



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí

María Cristina Franco Piedrahita

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Medellín, Colombia
2012

Análisis espacio-temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí

María Cristina Franco Piedrahita I.F.

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Medio Ambiente y Desarrollo

Director (a):
Ph.D. Verónica Botero Fernández

Línea de Investigación:
Calidad del aire, salud y políticas públicas

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Medellín, Colombia
2012

Agradecimientos

Agradezco a la profesora Verónica Botero Fernández por apoyarme en la culminación de este trabajo.

Al municipio de Itagüí por facilitar información relevante para el logro de los objetivos propuestos.

Al grupo REDAIRE-Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por su valioso aporte en la información requerida.

A todos aquellos que de una u otra forma, hicieron parte de este proceso.

Resumen

En diversos estudios, se ha demostrado la relación causa efecto de la contaminación atmosférica sobre la morbilidad, especialmente en enfermedades cardiorrespiratorias. El presente estudio, integra variables asociadas a la contaminación atmosférica y a la morbilidad como base para la definición de áreas con prioridad de intervención desde las políticas públicas, ya sean orientadas a los sectores económicos, al ordenamiento territorial o a la salud pública.

El objetivo general del presente trabajo es, a partir del análisis espacio temporal de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica, lograr la definición de áreas con prioridad de intervención desde las políticas públicas en el municipio de Itagüí.

Este estudio se inició con la modelación a partir de la regresión *Poisson*. Para el caso del municipio de Itagüí, este modelo mostró significancia estadística entre la morbilidad y la contaminación atmosférica, esta última con énfasis en el material particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}).

Después de ratificar esta relación, se procedió al análisis espacial. Para ello, se partió de la caracterización de variables meteorológicas, de calidad del aire, de ordenamiento territorial, de población y de morbilidad como variable determinante, para un periodo de 4 años (2007-2010). Su integración se facilita por el uso de herramientas como los sistemas de información geográfica, específicamente el módulo de análisis espacial, que permite integrar información e indicadores de diferentes fuentes y localizarlos en un espacio común para su análisis y representación.

A partir de la integración de las variables espacializadas, se definieron áreas dentro del municipio que presentan mayor afectación por enfermedades cardiorrespiratorias, áreas de influencia de las fuentes y se determinaron áreas con prioridad de atención.

Lo anterior permite priorizar la actuación en dichas áreas, mediante la implementación de políticas públicas acertadas para el mejoramiento de la calidad del aire y así procurar el bienestar de la población y disminuir los costos asociados a esta problemática, costos que no sólo deben asumir las entidades territoriales y ambientales, sino la población en general a través de una mayor demanda de servicios médicos.

Palabras claves: calidad del aire, enfermedades cardiorrespiratorias, análisis espacial, regresión *Poisson*, política públicas.

Abstract

Several studies have demonstrated the causal relationship of air pollution on morbidity, especially in cardiorespiratory diseases. This study, rather than finding a dose-response relationship, focuses on integrating environmental variables, territorial, demographic and morbidity for the definition of priority areas of intervention from public policy, whether oriented economic sectors, land or public health.

The overall objective of this paper is based on the analysis of space-time the morbidity associated with air pollution, towards identifying priority areas of intervention from public policy in the municipality of Itagui.

This study begins with the modeling from the Poisson regression. To the municipality of Itagui, this model clearly shows a positive relationship between air quality and morbidity associated with air pollution, the latter with particular emphasis on Particulate matter smaller than 2.5 microns (PM_{2.5}).

Since the ratification of this relationship, we proceed to the spatial analysis. This is part of the characterization of meteorological variables, air quality, land use, population and disease as a determining variable for a period of 4 years (2007-2010). Their integration is facilitated by the use of tools such as geographic information systems and specifically the spatial analysis module, which allows integration of information and indicators from different sources and locate them in a common space for analysis and representation.

From the integration of spatialized variables were defined within the township areas that are most affected by cardio-respiratory diseases, areas of influence of sources and identified priority areas of attention.

This, to prioritize action in these areas, by implementing sound public policies to improve air quality and thus seek the welfare of the population and reduce the costs associated with this problem, costs must not only assume the authorities and environmental, but the general population through increased demand for medical services.

Key words: air quality, cardiopulmonary diseases, spatial analysis, *Poisson* regression, public policy.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Abstract.....	IX
Lista de figuras.....	XII
Lista de tablas	XIV
Introducción.....	1
1. Antecedentes.....	3
1.1 Contaminación atmosférica y morbilidad.....	3
1.2 Calidad del aire y normatividad.....	5
1.3 Análisis espacial multicriterio	10
2. Metodología	12
2.1 Morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias	12
2.2 Susceptibilidad de la población.....	16
2.3 Sectores potenciales a intervenir	17
2.4 Modelación de la contaminación atmosférica y la morbilidad por ECR.	19
3. Caracterización de la información	23
3.1 Caracterización del área de estudio.....	23
3.2 Recopilación de información.....	33
3.3 Análisis espacial multicriterio	39
4. Resultados.....	45
4.1 Calidad del aire.....	45
4.2 Caracterización de la morbilidad.....	52
4.3 Modelación calidad del aire y morbilidad por ECR.....	59
4.4 Análisis espacial multicriterio	65
5. Conclusiones y estudios futuros	75

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. Factores que intervienen en la contaminación atmosférica y la salud	4
Figura 2-1. Bases de datos de los RIPS para integrar a la capa de información de morbilidad por ECR.....	13
Figura 2-2. Modelo para obtener cada subcapa de morbilidad.....	14
Figura 2-3. Modelo para lograr la subcapa repeticiones.....	15
Figura 2-4. Modelo para integrar las variables morbilidad y repeticiones	16
Figura 2-5. Modelo para obtener la capa de susceptibilidad de la población.....	18
Figura 2-6. Integración de las subcapas para definir las áreas con sectores potenciales a intervenir.....	19
Figura 2-7. Integración de las capas para definir las áreas con prioridad de intervención.....	20
Figura 3-1. Ubicación geográfica del municipio de Itagüí	23
Figura 3-2. División político administrativa del municipio de Itagüí	24
Figura 3-3. Pirámide poblacional del municipio de Itagüí -DANE-	25
Figura 3-4. Distribución espacial de los usos del suelo en el municipio de Itagüí	28
Figura 3-5 Jerarquización vial en el municipio de Itagüí	29
Figura 4-1. Rosa de vientos estación Ditaires	31
Figura 4-2. Frecuencias relativas velocidad del viento	31
Figura 4-3. Velocidad promedio horaria para el viento en la estación Ditaires.....	32
Figura 4-4. Precipitación total mensual en la estación Ditaires.....	33
Figura 3-6. Información del SISBEN relevante para el estudio.....	35
Figura 3-7. Estaciones de monitoreo de calidad de aire y variables meteorológicas en el municipio.....	35
Figura 3-8. Disponibilidad de información sobre lugar de mayor exposición	37
Figura 3-9. Industrias y estimaciones de emisiones de material particulado.....	39
Figura 3-10. Tramos viales y estimaciones de emisiones de material particulado.....	40
Figura 3-11. Nodos para espacializar la información de morbilidad.....	41
Figura 4-5. Gráficos de dispersión y diagramas de cajas para el Material Particulado	46
Figura 4-6. Comparación registros de monitoreo PM2.5 con la normatividad.....	47
Figura 4-7. Comparación registros de monitoreo PM10 con la normatividad.....	47
Figura 4-8. Categorías de AQI en las estaciones de influencia	49
Figura 4-9. Densidad de población por barrios.....	26
Figura 4-10. Porcentaje de población susceptible a ECR.....	50
Figura 4-11. Porcentaje de población en hacinamiento.....	51
Figura 4-12. Porcentaje de la población con viviendas de calidad deficiente.....	51
Figura 4-13. Porcentaje de consultas por ECR con respecto al total.....	53

Figura 4-14. Porcentaje de hospitalizaciones por ECR con respecto al total	53
Figura 4-15. Porcentaje de urgencias por ECR con respecto al total.....	54
Figura 4-16. Porcentaje según género en las consultas por ECR.....	54
Figura 4-17. Porcentaje según grupos etéreos en las consultas por ECR	55
Figura 4-18. Porcentaje según grupos etéreos en las hospitalizaciones por ECR	56
Figura 4-19. Porcentaje según grupos etéreos en las urgencias por ECR.....	57
Figura 4-20. Número de casos de ECR por barrio.....	58
Figura 4-21. Tasa de morbilidad por ECR por barrio.	58
Figura 4-22. Gráfica del modelo N° de consultas vs Material particulado $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) ...	61
Figura 4-23. Modelo N° de Hospitalizaciones vs Material particulado $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	63
Figura 4-24. Gráfica del modelo N° de urgencias vs Material particulado $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) ..	64
Figura 4-25. Área priorizadas por morbilidad asociada a ECR	66
Figura 4-26. Áreas de mayor susceptibilidad de la población a ECR.....	66
Figura 4-27. Áreas priorizadas por sectores potenciales de intervención	67
Figura 4-28. Áreas con prioridad de intervención	68
Figura 4-25. Áreas con prioridad de intervención –Modelo II-.....	73
Figura 4-26. Áreas con prioridad de intervención –Modelo III-.....	73

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Contaminantes criterio y niveles máximos permisibles	6
Tabla 1-2: Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia.	7
Tabla 1-3: Comparativo entre los niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en diferentes países.	7
Tabla 1-4: Índice de calidad atmosférica de la EPA.....	8
Tabla 1-5: Categorías de la calidad del aire y sus efectos en la salud.	8
Tabla 1-6: Índice de calidad atmosférica del Material particulado y sus efectos.....	9
Tabla 2-1: Categorías de enfermedades según la CIE10 para generar la capa de morbilidad.	13
Tabla 2-2: Valores de ponderación para la subcapa morbilidad.....	15
Tabla 2-3: Niveles de priorización para la subcapa morbilidad.....	15
Tabla 2-4: Valores de ponderación para la subcapa Susceptibilidad	17
Tabla 2-5: Niveles de priorización para la subcapa Susceptibilidad	17
Tabla 2-6: Valores de ponderación para la subcapa Sectores Potenciales a Intervenir ..	18
Tabla 2-7: Niveles de priorización para la subcapa Sectores Potenciales a Intervenir	19
Tabla 3-1: Distribución de la población por grupos etéreos, según DANE 2005	24
Tabla 3-2: Usos actuales del suelo –POT, 2007-.....	27
Tabla 4-1: Dirección predominante del viento estación Ditaires	30
Tabla 3-3: Población DANE y representatividad de la población registrada en el SISBEN	34
Tabla 3-4: Disponibilidad de información para material particulado en cada estación.	36
Tabla 3-5: Morbilidad por ECR para el periodo 2007-2010	37
Tabla 3-6: Representatividad de la información de morbilidad por ECR especializada. ...	37
Tabla 3-7: Variables a incorporar en el análisis.	40
Tabla 3-9: Valores de ponderación para las subcapas de morbilidad.	42
Tabla 3-10: Niveles de priorización para la capa morbilidad.....	42
Tabla 3-10: Valores de ponderación para las subcapas de Susceptibilidad	43
Tabla 3-11: Niveles de priorización para la capa Susceptibilidad	43
Tabla 3-12: Valores de ponderación de las subcapas de Sectores Potenciales a Intervenir	43
Tabla 3-13: Niveles de priorización para la capa Sectores Potenciales a Intervenir ..	44
Tabla 4-2: Estadísticos básicos de las series de tiempo de material particulado	45

Tabla 4-3:	índice de calidad del aire –AQI- (2008-2010)	48
Tabla 4-4:	Niveles variable hacinamiento.....	50
Tabla 4-5:	Escala para la variable condiciones de habitabilidad.....	50
Tabla 4-6:	Representatividad de la morbilidad por ECR con respecto al total de la morbilidad.	52
Tabla 4-7:	Disponibilidad de datos diarios para la modelación material particulado - PM2.5- vs morbilidad por ECR.	59
Tabla 4-8:	Modelo de estimación estimado	60
Tabla 4-9:	Análisis de la desviación	60
Tabla 4-10:	Pruebas de verosimilitud.....	61
Tabla 4-11:	Modelo de estimación estimado.....	62
Tabla 4-12:	Análisis de la desviación.....	62
Tabla 4-13:	Pruebas de verosimilitud.....	62
Tabla 4-14:	Modelo de estimación estimado.....	63
Tabla 4-15:	Análisis de la desviación.....	63
Tabla 4-16:	Pruebas de verosimilitud.....	64
Tabla 4-17:	Áreas priorizadas por mayor incidencia de la morbilidad por ECR.....	65
Tabla 4-18:	Áreas con población susceptible a ECR	67
Tabla 4-19:	Áreas con sectores potenciales de intervención	68
Tabla 4-20:	Áreas con prioridad de atención	69
Tabla 4-21:	Matriz síntesis.....	69
Tabla 4-22:	Lineamientos de acción para las áreas con prioridad de intervención.....	70
Tabla 4-22:	Valores de ponderación e indicadores para cada una de las capas.	72
Tabla 4-23:	Niveles de priorización para cada una de las capas	72

Introducción

Actualmente, uno de los grandes retos de las ciudades es el desarrollo urbano sostenible, entendido como el desarrollo que proporciona calidad de vida sin degradar las condiciones ambientales de la ciudad y su entorno. Sin embargo, el crecimiento acelerado de las ciudades desborda la capacidad de acción de los entes gubernamentales y de control y, por ende, el desarrollo de las ciudades se da de forma desorganizada y sin una planificación adecuada que permita el logro de un desarrollo sostenible, especialmente en los países en vía de desarrollo (Rueda, 2001).

Un tema de prioridad, dentro de las agendas de desarrollo urbano sostenible y políticas urbanas, es la contaminación atmosférica dados sus impactos sobre la salud de la población y por ende sobre su calidad de vida.

Los efectos nocivos de la contaminación atmosférica sobre la población se pusieron de manifiesto a mediados del siglo XX, cuando ciudades como Valle de Mosa, Bélgica (1930), Pennsylvania, EEUU (1948) y Londres (1952), sufrieron diversos episodios de contaminación atmosférica. Todos estos casos emblemáticos se tradujeron en incrementos en la mortalidad y la morbilidad y no dejaron dudas sobre la relación entre los altos niveles de contaminación atmosférica y el incremento de muertes tempranas (OSE, 2007).

Posterior a estos eventos, se ha profundizado en el tema y se han desarrollado múltiples estudios epidemiológicos y toxicológicos para valorar los efectos que produce la contaminación atmosférica sobre la salud entre ellos los realizados por Ostro (1987), Pope (1995), Schwartz (2002). Los resultados arrojados por estos estudios han permitido determinar que, no sólo la exposición a episodios aislados de concentraciones elevadas de contaminantes es nociva para la población, sino que, aún sin superar los niveles de calidad del aire considerados como seguros la exposición crónica a la contaminación tiene iguales o peores efectos (OSE, 2008).

El municipio de Itagüí, ubicado en el sur del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), presenta una de las mayores densidades poblacionales de la región, barrios con densidades de 300 habitantes por hectárea, y son reconocidas allí, las problemáticas asociadas a la contaminación atmosférica debido a la vocación industrial y a un gran flujo vehicular dada su ubicación estratégica de salida hacia el suroeste y sur del país. Por estas razones se eligió como estudio de caso para la presente investigación (UNAL & AMVA, 2008).

El objetivo general del presente trabajo es definir las áreas con prioridad de intervención desde las políticas públicas en el municipio de Itagüí, mediante el estudio de la relación entre la calidad del aire y la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica. Es de

aclarar que para este análisis se hace una selección a partir de la Clasificación Internacional de las Enfermedades-CIE10- que, según estudios previos, han demostrado mayor relación con la contaminación atmosférica como son las enfermedades cardiorrespiratorias. Se tienen como objetivos específicos:

- Evaluar la calidad del aire en las estaciones de monitoreo disponibles en el municipio de Itagüí.
- Analizar la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí.
- Identificar patrones espaciales a partir de las fuentes de emisión de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en el municipio de Itagüí.
- Evidenciar la importancia del análisis espacial de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica en la toma de decisiones en políticas públicas.

Para este estudio la información disponible es escasa, tal es el caso de las variables meteorológicas y las de calidad del aire. Así mismo, dado su carácter confidencial, hay muchas restricciones para el uso de las bases de datos de dependencias adscritas a los entes territoriales como son: el SISBEN, salud, educación y entidades privadas como las administradoras de riesgos profesionales, estas bases de datos poseen dentro de su estructura, información que permitiría ubicar espacialmente a la población en el lugar de mayor exposición a la contaminación.

El acceso restringido a estas bases de datos, limita la representación y el análisis espacial al lugar de residencia de los individuos afectados por enfermedades cardiorrespiratorias, éste se consigue a partir de los campos comunes entre las bases de datos del SISBEN y las bases de datos de salud, Registros Individuales de Prestación de Salud –RIPS-. Así, la representatividad de la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica, se considera menor que a la real.

Con la presente investigación, se logró determinar, a partir de indicadores tales como: densidad vial, densidad industrial, características socioeconómicas y calidad de aire, entre otros, zonas de prioridad en la asignación de programas de mejoramiento de la calidad del aire, principalmente los encaminados a disminuir la vulnerabilidad de la población.

Con los resultados obtenidos, se pretende fortalecer y potencializar la implementación de políticas públicas que contribuyan al mejoramiento de la calidad del aire y por ende de la calidad de vida de la población, no sólo en el municipio de Itagüí, sino también en los demás municipios del AMVA. Lo anterior, dado que las emisiones generadas en cada uno de los municipios puede afectar a la población de todo el Valle, debido a las condiciones meteorológicas y topográficas de este.

1. Antecedentes

1.1 Contaminación atmosférica y morbilidad

Desde mediados del siglo XX, ya se tenían algunos indicios del deterioro de la calidad del aire promovidos por los sucesos que se presentaron en ciudades como: Valle de Mosa, Bélgica (1930), Pennsylvania, EEUU (1948) y Londres (1952), donde diversos episodios de contaminación atmosférica generaron graves efectos sobre la población (EPA, 2007).

Posteriormente, se han realizado diversos estudios tanto epidemiológicos como toxicológicos que muestran una relación positiva entre la contaminación atmosférica y la salud de la población (Ostro, 1983, Ostro, 1987, Pope, 1995, Pope, 2002, Schwartz, 2002, INE, 2005). El recurso aire en condiciones óptimas es indispensable para la vida; pero cuando existen contaminantes o sustancias que pueden modificar la calidad de éste, se producen daños potenciales para la salud humana, lo cual depende de sus propiedades físicas y químicas, de la dosis que se inhala y del tiempo de exposición (IDEAM, 2009).

Con respecto a la exposición, se pueden distinguir dos tipos: la crónica, relacionada con la exposición constante a niveles de contaminación por largos periodos de tiempo (años); y la aguda, cuando el tiempo de exposición es corto (días u horas), pero los niveles de contaminación son altos, a lo cual se le conoce como exposición “pico”.

A partir de las evidencias de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud, se han definido los llamados “contaminantes criterio”, para los cuales se han establecido límites para proteger la salud y bienestar humano. Entre ellos se tiene el Material Particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$), el Dióxido de Nitrógeno (NO_2), el Dióxido de Azufre (SO_2), El Monóxido de Carbono (CO) y el Ozono (O_3). Para el caso de Colombia, se tiene la Resolución 0610 de 2010 que define los valores máximos permisibles según el tiempo de exposición.

El Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia, elaborado por el IDEAM en el año 2007 demostró que, en general, el Material Particulado (PM) es el contaminante que más deteriora la calidad del aire en las ciudades colombianas al superar los límites máximos permisibles, tanto anuales como diarios, en la mayoría de las redes que miden este contaminante; el ozono troposférico también alcanza concentraciones críticas en las zonas en las cuales ha sido monitoreado; mientras que los valores encontrados para óxidos de nitrógeno y de azufre, en la mayoría de las redes, se mantiene dentro de los estándares establecidos.

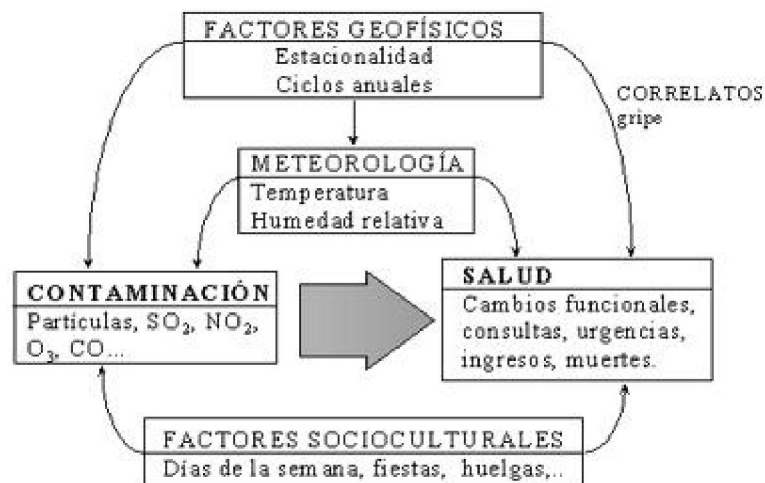
La contaminación atmosférica, se ha constituido en una problemática de salud ambiental que afecta tanto a países en desarrollo como países desarrollados. La Organización

Mundial de la Salud -OMS- ha generado las directrices sobre la calidad del aire con el objeto de contribuir a la disminución de los impactos generados a partir del deterioro de la calidad del aire. En Colombia se han establecido políticas para reducir los niveles de contaminación atmosférica y minimizar los impactos sobre la salud de la población, entre ellas el CONPES 3344: lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire (DNP, 2005), el CONPES 3550: lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes, calidad del aire, calidad del agua y seguridad química (DNP, 2008). Sin embargo, las redes de monitoreo de la calidad del aire de las principales ciudades del país aún presentan valores, de las concentraciones de contaminantes como el Material Particulado y el Ozono, por encima de los valores máximos permisibles (REAIRES, -2009-2010, RMCAB, -2009-2010)

La simple expedición de normas no basta, las acciones efectivas para el mejoramiento de la calidad del aire son indispensables. La complejidad intrínseca a la contaminación atmosférica exige la integración y articulación de acciones desde lo socio-cultural, lo económico y la planificación, y desde conceptos como el desarrollo sostenible y entornos saludables, para lograr el mejoramiento de la calidad del aire.

La complejidad del estudio de la contaminación atmosférica y la salud radica en la influencia que se tiene de diversas variables, tanto en el fenómeno de la contaminación atmosférica, como en las características de la población expuesta. En la atmósfera urbana se produce una serie de reacciones extremadamente complejas por los múltiples compuestos químicos y físicos que se interrelacionan de manera diversa en función de los ritmos diarios y estacionales, de las características meteorológicas del momento, de las características topográficas y morfológicas de la ciudad, de las características estructurales del sistema urbano y de las actividades emisoras de contaminantes y sus ritmos temporales de emisión (OSE, 2007). En la Figura 1-1 se observan algunos de los factores que intervienen y tienen efecto sobre la contaminación atmosférica y la salud.

Figura 1-1. Factores que intervienen en la contaminación atmosférica y la salud



Fuente: Goldsmith et al, 1996

La contaminación atmosférica no afecta a toda la población por igual, se han determinado grupos susceptibles a los efectos de la contaminación. Ciertamente, la exposición a la contaminación del aire puede ser detonante o agravante de afecciones respiratorias, cardíacas y otras, que resultan especialmente dañinas para colectivos sensibles como las personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, embarazadas, ancianos y niños (Hernández, et al, 2007).

Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la morbilidad son mayores en niños. Los niños son más vulnerables porque su frecuencia respiratoria es mayor que la de los adultos; son más activos y permanecen más expuestos. Mientras que en la mortalidad, estos efectos son más frecuentes en los adultos y ancianos, particularmente en aquellos en los que hay patología cardiovascular o respiratoria previa.

Teniendo en cuenta que las enfermedades cardiorrespiratorias, tanto en adultos como en niños, son más prevalentes en los sectores de más bajo ingreso económico, una disminución en la contaminación del aire contribuiría a la reducción de la desigualdad en el ámbito de la salud.

Todos estos aspectos se deben tener en cuenta al momento de evaluar la morbilidad asociada a la contaminación atmosférica. De manera general, la población con mayor riesgo a la exposición de contaminantes atmosféricos está constituida por: los niños menores de 10 años, las personas mayores de 60 años, las personas con enfermedades cardíacas y respiratorias y los asmáticos (IDEAM, 2005).

1.2 Calidad del aire y normatividad

Desde el año 1967 en Colombia, se han realizado esfuerzos para vigilar, medir, analizar y controlar la contaminación del aire. En ese año se instalaron las primeras redes de medición de la calidad del aire. Sólo hasta 1973, se expidió la Ley 23, cuyo objetivo era “Prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional”.

Con esta ley, se le concedieron facultades al gobierno nacional para expedir el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (República de Colombia, 1974), el cual fue sancionado por el Presidente de la República mediante el Decreto Ley 2811 de 1974. En este decreto, específicamente en el artículo 9, se genera la propuesta de la norma de calidad del aire.

En 1979 se expide la Ley 09 (República de Colombia, 1979), por la cual se dictan medidas sanitarias para la protección del medioambiente y se le otorgan facultades al Ministerio de Salud para proferir normas para el control de la contaminación atmosférica. Así, en el año 1982, este Ministerio expide el Decreto 02 donde se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y también el Decreto – Ley 2811 de 1974 (República de Colombia, 1974), en cuanto a emisiones atmosféricas. En el año de 1995 el Ministerio del Medio Ambiente (creado mediante la Ley 99 de 1993) expide el Decreto 948 (MMA, 1995), el cual derogó algunos artículos del Decreto 02 de 1982.

En el año 2006 se expide el Decreto 979 (MVADT, 2006) que modifica los artículos 7, 10, 93, 94 y 106 del Decreto 948 de 1995. Dicho Decreto reglamenta la declaración de los niveles de prevención, alerta y emergencia y las áreas fuente de contaminación. Para los efectos de que trata este artículo, se hace una clasificación de las áreas – fuente de contaminación:

- Clase I - Áreas de contaminación alta
- Clase II- Áreas de contaminación media
- Clase III- Áreas de contaminación moderada
- Clase IV- Áreas de contaminación marginal

Este mismo año se emite la Resolución 601 de 2006 (MVADT, 2006), la cual establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia con el propósito de garantizar un ambiente sano y minimizar los riesgos sobre la salud humana que puedan ser causados por la concentración de contaminantes en el aire ambiente. Sin embargo, los valores máximos permisibles eran muy flexibles con relación a los de otros países.

Para el año 2010 se expide la Resolución 0610 (MVADT, 2010) que modifica la Resolución 0601 de 2006, en ésta se presentan los contaminantes criterio y los valores máximos permisibles para cada uno de ellos como se muestra en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Contaminantes criterio y niveles máximos permisibles

Contaminante	Período	Norma	Unidad de medida	Comentarios
Partículas (PM ₁₀)	Anual	50	µg/m ³	Promedio aritmético
	24 horas	100	µg/m ³	Promedio aritmético
Partículas (PM _{2.5})	Anual	25	µg/m ³	Promedio aritmético
	24 horas	50	µg/m ³	Promedio aritmético
Partículas Suspendidas Totales. (PST)	Anual	100	µg/m ³	Promedio geométrico
	24 horas	300	µg/m ³	Promedio geométrico

Fuente: Resolución 0610 (AMVA, 2010)

En la Tabla 1-2 se indican las concentraciones y los tiempos de exposición bajo los cuales las autoridades ambientales competentes pueden declarar los estados excepcionales de Prevención, Alerta y Emergencia.

Aunque los valores máximos permisibles en la Resolución 0610 de 2010 (MVADT, 2010) son más exigentes y se aproximan más los valores máximos permisibles en otros países de América Latina, están lejos de cumplir con los valores fijados por la Organización Mundial de la Salud. En la Tabla 1-3 se observa un comparativo entre las normas Colombianas, otros países y la Organización Mundial de la Salud.

Tabla 1-2: Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia.

Contaminante	Tiempo de exposición	Unidad de medida	Prevención	Alerta	Emergencia
Partículas (PM ₁₀)	24 horas	µg/m ³	300	400	500
Partículas Suspendidas Totales. (PST)	24 horas	µg/m ³	375	625	875

Fuente: Resolución 0610 (AMVA, 2010)

Posterior al monitoreo de los contaminantes criterios, se procede a calcular el Índice de Calidad del Aire –AQI- para conocer el estado de la calidad del aire en un determinado lugar.

Tabla 1-3: Comparativo entre los niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en diferentes países.

Contaminante	Partículas. PM ₁₀		Partículas Suspendidas Totales -PST-		Partículas. PM _{2.5}		
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Periodo	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	1 hora
Colombia	50	150	100	300	25	50	120
EEUU	50	150	–	–	15	65	–
Brasil	50	150	60	150	–	–	160
Costa Rica	50	150	90	240	–	–	160
México	50	150	75	260	15	65	216
Chile	50	150	–	–	–	–	–
Unión Europea	40	50	–	–	25	40	–
OMS	20	30	–	–	10	25	–

Fuente: Elaboración propia

- **Índice de calidad atmosférica (AQI)**

Este índice representa una de las herramientas más efectivas para la interpretación del estado en que se encuentra una atmósfera previamente monitoreada. El comportamiento del AQI se caracteriza por su relación directa con los niveles de concentración del contaminante y los efectos en la salud.

Este indicador fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos –EPA-, y en su última revisión en 1998 incluye seis contaminantes: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), partículas menores de 10 micras (PM₁₀), partículas menores de 2.5 micras (PM_{2.5}) y Oxidantes (O₃). Sin embargo es posible determinar la calidad del aire a partir de un solo contaminante. Para

el Valle de Aburrá, se ha definido el Material Particulado como el contaminante que mayor incidencia tiene en el AQI (REDAIRE-UNAL, 2008).

El AQI es un indicador adimensional y depende del grado de contaminación del aire, éste se calcula como se muestra en la Ecuación 1-1. El AQI convierte la concentración media de uno o varios contaminantes a una escala que va de cero a quinientos. Los intervalos que describen los niveles de calidad del aire, en términos de adaptación del AQI, son los presentados en la Tabla 1-4.

$$AQI = \frac{I_{sup} - I_{inf}}{PQ_{sup} - PQ_{inf}} (Cp - PQ_{inf}) + I_{inf}$$

Ecuación 1-1. Fórmula para el cálculo del AQI

Donde:

- AQI = Índice de Calidad Atmosférica
- Cp = Concentración del contaminante crítico.
- PQsup = punto de quiebre mayor o igual a Cp.
- PQinf = punto de quiebre menor o igual a Cp.
- Isup = Valor del ICA correspondiente al PQsup.
- linf = Valor del ICA correspondiente al PQinf.

Tabla 1-4: Índice de calidad atmosférica de la EPA

TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24 horas	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24 horas	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24 horas	Rango AQI
0-75,4	0-54	0-15,4	0-50
75,5-260,4	55-154	15,5-65,4	51-100
260,5-315,4	155-254	65,5-100,4	101-150
315,5-375,4	255-354	100,5-150,4	151-200
375,5-625,4	355-424	150,5-250,4	201-300
625,5-875,4	425-504	250,5-350,4	301-400
875,5-1.001	505-604	350,5-500,4	401-500

Fuente: EPA (1998)

Las categorías atmosféricas relacionadas con el valor del índice se presentan en la Tabla 1-5, la cual establece colores que identifican la calidad del aire debida a uno o varios contaminantes en la atmósfera y los efectos que presenta en la población.

Tabla 1-5: Categorías de la calidad del aire y sus efectos en la salud.

AQI	Valoración	Anotaciones	Color
0-50	Bueno	Se considera satisfactoria, y la contaminación atmosférica plantea poco o nada de riesgo	
51 – 100	Moderado	Es aceptable Sin embargo para algunos agentes	

AQI	Valoración	Anotaciones	Color
		contaminadores puede haber una preocupación moderada de la salud para un número muy pequeño de la población.	
101 - 150	Inadecuado	Advertencia para grupos sensibles. Esto significa que es muy probable que sean afectados por niveles más bajos de contaminación. Las personas con enfermedades del pulmón o con enfermedades cardíacas están en mayor riesgo cuando son expuestas a la contaminación de partículas. Este nivel de AQI no presenta afecciones para el público en general.	
151 - 200	Mala peligrosa	Las personas pueden comenzar a experimentar efectos en la salud. Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos de salud más serios.	
201 - 300	Pésima muy peligrosa	Se debe usar una alarma para prevenir efectos en salud de toda la población, pues todos pueden presentar problemas más serios.	
>300	Crítica a peligrosa	Es muy probable que la población entera sea afectada y se deben presentar advertencias en la salud por condiciones de emergencia.	

Fuente: EPA (1998)

Cuando se trata de calcular el AQI con base en un solo contaminante, se aplican los rangos que se muestra en la Tabla 1-6, allí también se muestra los efectos que cada uno de ellos tiene sobre la población según la categoría.

Tabla 1-6: Índice de calidad atmosférica del Material particulado y sus efectos.

Categorías de Salud	Partículas Muy Pequeñas (PM _{2.5})	Partículas Pequeñas (PM ₁₀)
Pésima Muy peligroso 201 - 300	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben evitar toda actividad al aire libre; los demás deben evitar todo esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre; los demás, en especial los ancianos y los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.
Mala Peligroso 151 - 200	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben evitar los esfuerzos prolongados; los demás deben limitar el esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre; los demás, en especial los ancianos y los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.
Peligroso para grupos sensibles 101 - 150	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben limitar el esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre
Moderado 51 - 100	Efectos sobre población sensible	Efectos sobre población sensible
Buena 0 - 50	ninguno	ninguno

Fuente: EPA (1998)

1.3 Análisis espacial multicriterio

El espacio geográfico es una categoría de síntesis y convergencia a través del cual se expresan diversos procesos involucrados en las condiciones de vida, ambiente y salud de las poblaciones. Una de las tareas más importantes para la evaluación de situaciones de salud es el desarrollo de indicadores que permitan su espacialización y sean capaces de encontrar y reflejar condiciones de riesgo que tengan origen en condiciones ambientales y sociales adversas (Barcellos, 2003).

El uso del espacio geográfico como categoría de análisis ha sido subrayado en estudios referidos a las áreas de epidemiología y al análisis ambiental. La definición de patrones espaciales de enfermedades, permite la identificación de fuentes comunes de contaminación y trayectorias influenciadas por variables ambientales; además, contribuye en la planificación y la evaluación de intervenciones y factores socioeconómicos que afectan los perfiles de salud.

El análisis espacial permite restablecer el contexto en el cual un evento de salud ocurre y favorece la comprensión de los procesos socio-ambientales; por tanto, puede convertirse en un instrumento de gran valor en la evaluación de impactos de procesos e intervenciones a nivel de políticas frente a la salud pública o a la planificación territorial, tanto en su definición como en su implementación.

Teniendo como base que la salud está fuertemente influenciada por variables ambientales, su análisis espacial a partir de diferentes criterios es fundamental para la toma de decisiones, dado que permite la integración y articulación de variables tanto cualitativas como cuantitativas mediante la transformación o normalización de sus medidas.

Entre los métodos más usados para el análisis espacial, está el análisis heurístico (Carrara, et al, 1995). Este método asigna una ponderación a cada variable seleccionada según su importancia en el tema que se está trabajando, adicionalmente, asigna un valor al indicador de cada variable, según su nivel de priorización. Por tanto, los niveles de priorización quedan establecidos por rangos.

Posterior a la definición de los niveles de priorización, éstos se combinan, asignando valores para determinar los niveles de riesgo con base en criterios generales, lo que permite identificar sectores críticos de riesgo, con condiciones similares, y como resultado estos sectores sirven para proponer obras y/o acciones específicas de mitigación.

El método heurístico resulta fácil de implementar, ya que utiliza matrices que combinan lo cuantitativo con lo cualitativo. Para éste, lo fundamental es la asignación de las ponderaciones y valores a las variables e indicadores y los criterios de los especialistas, así como una buena base de datos a nivel de la unidad de análisis seleccionada y la utilización de los sistemas de información geográfica en su procesamiento.

En resumen, el método heurístico se compone de los siguientes pasos:

Primer paso:

- Elección de las variables más representativas para el fenómeno en estudio.
- Asignación de un peso (ponderación), de acuerdo a su incidencia ante el fenómeno en estudio. A mayor peso, mayor incidencia.
- Asignación de un valor al indicador de cada variable. A mayor valor mayor incidencia.

Segundo paso:

Mediante sistemas de información geográfica –SIG-, para cada unidad de análisis, se multiplica el peso de cada variable por el valor de su indicador. De la sumatoria de estos productos se obtiene un puntaje para cada unidad.

Tercer paso:

Se establecen los criterios para definir los niveles de priorización en cada unidad.

- Diferencia entre el puntaje menor posible y el mayor
- División de la diferencia entre 4
- Establecimiento de 4 rangos semejantes
- Definición de niveles de priorización

Dentro de las áreas que más se trabajan con los métodos heurísticos están los análisis de vulnerabilidad y riesgo. Esto con un objetivo muy claro: integrarlos a los procesos de planificación y ordenamiento territorial.

Integrar estas variables al ordenamiento territorial permite:

- Promover y orientar el crecimiento de los centros urbanos sobre las zonas que presentan los mejores niveles de aptitud y seguridad.
- Proponer medidas de mitigación y prevención de riesgos, como instrumentos de ordenamiento territorial a ser incorporados en Plan de Ordenamiento Territorial respectivo.
- Definir las acciones de mitigación en el suelo ocupado con actividades urbanas en los sectores críticos de riesgo.
- Definir medidas preventivas para el suelo no ocupado con actividades urbanas.
- Identificar y priorizar proyectos y acciones que permitan la reducción del riesgo sobre diversas áreas y situaciones de vulnerabilidad del centro urbano.

2. Metodología

En este estudio, se parte de la existencia de una causalidad entre la calidad del aire y las enfermedades cardiorrespiratorias; por tanto, su finalidad no es encontrar funciones de dosis respuesta, sino analizar integralmente variables asociadas tanto a la contaminación atmosférica como a la morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias y definir áreas con prioridad de intervención en un ente territorial como es el caso de los municipios.

A pesar de la restricciones y limitaciones en la información, es posible, por medio del uso de herramientas como los sistemas de información geográfica –SIG-, específicamente del análisis espacial y las técnicas de análisis multicriterio –AMC-, darle un valor agregado a la información existente.

El argumento principal a favor de la integración SIG-AMC es que los problemas de decisión que involucran variables espaciales son intrínsecamente de naturaleza multicriterio, en especial para localización de actividades, manejo de recursos naturales, control de riesgos y amenazas, contaminación ambiental y ordenación del territorio. (Chakhar y Mousseau, 2007)

El análisis espacial requiere que todas las variables a integrar en el análisis sean mapeables, por tanto todas se han llevado a tipo raster con pixeles de 100 *100 m simulando las cuadras o manzanas de un área urbana.

A continuación se describe cada una de las capas de información (mapas tipo raster) que se emplearon en este estudio y el procedimiento para obtenerlas.

2.1 Morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias

Como se expuso en la revisión documental, la incidencia de la contaminación atmosférica es mayor sobre las enfermedades cardiorrespiratorias que sobre otras patologías. Las categorías de enfermedades empleadas para generar la capa de morbilidad se toman del listado de enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica definido por la Universidad de Antioquia en el estudio “Contaminación atmosférica y efectos en la salud de la población en el Valle de Aburrá” (U de A, 2007), el cual hace una selección teniendo en cuenta la Clasificación Internacional de Enfermedades –CIE10- en su última versión. Las categorías que se integrarán en esta capa se presentan en la Tabla 2-1.

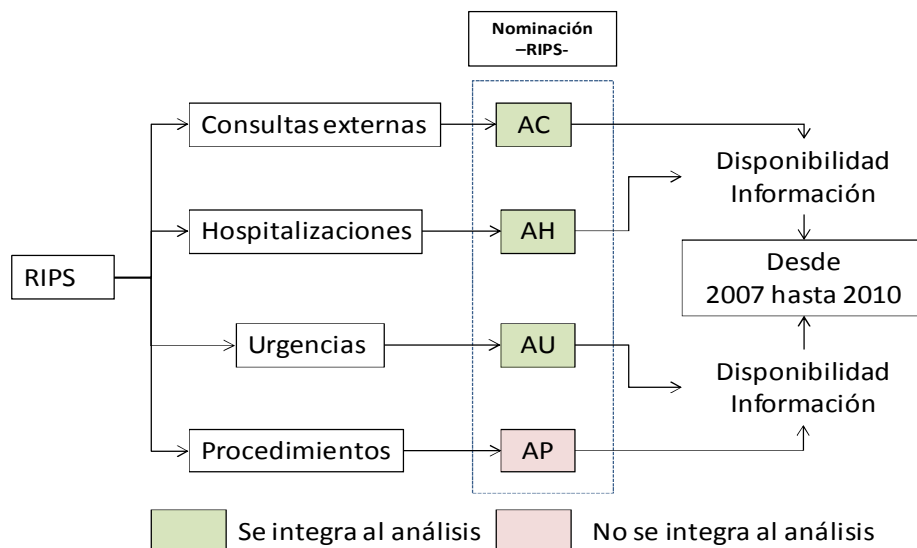
Tabla 2-1: Categorías de enfermedades según la CIE10 para generar la capa de morbilidad.

Código CIE10	Categoría
I20-I25	Enfermedades isquémicas del corazón
J00-J06	Enfermedades infecciosas del trato respiratorio superior
J10-J18	Gripe y neumonía
J20-J22	Enfermedades infecciosas de las vías respiratorias inferiores
J30-J39	Otras enfermedades de las vías respiratorias altas
J40-J47	Enfermedades crónicas de las vías respiratorias
J60-J70	Enfermedades pulmonares debidas a sustancias extrañas
J80-J86	Otras enfermedades intersticiales y necróticas
J90-J99	Otras enfermedades de la Pleura

Por otra parte, se cuenta con la información ingresada por las Direcciones de Salud de los Municipios en los Registros Individuales de Prestación de Servicios en Salud –RIPS-, generados, a partir de la expedición de la Resolución 3374 en el 2000. Según esta Resolución, la información de los RIPS se constituye en un subsistema de información prioritario para la evaluación y monitoreo del funcionamiento del Sistema General de Seguridad Social en Salud en cada uno de sus planes, programas y estrategias, frente a las metas fijadas a corto y mediano plazo, y de las acciones clínicas de los prestadores de servicios de salud. Sin embargo, esta información es de acceso restringido y confidencial, lo que limita las múltiples funciones que puede adquirir como complemento y apoyo a la toma de decisiones en diferentes ámbitos.

En los RIPS está consignada, en diferentes bases de datos, la información correspondiente a consultas externas, hospitalizaciones, procedimientos y urgencias. En la Figura 2-1 se muestra qué información se integrará a la capa de morbilidad.

Figura 2-1. Bases de datos de los RIPS para integrar a la capa de información de morbilidad por ECR



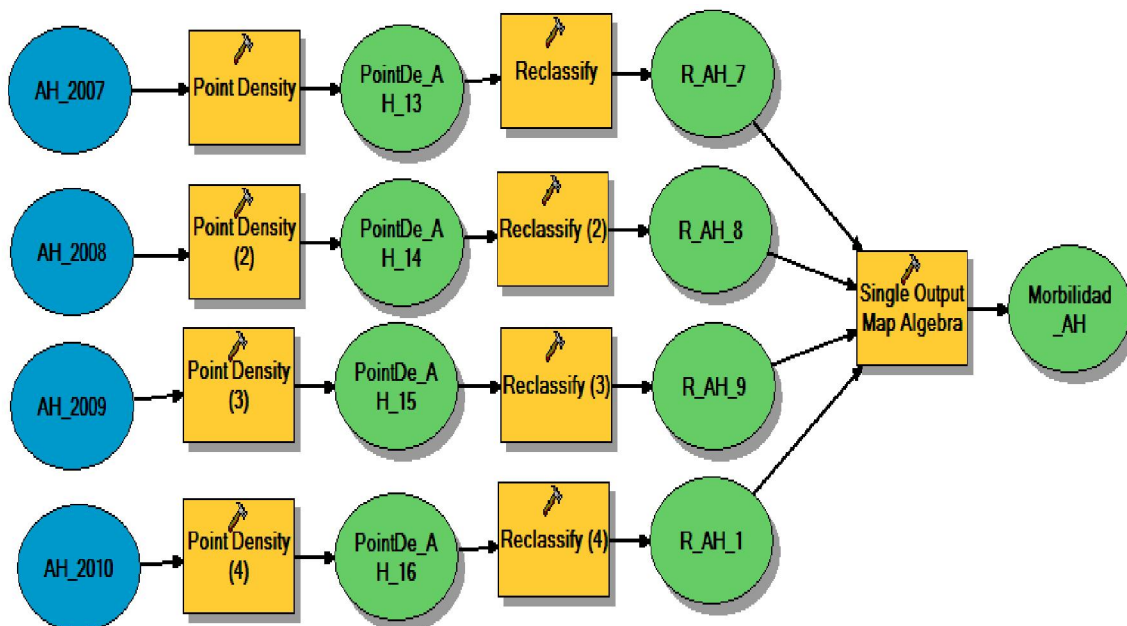
Sin embargo, esta información se presenta para todo tipo de patologías. Para extraer la información relacionada exclusivamente con las enfermedades cardiorrespiratorias, se recurre a los códigos –CIE10- que aparecen en la Tabla 2-1. Las bases de datos referentes a consultas externas, hospitalizaciones y urgencias por ECR, constituirán subcapas de la capa de morbilidad.

Una desventaja que poseen las bases de datos de los RIPS, para el desarrollo de un análisis espacial, es la falta de un campo dentro de su estructura con información espacial o geográfica, por esto se debe recurrir a otras bases de datos. Para este caso se recurre a la de base de datos del sistema de identificación de beneficiarios de los programas sociales –SISBEN-, la cual posee un campo donde se especifica la dirección de residencia de cada individuo. Esto se posibilita debido a que el documento de identidad, en ambas bases de datos, es un campo común.

Adicionalmente, se genera, con base en la malla vial, una red de nodos -donde cada cruce vial correspondiera a un nodo-, a los que se pudiera asociar la dirección de cada individuo de los RIPS, ya que, debido a la desactualización de la cartografía de infraestructura vial y la dificultad para ubicar los individuos en el lugar exacto de residencia, se disminuía considerablemente el número de datos a espacializar.

Para identificar las áreas donde un mayor número de individuos presentan registros en el servicio de salud por enfermedades ECR, se procede como se muestra en la Figura 2-2. Este proceso se realiza para las subcapas consultas, hospitalizaciones y urgencias.

Figura 2-2. Modelo para obtener cada subcapa de morbilidad



Sin embargo, otro aspecto que se tiene en cuenta son las áreas donde un mismo individuo presenta más de dos registros al año. Esta subcapa se define como

Repeticiones y se obtiene por medio del procedimiento que se muestra en la Figura 2-3, Este proceso se realiza para las subcapas consultas, hospitalizaciones y urgencias.

Figura 2-3. Modelo para lograr la subcapa repeticiones



La definición de los valores de ponderación de cada una de las subcapas se logra a partir del método heurístico, el cual combina aspectos cualitativos y cuantitativos. En la Tabla 2-2 se ejemplifica el proceso de ponderación de las subcapas que permitirá, a partir de su reclasificación, la asignación de los niveles de priorización de la morbilidad como se muestra en la Tabla 2-3.

Tabla 2-2: Valores de ponderación para la subcapa morbilidad

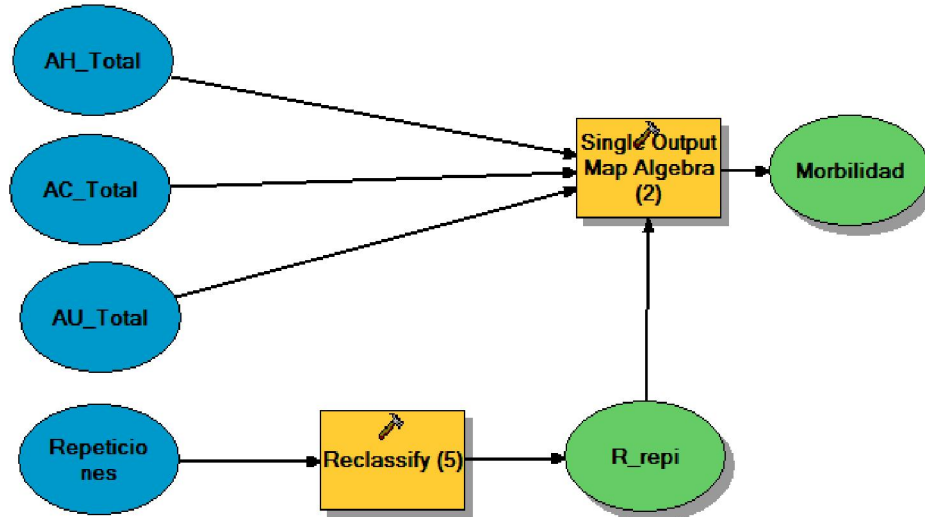
Subcapas			AC	AH	AU	RI
Ponderación (P)			Se define el valor de ponderación para cada subcapa			
Indicador Valores	4	Muy Alto	Valor o rango de cada indicador según su priorización			
	3	Alto				
	2	Medio				
	1	Bajo				

Tabla 2-3: Niveles de priorización para la subcapa morbilidad

Priorización Morbilidad			Rangos
Muy Alto	4		El producto de los factores de ponderación de las subcapas y los indicadores determinan los rangos de priorización.
Alto	3		
Medio	2		
Bajo	1		

Después de obtener las subcapas de morbilidad para Consultas, Hospitalizaciones, Urgencias y Repeticiones, se procede a integrarlas como se observan en la

Figura 2-4, teniendo como base, para el algebra de mapas, los factores de ponderación tanto de las variables como de los indicadores. Este proceso arroja como resultado la capa de morbilidad, la cual posteriormente se reclasifica de acuerdo a los niveles de priorización definidos en la Tabla 2-3, obteniendo las áreas de priorización.

Figura 2-4. Modelo para integrar las variables morbilidad y repeticiones

2.2 Susceptibilidad de la población.

La población dentro de un área de análisis, no siempre presenta la misma susceptibilidad. Las condiciones habitacionales, el hacinamiento y su caracterización socioeconómica pueden predisponer a un individuo frente a las ECR. Además, con respecto a la morbilidad por ECR, se ha determinado que existe un grupo que presenta mayor sensibilidad a los cambios de concentración de los contaminantes, los grupos etáreos menores de 10 años y mayores de 60. Por este motivo, reconocer no sólo el número de individuos en estos grupos, sino también su distribución espacial, es de gran importancia para lograr identificar áreas que presentan mayor población susceptible y definir áreas con prioridad de atención.

Al igual que la Morbilidad, la Susceptibilidad está constituida por cuatro subcapas: condiciones habitacionales, hacinamiento, grupos etáreos y el nivel socioeconómico. Esta información es suministrada por la base de datos del SISBEN y se espacializa para la totalidad de los individuos registrados en ésta.

La definición de los valores de ponderación de cada una de las subcapas, al igual que en la capa anterior, se logra a partir del método heurístico. En la

Tabla 2-4 se ejemplifica el proceso de ponderación de las subcapas que permitirá, a partir de su reclasificación, la asignación de los niveles de priorización de la Susceptibilidad como se muestra en la Tabla 2-5.

Tabla 2-4: Valores de ponderación para la subcapa Susceptibilidad

Subcapas Ponderación (P)			Hacinamiento	Condiciones habitacionales	Nivel socio-económico	Grupos etéreos
Se define el valor de ponderación para cada subcapa						
Indicador Valores	4	Muy Alto	Valor o rango de cada indicador según su priorización			
	3	Alto				
	2	Medio				
	1	Bajo				

Tabla 2-5: Niveles de priorización para la subcapa Susceptibilidad

Priorización Susceptibilidad			Rangos
Muy Alto	4		El producto de los factores de ponderación de las subcapas y los indicadores determinan los rangos de priorización.
Alto	3		
Medio	2		
Bajo	1		

Después de obtener las subcapas Hacinamiento, Condiciones Habitacionales, Nivel Socio-económico y Grupos Etéreos, se procede a integrarlas como se observa en la Figura 2-5, teniendo como base, para el algebra de mapas, los factores de ponderación tanto de las variables como de los indicadores. Este proceso arroja como resultado la capa de Susceptibilidad, la cual posteriormente se reclasifica de acuerdo a los niveles de priorización definidos en la Tabla 2-5, obteniendo las áreas de priorización.

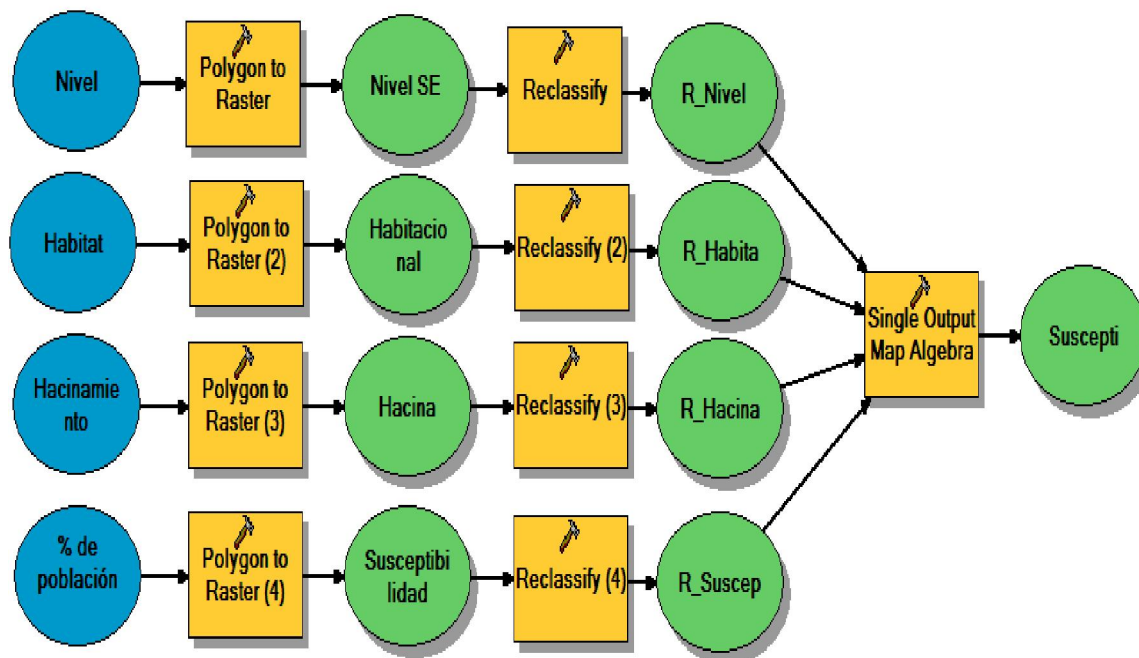
2.3 Sectores potenciales a intervenir

La contaminación atmosférica, en los centros urbanos, proviene principalmente de fuentes como la industria y el transporte, por esta razón estos sectores se deben intervenir con programas que promuevan la implementación de mecanismos de producción más limpia, reconversión tecnológica, responsabilidad empresarial, entre otros, con el objetivo de mejorar la calidad del aire y por ende la calidad de vida de la población. Reconocer su ubicación espacial y sus emisiones permiten inferir áreas con prioridad de intervención.

Al igual que en las capas anteriores, la capa de sectores potenciales a intervenir está constituida por cuatro subcapas: densidad vial, densidad industrial, emisiones por fuentes fijas y emisiones por fuentes móviles. Esta información es recopilada a partir de diferentes estudios entre ellos los desarrollados por la Universidad Nacional y el Área

Metropolitana del Valle de Aburrá (Unal & AMVA, 2005 y Unal & AMVA, 2006) y cartografía actualizada de la última revisión del POT del municipio de Itagüí.

Figura 2-5. Modelo para obtener la capa de susceptibilidad de la población.



La definición de los valores de ponderación de cada una de las subcapas, al igual que en las capas anteriores, se logra a partir del método heurístico. En la Tabla 2-6 se ejemplifica el proceso de ponderación de las subcapas que permitirá, a partir de su reclasificación, la asignación de los niveles de priorización de los sectores potenciales a intervenir como se muestra en la

Tabla 2-7.

Tabla 2-6: Valores de ponderación para la subcapa Sectores Potenciales a Intervenir

Subcapas		Vías	Industrias	Emisiones fuentes fijas	Emisiones fuentes móviles
Ponderación (P)		Se define el valor de ponderación para cada Subcapa			
Indicador Valores	4	Muy Alto			
	3	Alto			
	2	Medio			
	1	Bajo			
Valor o rango de cada indicador según su priorización					