

Documentos



Fotografía: Ciénaga de Ayapel
por Néstor Aguirre

*Artículos sobre
otros temas de
Investigación
Ambiental*

Estudio de alternativas para el mejoramiento de la calidad del aire en el municipio de Itagüí,

resultado de un análisis bajo el esquema de análisis Energía Ambiente Economía con el modelo MARKAL y la Evaluación de metas

Recibido para evaluación: 10 de Julio de 2008
Aceptación: 1 de Agosto de 2008
Recibido versión final: 21 de Agosto de 2008

Luis A. Builes¹
Maria Cristina Franco¹
Claudia C. Rave¹
Ricardo A. Smith²

RESUMEN

Enmarcado en una propuesta metodológica para la formulación de lineamientos de acción para el mejoramiento de la calidad del aire en el Municipio de Itagüí, se emplea un modelo de optimización multi-periodo, basado en programación lineal, del tipo Energía-Ambiente-Economía (MARKAL-estándar) y una metodología de Evaluación de metas normativas, para el análisis prospectivo de alternativas integrales de intervención en los sectores industria, transporte y de apoyo para la evaluación de normativa territorial en el municipio de Itagüí. Los resultados ofrecen información e indicadores transversales a diferentes aspectos que configuran la problemática de la calidad del aire y aportan una herramienta útil para la integración de aspectos asociados al mejoramiento de la calidad del recurso en la planeación local. La metodología es replicable en otros municipios del Valle de Aburrá

PALABRAS CLAVE: Modelamiento Energía Ambiente Economía, Markal, Recurso aire, Metodología integrada, Prospectiva

ABSTRACT

For the integrated analysis and assessment of the air quality improvement guidelines in the Aburra Valley region and its municipality Itagüí, it is used a multi-period optimization model Markal for an Energy-Environment-Economy scenario analysis on industry and transport sector and, a Targets evaluation methodology for policy assessment on air quality, environmental noise and morbidity. The methodological approach offers the possibility to integrate different variables and decisions to analyze this very complex problem, review different technological scenarios and to analyze their relationships with land use policies among others. The results provide a more integrated panorama of the air quality problematic to policy design and assessment including externalities indicators. The proposed methodology is replicable in other municipalities of the region .

KEY WORDS: Energy Environment Economy Modeling, Markal, Air resource, Integrated methodology and Prospective.

1. M.Sc (C), I.C. Investigador.
1. M.Sc (E), I.F. Investigadora.
1. M.Sc. Investigadora.
Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
2. Ph.D. Ricardo A. Smith, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

elbuiles@gmail.com,
grupoeae@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Estudios sobre variables relacionadas con la calidad del aire en el Valle de Aburrá, AMVA (Unalmed y AMVA, 2007; UPB y AMVA, 2006 y AMVA 2007a), han identificado a la Zona Sur, especialmente a la jurisdicción del municipio de Itagüí (ver: Figura 1) como foco y receptor de los mayores niveles de contaminación del recurso aire en la región. En la Tabla 1, se presentan los porcentajes de emisión de material particulado para el municipio de Itagüí y su porcentaje con respecto a los municipios del Valle de Aburrá.

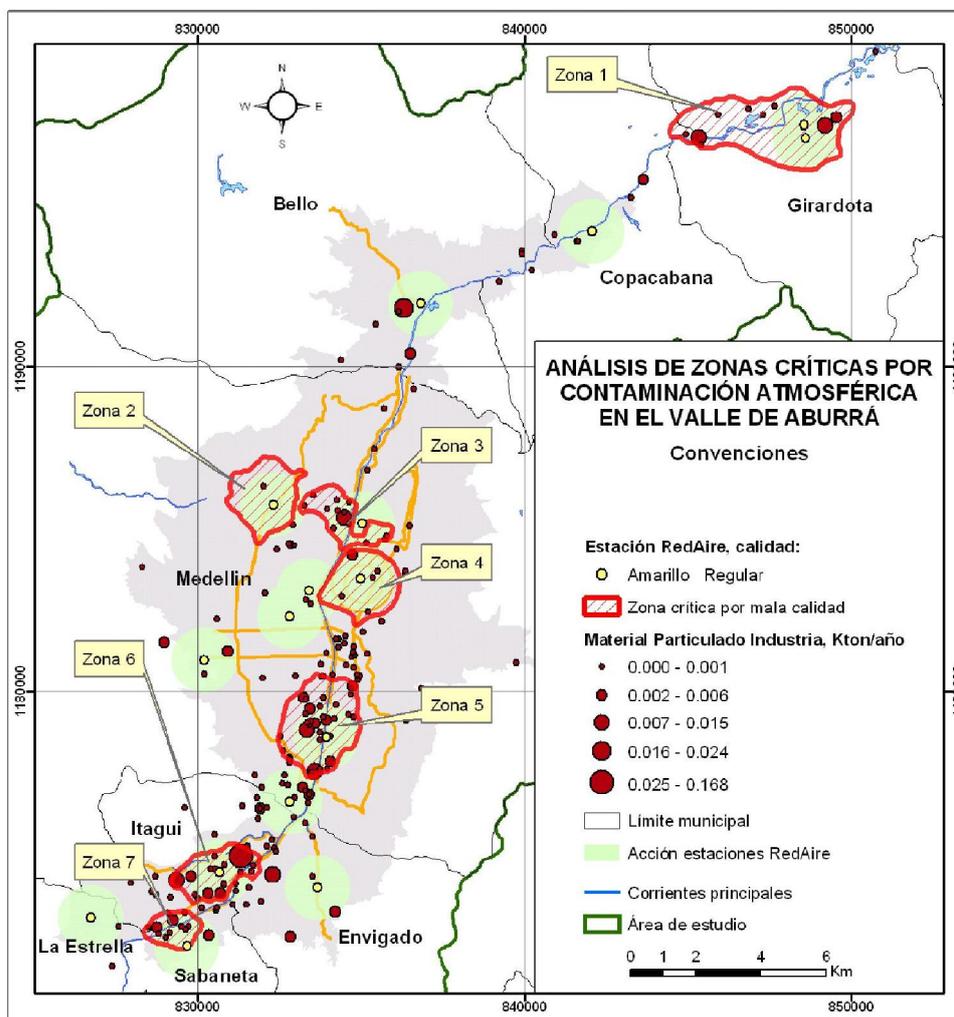


Figura 1. Zonas críticas por contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá, definidas en el marco del proyecto POMCA.

Según el Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca del Río Aburrá (Unalmed, AMVA, Cornare, Corantioquia, 2007), el municipio de Itagüí contiene 2 de las 7 zonas críticas (Figura 1) por calidad del aire y presenta los más altos índices de emisión de Material Particulado (PM10) industrial y de transporte en el contexto regional (Tabla 1).

	Zona 6 Itagüí	
	Industria	Transporte
Emisión (Ton/año)	235	24,69
Porcentaje del AMVA	25%	4,7%

Tabla 1. Emisiones industriales y de transporte de Material Particulado (PM_{10}) en la zona crítica número 6 en el municipio de Itagüí.

En consideración a los altos costos ambientales, económicos y a los efectos que éstos representan sobre la calidad de vida de los ciudadanos de los municipios de la región, se desarrolló una metodología de estudio de alternativas para el mejoramiento del recurso aire con base en el modelamiento Energía-Ambiente-Economía (EAE) y Escenarios Meta para su aplicación en el Valle de Aburrá, el cual es aplicado como caso piloto en el municipio de Itagüí, con el fin de apoyar la definición de las mejores estrategias a implementar de manera integral para mitigar el deterioro de la calidad del aire.

La metodología diseñada para el análisis de alternativas de mejoramiento de la calidad del recurso está compuesta por tres fases: 1-*Construcción de Línea Base*, 2-*Desarrollo de diagnóstico* y 3-*Formulación de lineamientos de acción*. En las dos primeras fases se definieron, a partir de información secundaria recopilada de proyectos de investigación y de análisis sobre el recurso aire para todo el Valle de Aburrá, las problemáticas y conflictos del municipio piloto referentes a la calidad del recurso aire y las principales alternativas contempladas en la escala local y nacional para el mejoramiento del recurso aire (DNP, 2005; AMVA, 2002 y Unalmed y AMVA, 2007a) y se delimitaron zonas consideradas como de intervención prioritaria para la gestión dentro de los procesos de ordenamiento territorial y ambiental.

La tercera fase corresponde al análisis prospectivo de la calidad del recurso a través del modelamiento de escenarios o alternativas para la reducción de emisiones de contaminantes (Modelamiento EAE) y el análisis de impactos como la morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias y el ruido ambiental, entre otros (Escenarios Meta). Las herramientas empleadas ofrecen indicadores económicos, energéticos y ambientales para evaluar los impactos de diferentes proyectos a implementarse a nivel local, e identifican las necesidades del municipio para alcanzar los niveles establecidos por las normas vigentes para el recurso aire.

La comparación de los escenarios de innovación con un escenario tendencial muestra los beneficios de las diferentes alternativas para el municipio y son la base para la formulación de lineamientos de acción que dan pautas a las entidades ambientales y territoriales, en el proceso de mejoramiento del recurso aire.

Los resultados del estudio evidenciaron la necesidad de implementar combustibles más limpios en los sectores industria y transporte, para alcanzar los niveles de emisiones de contaminantes propuestos en los programas de descontaminación, y ésto a su vez redundaría en una reducción considerable en la morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias. Igualmente se evidenció la necesidad de un programa educativo para la concientización de los problemas del recurso aire en la comunidad del municipio de Itagüí.

2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN ITAGÜÍ

La metodología de trabajo está basada en la propuesta de una visión sistémica alrededor de las distintas variables que influyen sobre la calidad del aire en Valle de Aburrá, y el análisis prospectivo del mejoramiento del recurso a través de la modelación de escenarios y la evaluación de metas normativas que representan las diferentes alternativas para el mejoramiento de la calidad del recurso, actualmente en discusión o ejecución. La información es de carácter secundario y corresponde a las diferentes iniciativas para el estudio del recurso aire en la región. La Figura 2 describe las tres fases que conforman la metodología propuesta: 1-*Construcción de la línea base*, 2-*Desarrollo del diagnóstico* y 3-*Formulación de lineamientos y políticas*.



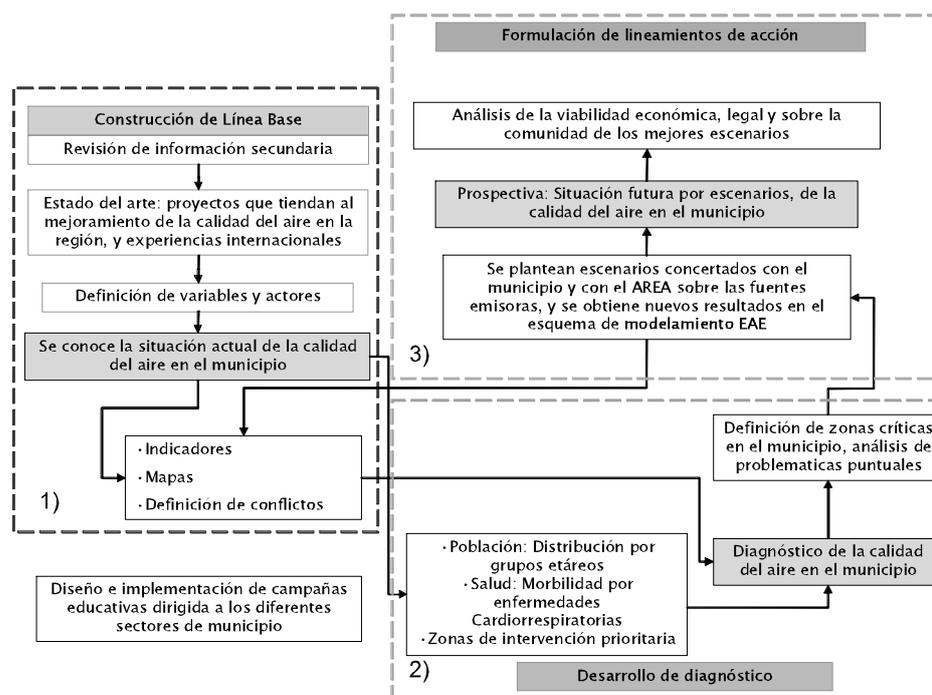


Figura 2. Esquema metodológico para el desarrollo del estudio.

La fase 1 -*Construcción de la línea base* se basó en la identificación y reconocimiento de las variables que definen las problemáticas de contaminación generales y particulares en el municipio de Itagüí, sustentada en la revisión, el análisis y procesamiento de la información secundaria disponible. La línea base presenta los resultados para el año 2006 (año de referencia) y representa una recopilación y análisis del estado del arte sobre el recurso aire en la región presentada en 5 capas principales de información con diferentes niveles de desagregación¹: **1-Emissiones de contaminantes, 2-Calidad del aire, 3-Usos del suelo, 4-Emissiones de Ruido y 5-Morbilidad.**

En la fase 2-*Desarrollo del Diagnóstico*, se valoró la problemática del recurso aire en el municipio, mediante la generación de indicadores y de mapas temáticos resultado del cruce y superposición de la información recopilada en la línea base. En esta fase se delimitaron zonas con problemas por calidad del aire, ruido ambiental y afectación a la comunidad por enfermedades cardiorrespiratorias.

En el diagnóstico se definieron también zonas que presentan una mayor criticidad asociada a conflictos por calidad del recurso aire, morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias y densidad poblacional, las cuales requieren prelación en atención para el control y el mejoramiento de la calidad del aire. Estas zonas definidas en el desarrollo del diagnóstico e identificadas como **Zonas de intervención prioritaria** son la base para la formulación y priorización de estrategias e intervenciones en el municipio.

La fase 3-*Formulación de lineamientos de acción* (ver: Figura 3) se fundamentó en la discusión entre los actores involucrados en el desarrollo del proyecto y asociados a la problemática de la calidad del aire, para la definición de posibles alternativas para el mejoramiento del recurso (escenarios). Esta fase metodológica se desarrolló mediante el empleo de herramientas de modelación y análisis prospectivo de escenarios de evolución de las diferentes variables principales definidas en la fase 1. Se emplearon dos herramientas para el análisis de escenarios, la modelación bajo el esquema EAE, y la Evaluación de metas.

¹ Modelo de emisiones para el Valle de Aburrá (MARKAL) Unalmed, AMVA, 2007a, Unalmed y AMVA, 2007b, Modelo de dispersión de contaminantes para el Valle de Aburrá (SIMECA) UPB y AMVA, 2006. Mediciones de calidad del aire en el municipio de Itagüí, UdeA, UPB y CORANTIOQUIA, 2006, Usos del suelo tomados del POT, 2007 del municipio de Itagüí y Mapa de ruido para la zona urbana del municipio de Itagüí PCIC, Unalmed y AMVA, 2007

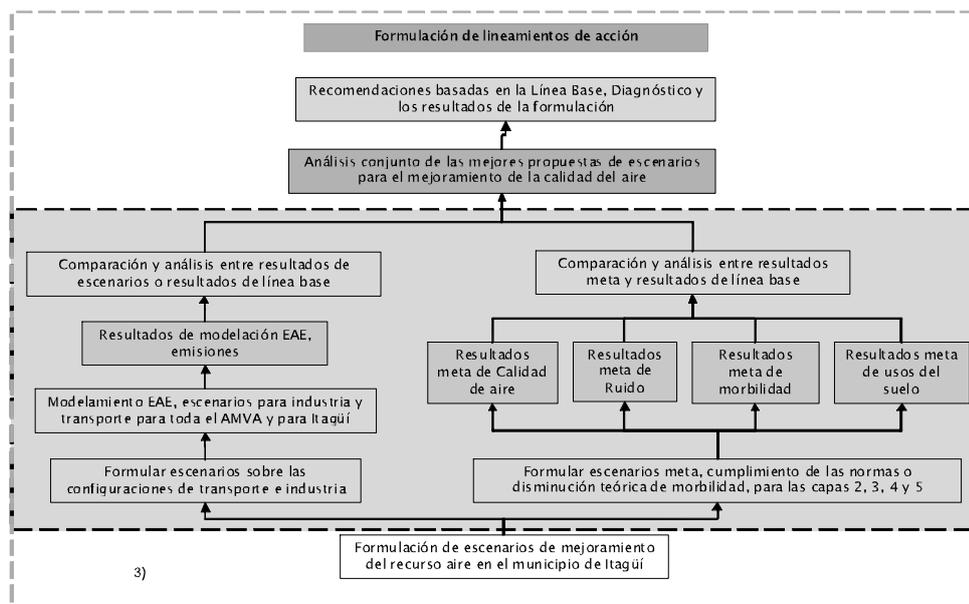


Figura 3. Ampliación a la fase 3 del esquema metodológico general, Formulación de Lineamientos de Acción.

3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL RECURSO AIRE EN ITAGÜÍ

Para el análisis de alternativas de mejoramiento de la calidad del aire en la fase 3, se empleó una metodología para la evaluación de escenarios prospectivos empleando el modelamiento Energía Ambiente Economía (Modelo MARKAL) y la Evaluación de metas a nivel normativo.

3.1. Modelamiento Energía Ambiente Economía –EAE-

Con el modelamiento EAE (modelo MARKAL, www.etsap.org), se ha venido trabajando de forma continua en el análisis de alternativas de planificación de los sectores industria y transporte del Valle de Aburrá con criterios energéticos, económicos y ambientales (reducción de contaminantes) para el análisis de externalidades y el apoyo a la toma de decisiones en el diseño y seguimiento de proyectos en dichos sectores.

Para esta aplicación, se evaluaron para los sectores industria y transporte en el municipio, escenarios adicionales de eficiencia energética, sustitución o innovación tecnológica sobre las fuentes de emisión, definidos a partir del análisis de proyectos o alternativas tecnológicas, regulatorias o de planeación para la reducción de emisiones atmosféricas. Se obtuvieron entonces resultados de carácter prospectivo de configuración de escenarios de emisiones de distintos contaminantes para el municipio (capa 1). La modelación se apoyó en el modelo Markal estándar (Goldstein et al, 2003 y Haurie, 2001).

Para la formulación de dichos escenarios fue necesaria la recopilación de las demandas industriales y de transporte del municipio (Unalmed, AMVA, 2007a), además de una serie de parámetros económicos, técnicos y ambientales de las alternativas tecnológicas empleadas en cada sector para satisfacer las diferentes demandas energéticas (automóviles, camiones, calderas, hornos, etc).

Configuración de la modelación

Para el sector industrial, se consideraron 61 industrias de todos los subsectores industriales presentes en la región y se consideró la red vial principal (vías arterias + colectoras) para todos los modos de transporte existentes en el municipio (Figura 4). El horizonte de planificación en el caso del sector industrial comprendió el periodo 2004- 2022 y para el sector transporte el periodo 2002-2020.

Para adelantar la modelación, fue necesaria una caracterización de los procesos de consumo energético en los sectores industria y transporte. Se evaluaron diferentes alternativas para la disminución de las emisiones atmosféricas en las fuentes industriales y de transporte, representadas en 10 escenarios para el sector industria y 8 para el sector transporte (Tabla 3).

Cada escenario representa una posible alternativa contemplada dentro de los planes y proyectos de las entidades territoriales y ambientales de la Región Metropolitana, y se evalúa la emisión de los contaminantes Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Material Particulado (TSP), Óxido de Nitrógeno (NO_x) y Dióxido de Azufre (SO₂).

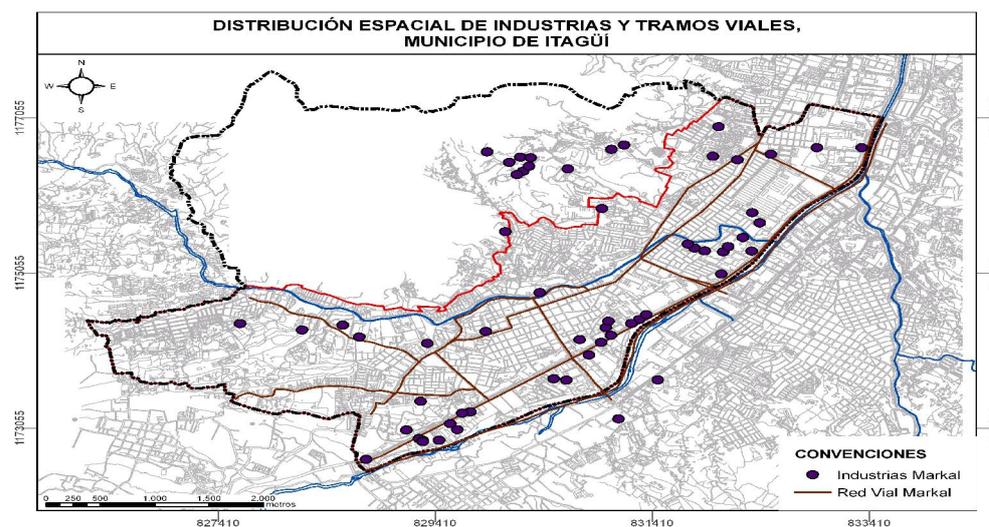


Figura 4. Dominio espacial de las industrias y tramos viales modelados mediante el esquema EAE, para el municipio de Itagüí.

En las Tablas 4 y 5, se presentan los resultados económicos, ambientales y energéticos, agregados para todo el horizonte de planificación (2002– 2020), para los escenarios modelados y evaluados para los sectores industria y transporte.

En el sector industria, se encuentra que el escenario de masificación del Gas Natural (ITGIN003) presenta una reducción del 62% en las emisiones de Material Particulado (TSP), 52% en las emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) y 32% en las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO_x), para todo el horizonte de planificación.

Se evaluaron escenarios con restricciones o techos de emisión, entre los cuales un escenario de restricción de hasta el 70% de las emisiones totales (ITGIN007) se traduce en una reducción de emisiones de TSP del 54% con un aumento en los costos con respecto al escenario ITGIN001 del 41%.

Al comparar el escenario ITGIN001 que representa las condiciones actuales del sector industria, con el escenario ITGIN002 que representa el mejoramiento en las eficiencias de los equipos industriales, se encuentra que hay una disminución en los costos del 5% y que los ahorros se obtienen gracias a las mejores prácticas industriales.

Escenario	Sector	Descripción
BASE		Sin restricciones
ITGIN001		Condiciones actuales industria (inercial)
ITGIN002		Mejoramiento de eficiencias del 10% en caldera y hornos
ITGIN003		Penetración del Gas natural en la industria
ITGIN004	Industria	Empleo de equipos de control
ITGIN005		Techo de emisión TSP del 20%
ITGIN006		Techo de emisión TSP del 50%
ITGIN007		Techo de emisión TSP del 70%
ITGIN008		Cumplimiento del programa de cupos transables 2008 - 2015
ITGIN009		Cumplimiento del programa de cupos propuesta 2008 - 2022
BASE		Condiciones actuales transporte
ITGTR001		Penetración del Gas Natural Vehicular (GNV) en el parque automotor
ITGTR002		Integración modal y Metroplús operado con GNV
ITGTR003	Transporte	Integración modal y Metroplús operado con Eurodiesel 2 (ED2)
ITGTR004		Integración modal y Metroplús Diesel local
ITGTR005		Integración, Metroplús GNV y penetración del GNV en el parque automotor
ITGTR006		Integración, Metroplús ED2 y penetración del GNV en el parque automotor
ITGTR007		Cumplimiento de la propuesta del programa de cupos 2008 - 2015

Tabla 3. Escenarios de modelación bajo el esquema Energía Ambiente Economía

Escenario	Costos Totales 2001 \$US M	Emisiones totales		Emisiones totales		Emisiones totales		Emisiones totales		Energía final total TJ
		CO	CO ₂	TSP	NOx	SO ₂	Ton	Ton		
		Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton		
BASE	227	15,000	13,968,000	15,000	26,000	158,000	116,290			
ITGIN001	344	11,000	13,872,000	13,000	25,000	153,000	113,260			
ITGIN002	325	11,000	12,517,000	13,000	25,000	138,000	102,410			
ITGIN003	641	7,000	13,489,000	5,000	17,000	72,000	129,690			
ITGIN004	344	11,000	13,872,000	11,000	25,000	153,000	113,260			
ITGIN005	355	10,000	13,711,000	11,000	25,000	150,000	113,320			
ITGIN006	414	8,000	12,661,000	8,000	21,000	120,000	108,940			
ITGIN007	485	6,000	11,641,000	6,000	17,000	89,000	105,230			
ITGIN008	355	10,000	13,656,000	11,000	25,000	148,000	113,040			
ITGIN009	356	10,000	13,631,000	11,000	25,000	148,000	112,910			

Tabla 4. Comparación global de escenarios para el sector industria. Variables acumuladas para el horizonte de planificación. Costos totales descontados en Millones de Dólares de 2001 (2001 \$US M), emisiones por contaminante en Ton, y energía total en TJ.

Escenario	Costos Totales 2001 \$US M	Emisiones totales		Emisiones totales		Emisiones totales		Emisiones totales		Energía final total TJ
		CO	CO ₂	TSP	NOx	SO ₂	Ton	Ton		
		Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton		
BASE	329,633	107,390	1,515,001	1,385	19,667	3,456	29,692			
ITGTR001	329,625	93,907	1,446,545	1,032	16,095	3,756	29,889			
ITGTR002	345,151	99,115	1,324,135	1,069	16,070	2,935	28,690			
ITGTR003	345,154	96,924	1,297,487	1,075	16,257	2,823	28,763			
ITGTR004	345,154	97,196	1,360,299	1,148	16,644	3,070	28,815			
ITGTR005	345,145	86,930	1,279,641	837	13,609	3,235	28,891			
ITGTR006	345,154	96,924	1,297,487	1,075	16,257	2,823	28,763			
ITGTR007	329,628	100,769	1,472,813	1,145	17,733	3,635	29,801			

Tabla 5. Comparación global de escenarios para el sector transporte. Variables acumuladas para el horizonte de planificación. Costos totales descontados en Millones de Dólares de 2001 (2001 \$US M), emisiones por contaminante en Ton, y energía total en TJ.

En el sector transporte, al compararse los escenarios que representan condiciones de integración modal en el transporte y la ejecución de Metroplús con diferentes energéticos (ITGTR003, ITGTR004, ITGTR005), las mayores disminuciones en emisiones de Material Particulado, Óxidos de Nitrógeno y Monóxido de Carbono se obtienen en el escenario que representa una operación del sistema Metroplús con GNV (ITGTR005), las cuales son de aproximadamente el 40%, 31% y 19% respectivamente.

Para los escenarios que representan la integración modal, operación de Metroplús y masificación del GNV en el parque automotor (ITGTR005 y ITGTR006), se logra la mayor reducción de emisiones de MP, aproximadamente 40%, cuando la operación de Metroplús se hace mediante GNV (ITGTR005).

Las Figuras 5 y 6 ilustran de forma comparativa entre escenarios, los resultados de emisiones totales en el horizonte de planeación para material particulado.

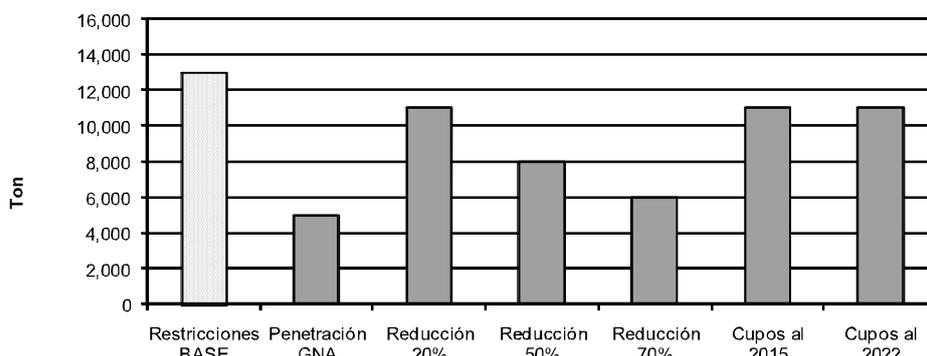


Figura 5. Emisiones totales de TSP en Toneladas para todo el horizonte de planeación en el sector industrial.

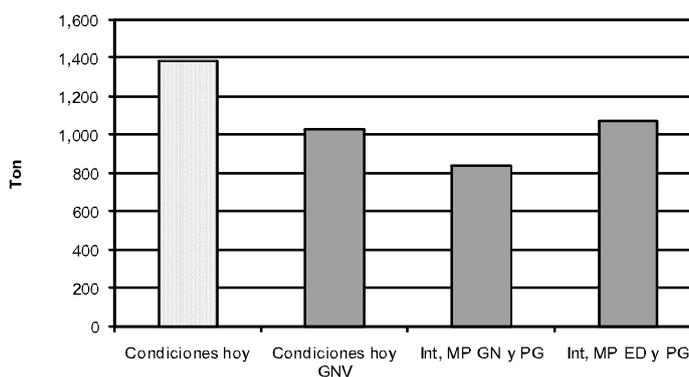


Figura 6. Emisiones totales de TSP en Toneladas para todo el horizonte de planeación en el sector transporte.

3.2. Evaluación de Metas

Las metas se plantean con base en: *restricciones que presentan las normas nacionales* (Resoluciones 601 y 627 de 2006), *conceptos tomados de la Organización Mundial de la Salud*, (OMS, 1999 y OPS, 2007) y *proyectos para la descontaminación de la región* (AMVA, 2007). Los escenarios meta representan la situación *ideal* a la cual se pretende llegar en materia de concentración de contaminantes, ruido ambiental y disminución de las tasas de morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias. Estas metas están ligadas a las capas *Calidad del aire*, *Usos del suelo*, *Ruido ambiental* y *Morbilidad*.

La evaluación de metas surge como propuesta para el análisis prospectivo de las variables morbilidad, ruido ambiental y concentraciones de contaminantes (calidad del aire). Estas variables, por su peso en la toma de decisiones, son de gran importancia y relevancia para la metodología, y son consideradas como de difícil proyección, estimación y modelación, debido a las altas incertidumbres asociadas a las escalas temporal y espacial y a las relaciones indirectas de estas variables de análisis y aquellas que determinan el cambio en las configuraciones de los sectores industrial y de transporte.

Las metas equivalen, para este análisis, a los estándares normativos nacionales e internacionales. En el caso de las variables calidad del aire (UPB, 2006 y Redaire, 2007) y ruido ambiental (PCJIC, Unalmed y AMVA, 2007), se evaluaron las metas de cumplimiento de la norma nacional colombiana de calidad del aire y de ruido ambiental.

En calidad del aire, se estiman los porcentajes de reducción de concentraciones requeridos para alcanzar los niveles propuestos para TSP, PM_{10} y Benceno según la Resolución 601 de 2006;

el análisis se basa en las concentraciones reportadas en las estaciones analizadas en el municipio.

Para el ruido ambiental, se hace un análisis basado en las diferencias entre las normas para ruido ambiental por uso del suelo (Resolución 627 de 2006) y los niveles de ruido por uso registrados en los mapas de ruido ambiental diurno y nocturno (ver: Figura 7).

Para la variable morbilidad, se hace un análisis de la distribución geográfica de las enfermedades cardiorrespiratorias en el municipio a partir del levantamiento y análisis de registros de consultas, hospitalizaciones, urgencias y procedimientos y los costos asociados a éstos.

Estos análisis ofrecen información para el diseño de estrategias y prioridades en la implementación y desarrollo de proyectos.

La Figura 7 presenta el mapa con indicadores resultantes sobre los requerimientos para cumplir la norma nacional de ruido ambiental. Para alcanzar la norma se requiere reducir más 26% del ruido ambiental de la línea base en muchos polígonos de usos residencial.

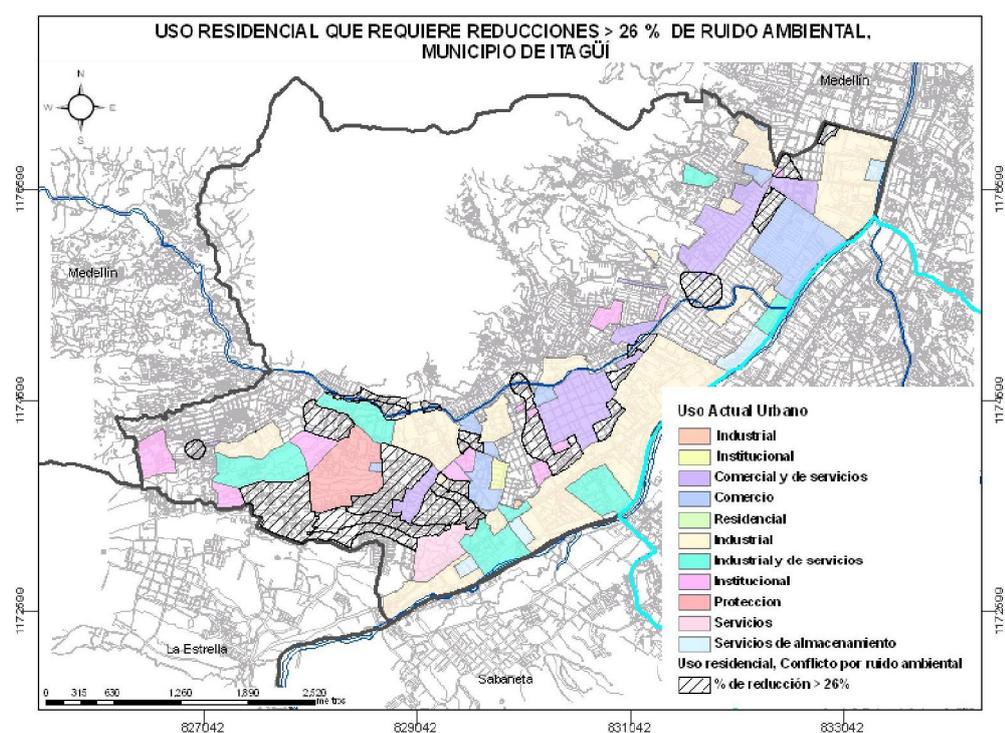


Figura 7. Usos del suelo residenciales que requieren una reducción de más del 26% del ruido ambiental.

De forma complementaria, se propone un sencillo análisis de externalidades por contaminación, basado en los resultados de la evaluación por metas y los escenarios EAE modelados, que aporte elementos para analizar el efecto positivo o negativo de los proyectos (escenarios) propuestos para el mejoramiento de la calidad del recurso aire.

Algunas de las más importantes externalidades de análisis se refieren a los impactos de la contaminación sobre la salud humana y los costos de los sistemas de salud. La Organización Mundial de la Salud, OMS, propone una relación entre la reducción de las concentraciones de PM₁₀ y la reducción de la morbilidad y mortalidad por enfermedades cardiorrespiratorias (OPS, 2007) a partir de la cual se propone el análisis en este proyecto, mientras continúa la investigación en este campo específico en la región.

La relación propuesta por la OMS (18.3% de reducción en enfermedades cardiorrespiratorias por cada 10 µg/m³ de reducción en PM₁₀) se basa en las reducciones en la concentración de PM₁₀

en la atmósfera mientras que los escenarios EAE ofrecen como resultado reducciones en las emisiones. La relación entre emisiones y concentraciones no es directa y su análisis no es trivial, pero para efectos de esta estimación, se parte de las relaciones establecidas en los análisis y diseños del programa de cupos transferibles para el Valle de Aburrá (AMVA, 2007). La propuesta de cupos transferibles se basa en una disminución de hasta 13% en las emisiones de TSP para un período de 8 años (2008–2015) que se espera redunde en una reducción de igual proporción en las concentraciones de TSP con respecto a la línea base del contaminante. Para el municipio de Itagüí una reducción propuesta de esta naturaleza implica un paso en TSP de 102.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio anual 2006) a 84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el período propuesto de análisis, para una diferencia de 18.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Adicionalmente para el Valle de Aburrá se ha estimado una relación de 59% $\text{PM}_{10}/\text{TSP}$ (AMVA, 2007). La reducción estimada sería entonces de 11.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . (Ver: Tabla 6).

La relación propuesta por la OMS no es una relación lineal, por lo cual sería incorrecto asumir que la disminución esperada en consultas sea entonces del 20.3%. Teniendo en cuenta la incertidumbre en estas aproximaciones, se asume que el valor estimado de 11.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es cercano a los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y que la reducción esperada es del 18,3% en consultas. La línea base de consultas se basa en los Registros Individuales de Prestación de Servicios en salud (RIPS, 2006) para beneficiarios del SISBEN en el municipio, en la cual se levantaron 34.817 consultas. Así, aplicando la reducción estimada en consultas del 18,3%, redundaría en 3.864 casos menos de consultas (Ver: tabla 7). Es importante enfatizar que esto sólo incluye la muestra del SISBEN y los costos asociados a estos casos. Se esperaría una reducción en casos mucho mayor en el municipio, y también un impacto importante sobre urgencias, hospitalizaciones y procedimientos, para los cuales no fue posible alcanzar una estimación en este estudio.

Es necesario avanzar en estudios epidemiológicos para la región que aporten más elementos de análisis para la estimación de externalidades.

Tabla 6. Reducción de la morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias, resultado de la disminución en la concentración de TSP gracias al programa de cupos transferibles de emisión.

Programa de Cupos Transferibles		
Reducción emisiones (PST)	Concentración PST inicial 2005 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentración PST Proyectada 2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13%	102.76	84
Total Esperado de reducción de concentración PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		18.8
Total esperado reducción de concentración PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*		11.1
* Según relación $\text{PM}_{10}/\text{PST}$ (59%)		

Tabla 7. Reducción de la morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias, resultado de la disminución en la concentración de Partículas Suspendidas Totales gracias al programa de cupos transferibles de emisión

Clasificación	Total casos EC 2005 Municipio Itagüí	Costo (Total casos EC 2005) \$	Reducción esperada de casos EC con una reducción de 13% emisiones TSP	Costo (Reducción esperada de casos EC) \$
Consultas	34,817	\$ 463,657,989	3,864	\$ 86,066,579

4. CONCLUSIONES

Esta investigación permitió el análisis conjunto de diferentes fuentes de información secundaria, mediante la definición de una metodología integral para la formulación de lineamientos de acción en el mejoramiento de la calidad del aire.

La metodología incluye el uso de herramientas de carácter prospectivo para el análisis de diferentes escenarios de intervención sobre las variables y actores involucradas con la problemática y para el análisis de externalidades, aportando en la toma de decisiones para el diseño y evaluación de proyectos de mejoramiento de la calidad del recurso. En este artículo, se presentan los principales resultados de modelación asociados al análisis de proyectos de los sectores industria y transporte.

En el diagnóstico de la calidad del recurso aire para el municipio de Itagüí, se encuentra que los Barrios *La Santa Cruz*, *San Juan Bautista*, *Artex* y *Satexco* se encuentran dentro de las zonas críticas por calidad del aire debido a las altas concentraciones de los contaminantes Benceno

y TSP. Se encontró también que los barrios con las tasas más altas de casos de enfermedades cardiorrespiratorias son *San Gabriel* (688 casos por cada 1000 habitantes), *Samaria* (605 casos por cada 1000 habitantes), *Los Naranjos* (529 casos por cada 1000 habitantes) y *La Palma* (456 casos por cada 1000 habitantes). En estos barrios se recomienda una intervención prioritaria además de la puesta en marcha de los diferentes lineamientos de acción formulados de forma global para el municipio, y se considera necesario hacer seguimiento de los indicadores de morbilidad para el análisis de la evolución del número de casos.

Mediante la evaluación de escenarios EAE, se encontró que los mayores beneficios ambientales en el municipio de Itagüí se logran mediante diferentes niveles de masificación del Gas Natural en los sectores industria y transporte, alcanzándose reducciones de emisiones de MP de hasta 62% y 40% respectivamente.

La reducción de emisiones en un 13% aporta a la reducción de casos de enfermedades cardiorrespiratorias en 3.864 casos al año, según la relación empírica propuesta por la OMS, que corresponde a US\$ 22.377 al año aproximadamente. Una disminución del 62% o 40% en las emisiones, como las alcanzadas en los escenarios de masificación del GNA y de integración modal y Metroplús operado con GNV, sería entonces una medida con grandes repercusiones en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del municipio de Itagüí.

Hay necesidades de reducción de contaminantes como el TSP (reducción del 4%) y el Benceno (reducción del 54%) para alcanzar los niveles establecidos en la norma nacional de calidad del aire (Resolución 601 de 2006). La reducción de los niveles de concentración en estos contaminantes se obtiene a través del mejoramiento de los combustibles empleados actualmente.

El ruido en el municipio de Itagüí es un problema que involucra no sólo la combinación de usos de los suelos, sino también un problema de educación y convivencia, que debe ser abordado desde la cultura ciudadana y la educación, con prioridad en las zonas donde se presentan los mayores conflictos. El uso del suelo que requiere mayor reducción de ruido es el Residencial, en el que es necesario reducir desde un 9.1% hasta un 37.5%. Usos como el industrial y el de Servicios son los que requieren menores porcentajes de reducción de ruido ambiental, con promedios de reducción de aproximadamente 12%. Es importante el desarrollo de un análisis de vecindades, con el fin de determinar los aportes al ruido ambiental de los diferentes usos del suelo en el municipio.

BIBLIOGRAFÍA

- AMVA, 2007. a). Política para la prevención y control de la contaminación del aire en el Valle de Aburrá, Documento de Trabajo, Subdirección Ambiental.
- AMVA, 2007. b) Calidad del Aire en el Valle de Aburrá, Presentación de la subdirección Ambiental.
- AMVA, ÁREA Metropolitana del Valle de Aburrá, Agosto, 2005. Diagnóstico del Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá, 2005 - 2020.
- AMVA y U de A. 2007. La contaminación atmosférica y los efectos en la salud. Documento inédito.
- AMVA, 2002. Actualización del plan estratégico ambiental metropolitano – PEAM – 2003 - 2012.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, Julio de 2004. Línea Base. Aspectos Metodológicos.
- Departamento Nacional de Planeación de la República De Colombia. DPN, 2005. Documento Conpes 3344 «Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire».
- Departamento Nacional de Planeación de la República De Colombia. DPN, 2005. Documento Conpes 3344 «Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire».
- Goldstein G., Kanudia A., and Loulou R. 2003. MARKAL an Energy-Environment-Economic Model for Sustainable Development.
- Haurie, A, 2001. MARKAL-LITE, An Energy/Environment Model to Assess Urban Sustainable Development Policies.
- Hernández et al. 2007. Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. En: Salud pública de México. Vol 49 / n° 1. Enero-febrero. p. 27-36.
- Larsen, 2004. Cost of environmental damage: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment.

- Ministerio de vivienda ambiente y desarrollo territorial.
- MAVDT, 2006. a) Resolución 627 Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.
- MAVDT, 2006. b) Resolución 601 Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
- MAVDT, 2006. c) Decreto 979 del 3 de Abril de 2006. Por el cual se modifican los artículos 7, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995.
- Ministerio de Salud, Decreto 02 de 1982. Por el cual se reglamentan parcialmente el título I de la ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas.
- Ministerio del Medio Ambiente, 1995. Decreto 948 De 1995. Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
- Municipio de Itagüí, Universidad Nacional. POT, 2000. Decreto número 259, Plan de Ordenamiento Territorial. Por medio del cual se adopta el plan de ordenamiento territorial en el municipio de Itagüí.
- Municipio de Itagüí, Universidad Nacional. POT, 2007, Revisión al Plan de Ordenamiento Territorial. Documentos en formulación y revisión solo para consulta del grupo de investigación.
- Organización Mundial de la Salud, OMS, 1999. Guidelines for Community noise. [Artículo en Internet]. <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html> [consultado en Octubre de 2007].
- Organización Panamericana de la Salud, 2007. Información y conocimiento en salud. Clasificación internacional de enfermedades. En: www.col.ops-oms.org. [consultado el 10 Septiembre de 2007].
- PCJIC, Unalmed y AMVA, 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. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Registros Individuales de Prestación de Servicios, RIPS, 2006, Dirección local de salud municipio de Itagüí.
- Redaire, 2007. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá – REDAIRE –, 2007. Universidad Nacional de Colombia - Pagina principal <http://www.unalmed.edu.co/redaire>.
- Sistema de Identificación y Clasificación de Potenciales Beneficiarios para los Programas Sociales (SISBEN), Base de Datos 2005.
- UdeA, UdeM y AMVA, 2001. Estudio de material particulado en suspensión en el Valle de Aburrá.
- UdeA, UPB y CORANTIOQUIA, 2006. Unión Temporal UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Construcción de la Línea Base de Calidad del Aire en 15 municipios de la jurisdicción de Corantioquia. Contrato Inter-administrativo No 5915 del 2004.
- Unalmed, 2006. Documento de evaluación y seguimiento del POT de Itagüí Escuela de Planeación Urbano-Regional – Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Unalmed, AMVA, 2007a. «Evaluación de Alternativas para la Planificación Energética Sostenible de los Sectores Industrial y Transporte del Área Metropolitana del Valle De Aburrá». Informe final.
- Unalmed y AMVA, 2007b. 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.
- Unalmed, AMVA, EPM, 2005. «Evaluación Integrada Ambiente - Energía - Economía para la Planificación Sostenible de Núcleos Locales, Caso de Aplicación Área Metropolitana del Valle de Aburrá». Documento final de proyecto. 169 páginas.
- Unalmed, AMVA, Cornare, Corantioquia, 2007. . Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá. Diagnóstico del recurso aire. Documento inédito.
- UPB y AMVA, 2006. Implementar un Modelo de Simulación Atmosférica y un Sistema de Información Metropolitano de la Calidad del Aire - SIMECA-, 2007. Contrato 661 de 2004.