterio de contaminación atmosférica y ruido ambiental que representa la necesidad de control de la contaminación ambiental en la zona, evidenciada mediante el número de contaminantes que exceden la norma; al mayor número de contaminantes con conflictos, mayor la necesidad de intervención en la zona. El segundo criterio es de morbilidad y evidencia la prevalencia de enfermedades cardiorrespiratorias en la zona; a mayor número de consultas hospitalarias, mayor la necesidad de intervención en la zona. Y el tercer criterio está relacionado con la ocupación del territorio, representado por la densidad poblacional; a mayor densidad hay mayor población expuesta a las altas concentraciones de contaminación y ruido, precursores de molestias relativas a la salud.

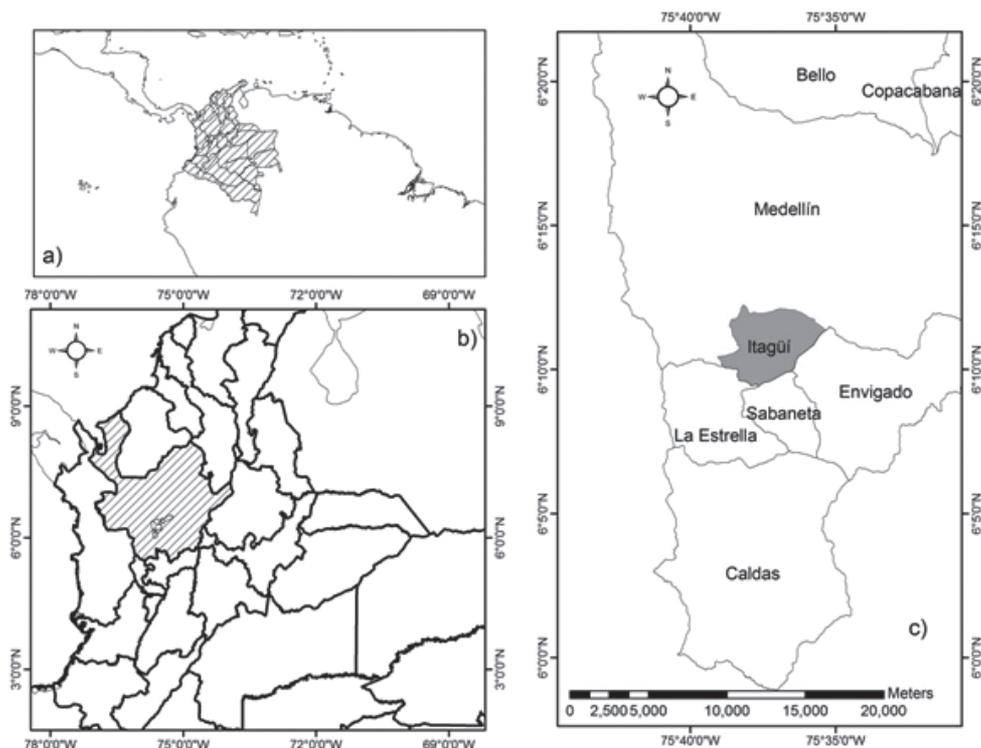
Los pesos dados a cada criterio son definidos mediante comparación por pares entre cada una de las alternativas en un proceso de análisis jerárquico (SAATY 1990; BUILES *et al* 2013). Esta herramienta es

empleada para definir la importancia de alternativas en competencia a través de la participación de expertos, comunidades o entidades interesadas en ejercicios de toma de decisiones con múltiples criterios. Mediante la superposición de los conflictos, y con los parámetros expuestos para cada uno de los criterios en la tabla 4 debidamente clasificados, se desarrolla una zonificación para la identificación de las prioridades de intervención ambiental a nivel territorial. Todas las intervenciones, para el caso colombiano deben estar articuladas con los objetivos de la evaluación ambiental estratégica ambiental que rige a nivel nacional. El nivel de prioridad se encuentra catalogado en Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. En ningún momento se plantea una necesidad de intervención nula, debido a que la metodología está basada en la superposición de conflictos, los cuales suponen de entrada el incumplimiento de una norma ambiental, prevalencia de enfermedades cardiorrespiratorias o la alta concentración de población en una zona geográfica.

### Caso de estudio: Municipio de Itagüí

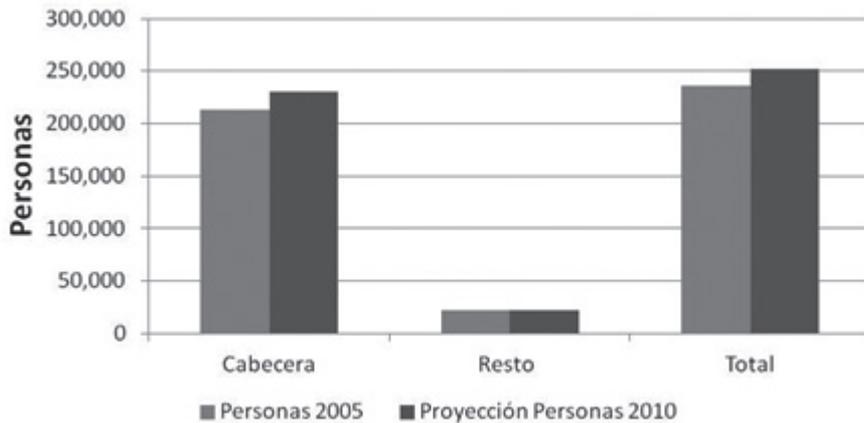
La aplicación de la metodología descrita se hace para el municipio de Itagüí, ubicado en el departamento de Antioquia al noroccidente de Colombia, en la región o área Metropolitana del Valle de Aburrá (Fig. 3). El municipio contaba con 235.567 habitantes según los datos del censo poblacional colombiano del año 2005 (DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, DANE 2010). En la figura 4 se presenta el perfil

poblacional del municipio, a partir del censo del 2005 y la proyección de población para el 2010, según el DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA (2010). De todas las personas que habitan en el municipio, el 7,53% de los que habitan en la cabecera municipal (zona urbana) se encuentran en situación de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), porcentaje que para la zonas rurales asciende a un 20,8%, lo que representa 8.8% de personas en NBI en el municipio de Itagüí.



**Fig.3 Localización del municipio de Itagüí desde una perspectiva global. a) Colombia en América, b) Departamento de Antioquia en Colombia (Achurado) y Valle de Aburrá dentro de Antioquia, y c) municipio de Itagüí en el Valle de Aburrá. Fuente: Elaboración propia.**

**Fig.3 Location of Itagüí municipality from a global perspective. a) Colombia in South America, b) Antioquia department in Colombia (hatched) and Valle de Aburrá in Antioquia, and c) Itagüí municipality in the Aburra Valley. Source: Own development.**



**Fig.4 Perfil poblacional del municipio de Itagüí. Fuente: Elaborado según datos del DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA (2010).**

**Fig.4 Population profile of the Itagüí Municipality. Source: Own development based on data from DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA (2010).**

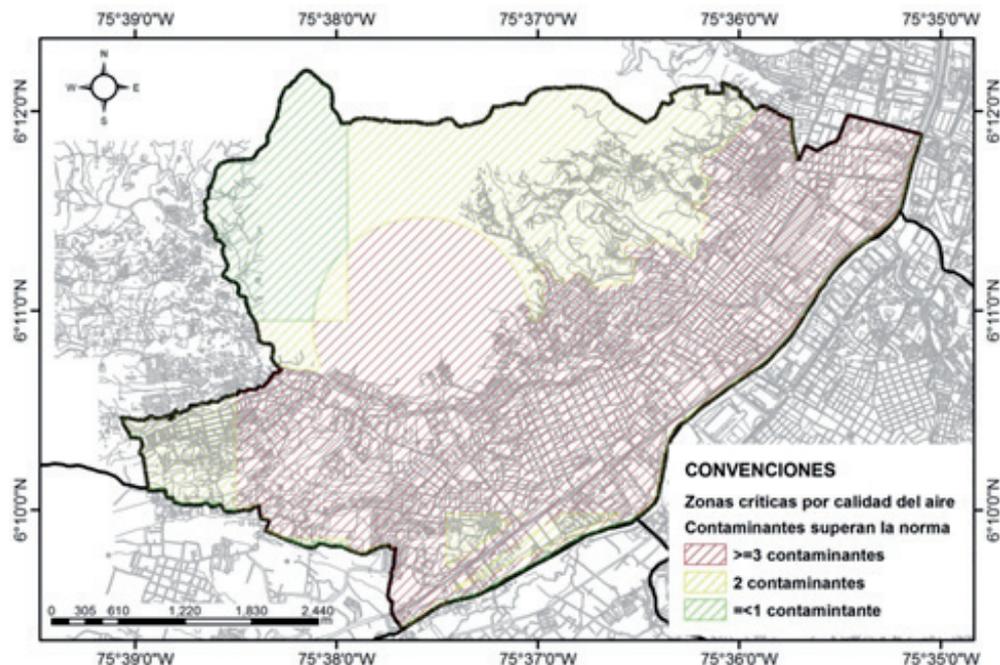
Según el Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del Río Aburrá (AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, *et al.* 2007), en esta población se encuentran localizadas aproximadamente el 25% de las emisiones por parte del sector industrial en la región. Según las mediciones de contaminación en el municipio se encontró que había zonas en las que se encontraban evidencias de excedencias de las normas colombianas de calidad del aire en más de tres contaminantes catalogando a dichos puntos de medición con clasificación amarilla (Aceptable) dentro del índice de calidad del aire –AQI–. Las mediciones fueron desarrolladas por diferentes entidades: Red de Vigilancia de la calidad del aire y Corantioquia midieron partículas suspendidas totales – (RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ 2007), la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín midió compuestos orgánicos volátiles (UNIVERSIDAD NACIONAL DE

COLOMBIA Y AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ 2007), y la Universidad Pontificia Bolivariana evaluaron los óxidos de nitrógeno y ozono – NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>– (UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ 2001; UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ 2006).

## RESULTADOS

Se hizo una comparación entre los niveles de los contaminantes encontrados en las mediciones y la norma nacional de calidad de aire y se desarrolló un mapa de zonas críticas por calidad de aire, en el cual se hace una representación por colores del número de contaminantes que sobrepasan la norma, este mapa es presentado en la figura 5 Aproximadamente un 70% del territorio del municipio está en una zona crítica con

conflictos en más de 3 contaminantes. En este porcentaje del territorio se encuentra incluido el 100% de la zona urbana municipal y aproximadamente un 30% de la zona rural.

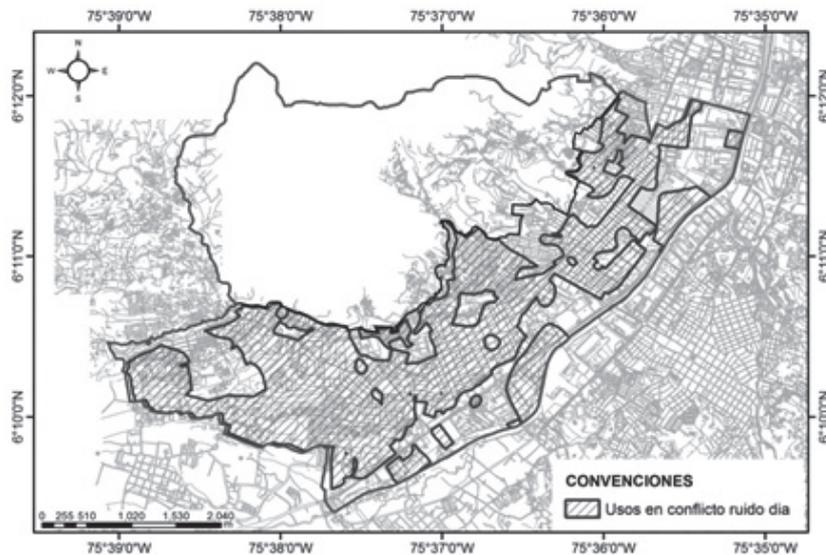


**Fig.5. Zonas críticas por calidad de aire en el municipio de Itagüí. Fuente: Tomado y adaptado de RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2007); UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2007); UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2001); UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2006).**

**Fig.5. Zones with critical conditions of air quality in the Itagüí Municipality. Source: Adapted from RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2007); UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2007); UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2001); UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2006).**

Para el caso del ruido ambiental, se comparan las mediciones de ruido encontrada en el municipio (POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZACADAVID, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ 2007) con la normatividad específica de ruido permitido

para los diferentes usos del suelo en Colombia (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL 2006) la superposición de dichas capas muestra que en el municipio se sobrepasa la norma en un 71% de la zona urbana como se ve en la zona sombreada del mapa inferior en la figura 6.



**Fig.6 Conflictos por niveles no permitidos de ruido ambiental según los usos del suelo municipales.** Fuente: Tomado y adaptado de POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2007).

**Fig.6 Environmental noise levels and municipal land use conflicts.** Source: Adapted from POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA & AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2007).

Para el caso de la información relacionada con la población, se encontraron valores de densidad de hasta 550 habitantes por hectárea, valor considerablemente alto, ya que en ciudades como Medellín y Bogotá hay en promedio, densidades poblacionales de 69 y 41 habitantes por hectárea respectivamente (ALCALDÍA DE

MEDELLÍN 2006; ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. 2011). La distribución de las densidades en cada barrio del municipio se muestra en la figura 7 donde se observa que las mayores densidades están ubicadas en el centro del municipio, dónde se ubican las sedes administrativas e infraestructuras públicas.

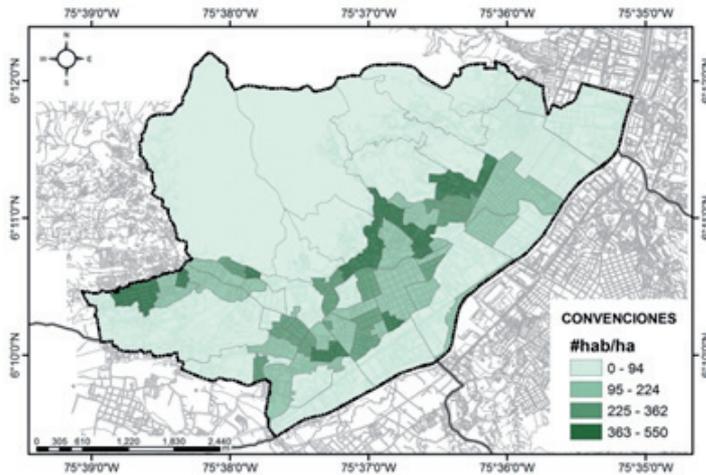


Fig.7 Densidad poblacional del municipio de Itagüí, en habitantes por hectárea. Fuente: Tomado y adaptado de AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2006).

Fig.7 Population density in Itagui municipality, inhabitants per hectare. Source: Adapted from AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2006).

En la figura 8 se muestra la tasa de consultas externas por enfermedades cardiorrespiratorias por cada mil habitantes.

En el análisis de esta capa se encontró que hay barrios en los que se alcanzan cifras de hasta 481 casos por cada mil habitantes.

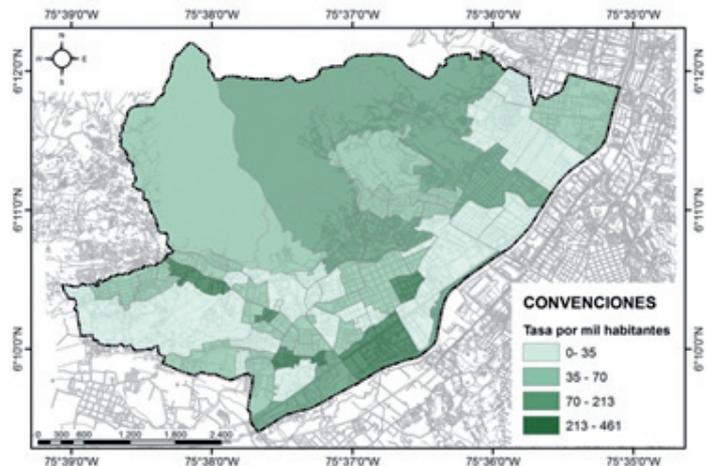


Fig.8. Mapa de tasas de morbilidad por consulta por enfermedades cardiorrespiratorias por cada mil habitantes. Fuente: Tomado y adaptado de AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2006).

Fig. 8. Morbidity rates map for cardiorespiratory diseases consults per each thousands of inhabitants. Source: Adapted from AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2006).

De acuerdo con la metodología de evaluación definida en la tabla 4, se desarrolló una superposición de los mapas que contienen los criterios básicos de análisis (criterio de contaminación, criterio de morbilidad y criterio de densidad) y se llegó a la construcción del mapa resultante con las zonas para apoyar la formulación de políticas públicas en materia de la protección de la integridad de la población por posibles afectaciones debidas a la calidad del recurso aire, los resultados son presentado en la figura 9 y en la tabla 5. De la comparación por pares desarrollada para el proceso de análisis jerárquico, se encontró que el criterio más importante para definir la prioridad de las zonas es el criterio de contaminación atmosférica, siendo este el que define la prioridad de las zonas.

Para el caso particular del municipio de Itagüi se tienen cinco contaminantes,

siendo 5 el máximo puntaje para las zonas en las que se sobrepasa la norma para todos los contaminantes. Se divide en cuatro intervalos el número de consultas por enfermedades cardiorrespiratorias, siendo 4 el puntaje mayor para las zonas que se encuentran en el intervalo con el mayor número de consultas. Para la densidad también se tienen cuatro intervalos, siendo 4 el mayor puntaje para las zonas en el intervalo de mayor densidad poblacional. Al sumar los puntajes, el mayor puntaje posible es de 13, y las zonas con este puntaje se consideran con una necesidad de intervención alta. El menor puntaje es de 4, definiendo éste las zonas con una necesidad de intervención muy baja, y se define que entre 12 y 9 puntos se tienen zonas con necesidades de intervención media, y entre un puntaje de 8 y 5 zonas con necesidades de intervención baja, las cuales se presentan en la figura 9.

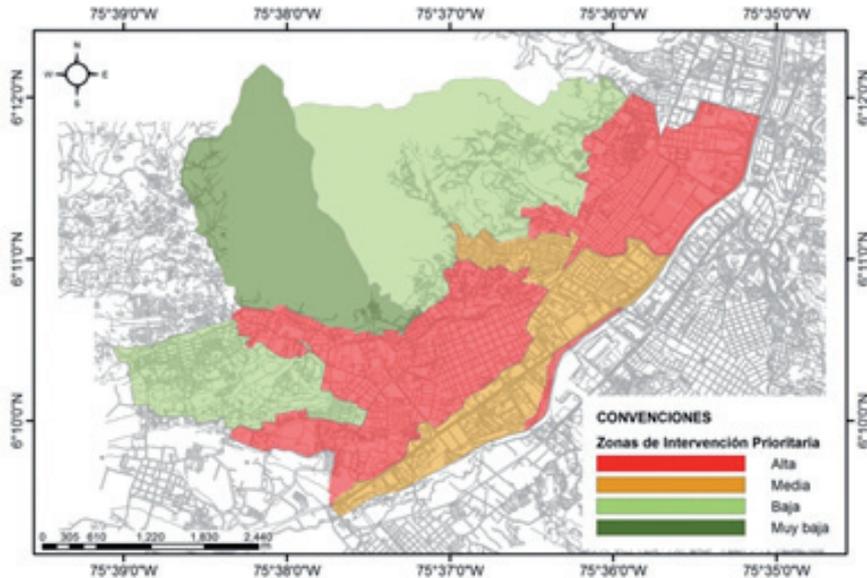


Fig.9 Zonas geográficas priorizadas para el apoyo a la implementación de política pública para el mejoramiento de la calidad de vida en el Municipio de Itagüi. Fuente: Elaboración propia.

Fig.9 Geographical prioritized zones for the support of public policy implementation in order to enhance the municipality quality of life. Source: Own development.

**TABLA 5. CRITERIOS PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS ZONAS PARA EL APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN DE POLÍTICA EN EL MUNICIPIO DE ITAGÜÍ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

**TABLE 5. CRITERIA FOR THE PRIORITIZATION OF THE ZONES FOR THE SUPPORT OF POLICIES IMPLEMENTATION IN THE MUNICIPALITY OF ITAGUI. SOURCE: OWN DEVELOPMENT**

Necesidad de intervención	Criterio de contaminación atmosférica y ruido ambiental	Criterio de morbilidad (consultas/1000 habitantes)	Criterio de densidad poblacional (hab/ha)	Puntaje final de la zona
Alto	Excede las normas de: TSP, MP10, O3, NO2 y Benceno	213 - 461	363 - 550	13
Medio	Excede las normas de: TSP, O3, NO2 y Benceno	70 -213	225 - 362	12 -9
Bajo	Excede las normas de: TSP, O3, NO2	35 - 70	95 - 224	8 -5
Muy Bajo	Excede las normas de: MP10 y NO2	0 - 35	0 - 94	4

En estas zonas del municipio de Itagüí se superponen conflictos asociados a variables ambientales, de población y salud pública. Las zonas con prioridad alta y media de intervención se encuentran en las zonas urbanas del municipio, mientras que la zona de más baja prioridad de intervención en políticas de descontaminación, a partir de la identificación de conflictos con las variables socioeconómicas, poblacionales y de contaminación, se encuentra en parte de la zona rural del municipio.

## DISCUSIÓN

El uso de sistemas de información geográfica potencializa la toma de decisiones para la implementación de políticas públicas a través de proyectos, ya que permite identificar las zonas en conflicto con las variables de interés para la EAE y así priorizar regiones para la intervención. Para otras localidades colombianas en las que se cuenta con un menor grado de instrumentación o información primaria es necesario evaluar la disponibilidad real de información, y partiendo de su realidad particular hacer una adaptación de la metodología con el fin de producir resultados

de apoyo a la toma decisiones con base en la identificación de las problemáticas y conflictos locales.

Si bien Colombia ha definido lineamientos de política para la formulación de EAE como metodología para el apoyo a la planificación del recurso aire (CENDEX 2008), en los municipios colombianos no se encuentran referentes para la comparación con el presente estudio, en gran medida porque las disciplinas encargadas de la planificación ambiental y urbana todavía no convergen en herramientas con una visión integral desde los contextos cualitativos y cuantitativos, necesarios para el desarrollo de proyectos con visión de largo plazo que estén en la vía de la estrategia para la planeación ambiental.

En trabajos como el desarrollado para la región del Piamonte en Italia por IGNACCOLO *et al.* (2012) la planificación estratégica del recurso aire contempla únicamente la evaluación del comportamiento de variables netamente ambientales como las concentraciones de contaminantes criterio, dejando por fuera componentes poblacionales y de salud ambiental, como los que se tienen en cuenta en este trabajo. En Pakistán ILYAS *et al.* (2009)

relacionan valores medidos de contaminantes criterio y consultas o quejas por afecciones a la salud, con lo cual se llega a una relación entre contaminación y problemas de salud pública, pero dejando por fuera el componente geográfico, indispensable para la focalización o priorización de políticas en el contexto local.

En la ciudad de Hanoi en Vietnam, NGUYEN & COOWANITWONG (2010) evalúan mediante escenarios el impacto en el mejoramiento de la calidad del aire por intervenciones en el sector transporte, involucrando una componente estratégica de largo plazo a través de la evaluación de escenarios, pero dejando de lado la componente geográfica, con la cual sería posible focalizar la acción en algunas zonas con mayores problemáticas dentro de la ciudad.

Todas estas experiencias muestran diferentes formas de enfrentarse a la planeación estratégica del recurso aire, pero en ninguna se llega a la vinculación efectiva de múltiples variables para la focalización de los proyectos derivados de la política pública, a diferencia de la metodología expuesta en este artículo, donde de una forma sencilla se busca integrar componentes ambientales, de población y salud pública en un ejercicio de apoyo a la planeación estratégica orientado a la zonificación y priorización para la intervención y uso efectivo de los recursos públicos. Como trabajo futuro se propone la implementación de análisis de escenarios para complementar el ejercicio y la información disponible para el tomador de decisiones. Además este tipo de acercamientos de nivel estratégico deberían ser revisados y replanteados de forma periódica dependiendo del contexto municipal, especialmente para involucrar las variaciones en planes de ordenación del territorio, cambios en las densidades poblacionales y condiciones particulares de contaminación atmosférica.

## CONCLUSIONES

La metodología propuesta, presenta una visión integral de la relación existente entre la contaminación atmosférica, la ocupación del territorio y la salud pública, ya que además de tener en cuenta la información de contaminación del aire y ruido, tiene en cuenta aspectos territoriales y de planeación urbana como los usos del suelo, aspectos poblacionales como la densidad poblacional y aspectos de salud pública como las tasas de morbilidad asociadas a enfermedades cardiorrespiratorias. Con esta propuesta metodológica se encuentran las zonas donde se requiere una mayor intervención o atención por parte de la administración pública para el desarrollo de proyectos derivados de la EAE de política ambiental nacional, encaminados al mejoramiento de la calidad del aire y la calidad de vida de los habitantes de la zona de estudio, en este caso del municipio de Itagüí.

A partir de una EAE se busca fundamentar una herramienta para el apoyo a la estrategia de país que puede ser de carácter local o regional, y es apoyada en la información disponible, lo que constituye una ventaja para su aplicación en países en desarrollo como Colombia, ya que la información es escasa y levantar nueva información puede ser costoso tanto en tiempo como en recursos materiales y humanos.

La propuesta metodológica depende del nivel de información disponible en las localidades y puede ser adaptable a conveniencia, incluso adaptable a la política estratégica que se decida apoyar. En el caso del ejemplo de aplicación para el Municipio de Itagüí en Colombia, se identificaron las zonas con mayor prioridad de intervención en materia de contaminación del aire y ruido, a partir de un análisis de conflictos con otras variables poblacionales, de planeación territorial y de salud.

El desarrollo de proyectos derivados de políticas de nivel estratégico en las localidades que empleen este tipo de metodologías tienen en cuenta, aparte de la contaminación, factores de usos del suelo, sociales y de salud, convirtiéndolos en proyectos derivados de una herramienta transversal e integral, que pone de manifiesto las necesidades de las comunidades, facilitando al tomador de decisiones evaluar las medidas más beneficiosas para la población con base en múltiples criterios.

Si bien las dinámicas de contaminación en exteriores son muy variables a lo largo del día, debido al transporte en la atmósfera de los contaminantes, es importante resaltar que la información empleada en este ejercicio representa el comportamiento más desfavorable en materia de contaminación y de salud para el período de análisis determinado, presentándose un análisis para el escenario más desfavorable en el municipio.

Es posible el desarrollo de metodologías de superposición de mapas más avanzadas para el refinamiento de la metodología propuesta en este artículo. A través de la discusión entre expertos, funcionarios de las dependencias de las localidades, o revisión de la literatura sobre cada uno de los factores analizados podría lograrse la identificación de parámetros críticos que permitan un proceso de análisis jerárquico basado en las prioridades y características particulares de cada comunidad, procesos de análisis geoestadístico y espaciotemporal más detallados y refinados para permitir una decisión con mayor grado de información asociada.

Herramientas de apoyo a evaluaciones de nivel estratégico como la presentada en este artículo permiten a las administraciones locales el desarrollo de análisis críticos a planes de gobierno, planes de desarrollo y políticas públicas vigentes, con el fin de direccionar los recursos humanos y materiales, muchas veces escasos en localidades de países en vías de desarrollo.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo es resultado de análisis posteriores al proyecto de investigación “*Línea Base de la Calidad del aire en el municipio de Itagüí*”. Se agradece a los funcionarios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Alcaldía de Itagüí que hicieron posible la recolección de información. Los autores también quieren agradecer a los investigadores Claudia Rave, María Cristina Franco y Juan Esteban Restrepo por sus valiosos aportes para el desarrollo de las primeras instancias del proyecto del cual se desprende este resultado.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALCALDÍA DE MEDELLÍN, 2006.** Medellín y su población. Documento técnico de soporte POT [Acuerdo 46/2006]. Medellín, Colombia. 8pp.

**ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., 2011.** Equidad, Productividad y Sostenibilidad. Documento técnico de soporte, modificación al Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. Secretaría de planeación. Bogotá, 677 pp.

**ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, CORNARE, CORANTIOQUIA y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2007.** Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del Río Aburrá. Aspectos Principales. Medellín, Colombia, 238 pp.

**ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2008.** Línea Base de la Calidad del aire en el municipio de Itagüí. Medellín, Inédito.

**BUILES L., L. LOTERO & AJ. RROYAV., 2013.** Environmental protection zones prioritization for the decision making support. Producción + Limpia, 8 (1): 91-101.

- CENTRO DE PROYECTOS PARA EL DESARROLLO - CENDEX, 2008.** Evaluación ambiental estratégica (EAE) para la formulación de política en materia de salud ambiental para Colombia con énfasis en contaminación atmosférica en centros urbanos informe ejecutivo final. Bogotá, Inédito.
- CHAKER A., K. EL-FADL, CHAMAS, L & B. HATJIAN, 2006.** A review of strategic environmental assessment in 12 selected countries. *Environmental Impact Assessment Review*, 26: 15 - 56.
- CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, 1997.** Ley 388 del 18 de Julio de 1997, Ley de Ordenamiento Territorial. Diario Oficial 43(091).
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2008.** Decreto 4816 de Diciembre 23 de 2008, Por el cual se reglamenta el artículo 24 de la ley 1176 de 2007. Diario Oficial 47(212): 51 - 52.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2005.** Documento Conpes 3344. Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, 2010.** Boletín censo general 2005, Itagüí Antioquia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2010. 6 pp.
- EUROPEAN COMMISSION, 2001.** Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programs on the environment. Official Journal of the European Union. In <http://eur-lex.europa.eu/en/index.htm>
- FINNVEDEN G., M. NILSSON, J. JOHANSSON, A. PERSSON, A. MOBERG & T. CARLSSON, 2003.** Strategic environmental assessment methodologies –applications within the energy sector. *Environmental Impact Assessment Review*, 23 (1): 91 - 123.
- FISCHER T., M. MATUZZI & J. NOWACKI, 2010.** The consideration of health in strategic environmental assessment (SEA). *Environmental Impact Assessment Review*, 30 (3): 200 - 210.
- GARFÌ M., L. FERRER-MARTÍ, A. BONOLI & S. TONDELLI, 2010.** Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil. *Journal of Environmental Management*, 92(3): 665-75.
- GÓMEZ, J. 2011.** La evaluación ambiental estratégica en Colombia. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico -CIDC. Editorial UD. 2011. 200 pp.
- HE J., C. BAO, S. TING-FEI, Y. XIAO-XUE, J. DAHE & B. LEX, 2010.** Framework for integration of urban planning, strategic environmental assessment and ecological planning for urban sustainability within the context of China. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(6): 549-560.
- IGNACCOLO, R., S. GHIGO & S. BANDE, 2012.** Functional zoning for air quality. *Environmental and Ecological Statistics*, 20(1), 109–127. Doi:10.1007/s10651-012-0210-7
- ILYAS, S.Z., A.I. KHATTAK, S.M. NASIR, T. QURASHI & R. DURRANI, 2009.** Air pollution assessment in urban areas and its impact on human health in the city of Quetta, Pakistan. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12(3): 291–299. Doi:10.1007/s10098-009-0209-4

- JILIBERTO R. & BONILLA M., 2008.** Guía práctica para formular evaluaciones ambientales estratégicas en Colombia. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá 217 pp.
- KØRNØV L., 2009.** Strategic Environmental Assessment as catalyst of healthier spatial planning: The Danish guidance and practice. *Environmental Impact Assessment Review*, 29 (1): 60 - 65.
- LOBOS V. & M. PARTIDÁRIO, 2010.** Rationale behind the current practice in Strategic Environmental Assessment (SEA). 30th Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment, Geneva.
- LOZADA, C., 2011.** Evaluación Ambiental Estratégica de la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá: Colombia. Inédito.
- MING-LONE L., Y. SHIN-CHENG & Y. YUE-HWA, 2006.** Reconstruction and systemization of the methodologies for strategic environmental assessment in Taiwan. *Environmental Impact Assessment Review*, 26 (2): 170– 184.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2006.** Resolución 0627 de Abril 7 de 2006. Por el cual se establece la norma nacional para las emisiones de ruido ambiental. *Diario Oficial, Colombia*. 46 (239): pp 17.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2010.** Resolución 0610 del 24 de Marzo de 2010. Por el cual se modifica la resolución 0601 de 2006 que establece los estándares de calidad del aire. *Diario Oficial Colombia*. 47 (672):7-9.
- MINISTERIO DE SALUD, 2000.** Resolución 3374 de Diciembre 27 de 2000. Por la cual se reglamentan los datos básicos que deben reportar los prestadores de servicios de salud y las entidades administradoras de planes de beneficios sobre los servicios de salud prestados. *Diario Oficial Colombia*. 48: (226).
- NGUYEN, D & N. COOWANITWONG, 2010.** Strategic environmental assessment application for sustainable transport-related air quality policies: a case study in Hanoi City, Vietnam. *Environment, Development and Sustainability*, 13 (3): 565–585. Doi:10.1007/s10668-010-9277-1
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS, 2006.** Applying Strategic Environmental Assessment: Good Practice Guidance for Development Co-operation. DAC Guidelines and Reference Series.
- PIÑA, W., 2010.** Las posibilidades de la evaluación estratégica ambiental integrada: elementos para la reflexión sobre la sostenibilidad urbana en Colombia. *Desafíos*, 22 (2): 181 - 237.
- POLITECNICO COLOMBIANO JAIME IZASA CADAVID, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA Y ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2007.** Elaboración del mapa acústico y del mapa de concentraciones de monóxido de carbono -CO- para el municipio de Itagüí – Antioquia. CONVENIO 680 DE 2005. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2007.** Universidad Nacional de Colombia. Página principal <http://www.unalmed.edu.co/redaire>

**RETIEF F., JONES C., JAY S., 2008.** The emperor's new clothes—Reflections on strategic environmental assessment (SEA) practice in South Africa. *Environmental Impact Assessment Review*, 28 (7): 504–514.

**RODRÍGUEZ, J., 2009.** Contaminación Ambiental y enfermedades respiratorias. *Métodos en Ecología y Sistemática*, 4 (1): 29-34.

**RUNHAAR H. & P. DRIESSEN, 2007.** What makes strategic environmental assessment successful environmental assessment? The role of context in the contribution of SEA to decision-making. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 25 (1): 2 - 14.

**SAATY, T., 1990.** How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operation Research*, 48 (1): 9-26.

**UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME , 2009.** Planning Sustainable Cities: Global Report on Human Settlements 2009. United Nations Human Settlements Programme.

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2001.** Estudio de la formación de contaminantes fotoquímicos mediante modelización matemática y los efectos en la salud. Proyecto de Investigación Contrato 340 de 2001 Universidad Pontificia Bolivariana y Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín, Inédito.

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA & ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2006.** Implementar un Modelo de Simulación Atmosférica y un Sistema de Información Metropolitano de la Calidad del Aire - SIMECA, 2007. Contrato 661 de 2004. Medellín, Inédito

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA & ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2007.** Fortalecimiento de la red de monitoreo de la calidad del aire en el valle de Aburrá con medidores pasivos. Convenio Interadministrativo No. 606 de 2005. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Informe de Avance No. 5.

**WU J., I. CHANG, O. BINA, K. LAM & H. XU, 2011.** Strategic environmental assessment implementation in China – Five-year review and prospects. *Environmental Impact Assessment Review*, 31 (1): 77 - 84.