



Facultad de Economía.

Maestría en Economía

**Impacto de la Política de Biocombustibles Sobre la Salud, el Caso de Bogotá y
Bucaramanga.**

Asesor: Fernando Carriazo.

Presentado por: Diego Fernando Romero V

Código: 201011318.

Bogotá

21 de abril 2014

Resumen

Usando una función de dosis-respuesta, este trabajo explora la relación entre la política de mezcla obligatoria de biocombustibles con combustibles fósiles y la ocurrencia de casos de enfermedad respiratoria en las poblaciones de Bogotá y Bucaramanga durante el periodo 2009-2012. Para las estimaciones se utilizan datos del Ministerio de Minas y Energía, el Registro Individual de Prestación de Servicios de Salud RIPS (MSP), la Secretaría de Distrital de Ambiente de Bogotá, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Los resultados de las estimaciones sugieren que un aumento de mezcla de biodiesel del 1% en la ciudad de Bucaramanga reduce el contaminante PM10 en $0.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mismo contaminante aumenta los registros de la enfermedad respiratoria en 5.3%, en ausencia de la política de mezcla obligatoria se hubieran registrado 11.417 casos más de la enfermedad en Bucaramanga, para Bogotá un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mismo contaminante está asociado con un aumento de reportes de la enfermedad respiratoria del 5%.

(JEL Q53 contaminación del aire, Q51 Evaluación de los efectos en el medioambiente, Q42 Fuentes de energía alternativa)

Abstract.

Using a dose-response function, this work explores the relationship between the policy of mandatory biofuels blending with fossil fuels and the occurrence of cases of respiratory disease in the population of Bogotá and Bucaramanga between 2009-2012. With regard to the estimates, this work uses data from the Ministry of Mines and Energy, Individual Register of the Provision of Health Service, District Secretary of Environment of Bogota, and Autonomous Regional Corporation to the Defense of Meseta of Bucaramanga. The estimation results suggest that an increase in biodiesel blend of 1% in the city of Bucaramanga reduces pollutant PM10 by $0.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and an increase of $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of the same pollutant increases the recording of respiratory disease by 5.3 %. In the absence of the policy of mandatory blending, Bucaramanga would have registered 11,417 more cases of the disease. For Bogota, an increase of $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$ of the same pollutant is associated with a 5% increase in reports of respiratory disease.

Introducción

En los últimos años muchos países han apoyado el desarrollo de biocombustibles como alternativa a la utilización de combustibles fósiles para el sector transporte¹. Este tipo de política se ha basado principalmente en cuatro argumentos: el primero expone la necesidad de utilizar fuentes de energía más sostenibles como una forma de mitigar el impacto ambiental, especialmente las emisiones de gases de efecto invernadero; el segundo radica en la oportunidad de crecimiento para el sector agrícola y el efecto económico que esto implica; el tercero se basa en la seguridad energética y pretende ampliar la canasta energética y disminuir las importaciones de combustibles fósiles; el último argumento señala el impacto positivo sobre la salud humana de los biocombustibles comparados con los combustibles fósiles, al reducir emisores de contaminantes, especialmente el material particulado (PM10).

El presente trabajo aborda este último argumento y estudia la relación entre la política de mezcla obligatoria de combustibles fósiles con biocombustibles que adoptó Colombia a partir del año 2005 y 2008² con la ocurrencia de enfermedades respiratorias en las ciudades de Bogotá y Bucaramanga, durante el periodo 2009 al junio del 2012. Este estudio sólo aborda estas dos ciudades debido a la limitación de información ambiental para otras ciudades de Colombia en el periodo de estudio.

La pregunta que se quiere responder con este trabajo es si ¿la política de mezcla obligatoria de biocombustibles con combustibles fósiles ha mejorado las condiciones de salud de la población en las ciudades de Bogotá y Bucaramanga? Y de ser así ¿cuántos casos de la enfermedad se evitaron por la aplicación de la política?

Esta pregunta es de vital importancia si se tiene en cuenta que según Larsen (2004) las condiciones de contaminación del aire generan un costo a la economía colombiana de 1,5 billones de pesos al año. Además, en ciudades como Bogotá cerca del 80% de las emisiones contaminantes provienen de la quema de combustibles fósiles para el sector transporte.

¹ Estados Unidos (RFS, RFS2) Unión Europea (RED), Brasil, Argentina, Perú, Malasia, Indonesia.

² 2005 Etanol, 2008 Biodiesel.

El fenómeno de la contaminación del aire en áreas urbanas no es exclusivo de las ciudades colombianas. La Organización Mundial de la Salud OMS (2005) estimó que el 20% de las infecciones respiratorias bajas del sistema respiratorio en países desarrollados, y el 42% en países en desarrollo, son causadas por las condiciones ambientales del aire, especialmente producidas por la quema de combustibles sólidos, el humo de segunda mano y los combustibles fósiles.

Este trabajo consta de 5 secciones. En la primera sección se presentará la revisión de literatura de los principales estudios que abordan la relación de contaminación del aire y salud humana, tanto en el ámbito internacional como en el nacional, así como los estudios de carácter mecánico que abordan el funcionamiento de los motores de combustión interna cuando utilizan biocombustibles. La segunda sección se enfocará en la descripción del contexto colombiano de producción de biocombustibles y normas de calidad del aire. En la tercera sección se mostrará el marco teórico y la descripción de los datos. En la cuarta sección se presentará el modelo, los principales resultados y algunos escenarios. En la quinta sección se presentarán las conclusiones.

1. Revisión de Literatura

1.1 Contaminación del Aire y Salud

Desde la perspectiva epidemiológica, los efectos nocivos de la contaminación del aire en espacios abiertos sobre la salud humana, han sido ampliamente estudiados. En una primera etapa estos estudios se concentraron en los efectos tóxicos que algunos gases producían en los trabajadores de las fábricas, siderurgias, ferrocarriles y cementeras a principios de siglo XX. Sin embargo, en la medida en que la producción industrial aumentó en las ciudades, el efecto de la contaminación del aire se reflejó en la población que no necesariamente trabajaba en este tipo de fábricas. Para la década de 1960 ya existían estudios que relacionaban la contaminación del aire con enfermedades pulmonares y cardíacas. No obstante, estos trabajos no tenían en cuenta factores ambientales, ni poblacionales. Lebowitz (1973) es uno de los primeros investigadores que intenta tener en cuenta los factores medio ambientales tales como la estacionalidad climática, su trabajo se basó en el análisis de datos de tres ciudades en Estados Unidos, Los Ángeles, Filadelfia y Nueva York, encontró una relación a través del tiempo entre los factores medioambientales (contaminación del aire y estacionalidad climática) y la tasa diaria de mortalidad. Posteriormente Lebowitz, Toyama y McCarroll (1973) realizan un estudio similar en Tokyo encontrando resultados similares. Durante las décadas de 1970 y 1980 los estudios basados en datos transversales se popularizaron, muestra de esto son los estudios de Kim (1985), Bobak y Leon (1992), no obstante este tipo de estudios fueron fuertemente criticados por no considerar factores de riesgo individual como el tabaquismo, el sobre peso y otros riesgos de salud.

Una primera aproximación para superar este problema la realizaron Dockery, Pope, Xu, Spengler, Ware, Fay, Ferris, Speizer, (1993) quienes reconociendo el problema de los estudios basados en datos transversales en Estados Unidos y el mundo decidieron controlar por factores individuales de riesgos. Como principal resultado encontraron que después de controlar por tabaquismo y otros factores individuales, existe una relación estadísticamente significativa entre contaminación del aire y morbilidad específicamente existe una relación positiva entre la contaminación del aire, el cáncer de pulmón y las enfermedades cardiorrespiratorias. Además, la

morbilidad fue más estrechamente asociada con la contaminación por material particulado PM10 y PM2.5. Los resultados de este estudio fueron con firmados por Pope, Burnett, Thun, Calle, Krewski, Ito, Thurston (2002), Wong, Atkinson, Anderson, Johnson, Ma, Chau, Lam (2002), Wong, Vichit-Vadakan, Kan, Qian (2010) entre otros estudios.

En Colombia uno de los pioneros en estudiar esta relación fue Montealegre (1993), en su trabajo comparó la exposición a diferentes niveles de contaminación de las sustancias previamente identificadas como peligrosas para la salud humana: sulfurosos, nitrogenados y partículas en suspensión, durante los años 1987 a 1991 en la ciudad de Bogotá. Como principales resultados encontró que una reducción del 1% de las partículas en suspensión implicaba una reducción de 0.05% en las hospitalizaciones por enfermedad respiratoria aguda y de reducirse el nivel de contaminación en un 40%, las hospitalizaciones se reducirían en 284 casos. Para una disminución del 1% del mismo contaminante, los casos de hospitalización por neumonía se reducen en 0.04% (632 casos de reducirse el 40%). Calixto, Díaz (1997) utilizando una aproximación de la función dosis respuesta para estimar el efecto sobre la morbilidad en niños menores de 5 años, encontraron que un aumento del 1% en la contaminación aumenta la tasa de morbilidad de esta población en 3,3%. Lozano (1998) utilizando una metodología similar, mostró que cuando se duplica las emisiones del contaminante PM10 el número de admisiones hospitalarias por enfermedad respiratoria aguda durante el año 1998 en la ciudad de Bogotá aumenta un 120%, y este efecto aquejaba más a ciertos grupos de población, como mujeres 132%, población entre los 35 años a 50 años 141% y de 51 años a 64 años 217%, adicionalmente, cuando se duplica las emisiones de NO₂ las admisiones hospitalarias por enfermedad respiratoria aguda se incrementan un 12% la población más afectada es la de entre 0 y 6 años de edad con 24,5%. Estudios metodológicamente similares fueron desarrollados con posterioridad mostrando resultados similares, Urdaneta (1999), Lozano (2004).

Desde un enfoque de función de producción de salud, Rodríguez (1999) estimó la disposición a pagar por la reducción de un miligramo de partículas suspendidas en \$ 4,283.02 y una reducción de una parte por billón dióxido de azufre de \$ 6,602.46 con base a encuestas realizadas en 5 barrios de Bogotá.

Castillo (2010) realizó una evaluación del beneficio en salud y económico de una reducción de las emisiones de PM10 propuestas en el Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá. Este

estudio utiliza una función dosis respuesta para estimar el impacto en salud y la metodología de transferencia de beneficios basada en otros estudios realizados en ciudades latino americanas con el fin de estimar la disposición a pagar por la reducción del contaminante PM10 en Bogotá. Como resultado encontró que de aplicarse el Plan Decenal de Descontaminación de Bogota, la ciudad ahorraría 16 billones de pesos, se reducirían en mas de 13.000 casos de mortalidad, 28.000 hospitalizaciones en niños menores de 5 años y 5500 atenciones en unidades de cuidados intensivos para el periodo proyectado 2010-2020.

Los estudios que compran varias ciudades de Colombia son pocos y responden a la necesidad del gobierno colombiano de cuantificar el impacto económico de la contaminación del aire. En un trabajo para el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, Larsen (2004) estimó que la contaminación del aire urbano le costaba al estado colombiano cerca de 1,5 billones de pesos al año, este resultado está basado en las mediciones de la red de monitoreo de Bogotá, Bucaramanga, Cali, y el Valle de Aburrá.³

Con relación a los trabajos realizados en Colombia, este trabajo utiliza una metodología ya conocida, la estimación de una función dosis-respuesta para las ciudades de Bogotá y Bucaramanga, entre la enfermedad respiratoria y el contaminante PM10. El aporte de este trabajo es evaluar la efectividad de la política de mezcla obligatoria de biocombustibles con combustibles fósiles para reducir las emisiones contaminantes de PM10.

1.2 Emisiones de Gases Contaminantes de los Motores de Combustión Interna con el Uso de Biocombustibles⁴

El efecto de la reducción de las emisiones contaminantes por uso de biocombustibles ha sido ampliamente registrado por la literatura científica, a través de pruebas de banco y pruebas de

³ Con base al trabajo de Larsen, Bruman (2004) en un trabajo diseñado para el mismo ministerio, realizó una propuesta para la implementación de instrumentos que ayuden mitigar el impacto económico de la contaminación del aire urbano, de estos dos documentos se deriva la actualización de la política de calidad del aire que se implantó durante los últimos años en Colombia.

⁴ Etanol y Biodiesel

ruta. Fazal, Haseed, Masjuki (2011) aseguran que este efecto se debe a que tanto en etanol como en biodiesel contienen cerca del 10% de oxígeno, esto permite una combustión completa del combustible dentro del motor y evita la formación de material particulado, reduce las emisiones de monóxido de carbono y las emisiones de hidrocarburos libres, en el caso del biodiesel al carecer de azufre también se reduce las emisiones de óxido de azufre.

Sin embargo, en el caso del biodiesel no hay un consenso científico sobre las emisiones de NOx⁵. Uno de los resultados más famosos es el estudio adelantado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA (2002) en donde se realizaron varios ensayos con diferentes tipos de biodiesel y diferentes niveles de mezcla. Encontraron que en general existe una reducción de las emisiones contaminantes del motor diesel, pero para el caso de las emisiones de NOx aumentaron conforme aumentaba la mezcla de biodiesel y diesel fósil. Vale la pena aclarar, que esta es una relación general y que el mismo estudio muestra que hay reducciones NOx para ciertos tipos de materia prima.

Fazal et al. (2011), atribuyen la falta de consenso sobre las emisiones de NOx a la utilización de diferentes materias primas para la producción del biodiesel y a las condiciones en las que se realizaron los diferentes pruebas. Por ejemplo Munack, Schroeder, Krahl y Buenger (2001) encuentran que las emisiones de NOx se redujeron en comparación con el diesel fósil utilizando una prueba de banco, con motor Farymann tipo 18 D y utilizando Biodiesel de colza. Un resultado similar encontró Moreno (1999) utilizando biodiesel de girasol encontró que las emisión de NOx es ligeramente inferior al producido por el diesel fósil. En contraste Nabi, Rahman, Akhter (2009) utilizando biodiesel de aceite de algodón encontraron un aumento del 10% de las emisiones de NOx.

Para el caso Colombiano hay que tener en cuenta que el biodiesel utilizado en la mezcla es fabricado con aceite de palma⁶. Con respecto a las pruebas realizadas con este tipo de aceite, la mayoría de la literatura señala que existe una disminución de las emisiones de SO₂, CO, CO₂, hidrocarburos y PM₁₀ pero en el caso de las emisiones de NOx persiste la duda. Wirawan, Tambunan, Djamin, Nabetani, Hiroshi (2008) mostraron como resultado de un estudio de pruebas de ruta de 20.000 Km con una mezcla B30 en Indonesia una reducción de las emisiones

⁵ Óxidos nitrosos

⁶ esta materia prima no fue utilizada en el estudio de EPA(2001)

de NOx. Agudelo, Benjumea, Pérez, (2004) realizaron una prueba de ruta de corta duración, utilizando biodiesel de aceite de palma, este estudio encontró una reducción de la opacidad de los humos y de las emisiones de CO², incluso si se comparaba con diesel bajo en azufre, sin embargo no concluye sobre las emisiones de NOx porque el analizador de gases que utilizaron en este estudio no se los permitió. Amado, García, Carranza, Cuellar, Torres, Acero, Sarmiento, Sarmientos, Cubaya y Rincon, (2008) en un estudio de ruta de larga duración también con biodiesel de aceite de palma, concluyen en el mismo sentido de Agudelo et al. (2004) con respecto a la reducción de la opacidad de los humos y la reducción del CO², pero no concluye sobre el aumento de las emisiones NOx dado que estas emisiones dependen de las condiciones medioambientales, como humedad relativa, entre otros factores que deben ser medidos bajo condiciones controladas y esto es contrario al tipo de estudio que realizó.

Tabla 1. Reducción de las emisiones principales estudios para Colombia con biodiesel de aceite de palma

	Mezcla	B5	B10	B20	B30*	B50*
Amado et al. (2008)	Material particulado	2,3%	5,4%	25,8%	32,1%	20,55
	CO2	3,6 %	3,5%	12,3%	6%	6,6%
	Mezcla	B20	B40	B60	B80	B100
Agudelo et al. (2004)	CO2 Diesel	4%	6%	8%	9%	11%
	Común					
	CO2 Bajo en Azufre	3%	5%	7%	8%	10%

Fuente: Agudelo et al. (2004) , Amado et al. (2008) elaboración propia

2. Contexto Colombiano

2.1. Normatividad Calidad del Aire en Colombia.

Colombia tiene una tradición en materia de jurídica para los temas de contaminación del aire, (IDEAM, 2005). Comienza con la ley 23 de 1973 la cual establece la base legal para la implementación del Código Nacional de Recursos Naturales. Posteriormente se emitió el Decreto 2811 del 1974 que estableció el Código Nacional de Recursos Naturales y la ley 9 del 1979 que estableció el código sanitario para las emisiones atmosféricas y el decreto 2 del 1982 estableció los estándares de calidad del aire.

La Constitución Política de Colombia de 1991 en su artículo 79 consagra el derecho de gozar de un ambiente sano. Con el fin de garantizar este derecho se expidió la ley 99 de 1993 en la cual se creó el Ministerio del Medio Ambiente y organiza el Sistema Nacional Ambiental. El decreto 948 de 1995 deroga parcialmente al decreto 2 de 1982, y fijó una nueva reglamentación en materia de protección y control de la calidad del aire. Este reglamento se modificó para la ciudad de Bogotá en el año 2001 y posteriormente en el 2003.

A pesar de la existencia de un marco legal para la reglamentación y control de las emisiones contaminantes que afectan la calidad del aire, en el año 2004 el gobierno colombiano reconoce que hasta ese momento el país no cuenta con una línea de política para la formulación de estrategias coordinadas que le permitan prevenir y controlar la contaminación del aire, y que las acciones realizadas hasta el momento son aisladas, no han sido evaluadas y carecen de documentación (DNP, 2005). Mediante documento CONPES 3344, el gobierno colombiano definió unos lineamientos de política para la prevención y control de la contaminación del aire. Entre ellos, la mejora en la calidad de los combustibles a través de planes de reducción del nivel de azufre en el diesel e implementación de combustibles más limpios, tales como los biocombustibles. En esa dirección, el decreto 979 del 2006 modifica parcialmente al decreto 948 de 1995 y en la resolución 610 del 2010 establece nuevos parámetros para las emisiones de gases contaminantes.

Finalmente la ley 1205 del 2008 establece que para asegurar el derecho al goce de un ambiente sano “se declara de interés público colectivo, social y de conveniencia nacional la producción, importación, almacenamiento, adición y distribución de combustibles diésel, que minimicen el

impacto ambiental negativo y que su calidad se ajuste a los parámetros usuales de calidad internacional.” Por medio de esta ley se reducirían los niveles de azufre gradualmente empezando por Bogotá, para los Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM), incluidos los sistemas de transporte masivo público de pasajeros con radio de acción metropolitano, distrital o municipal que utilicen diésel, se exige que este contenga un máximo de 500 ppm de azufre a partir del 1o de julio de 2008. A partir del 1o de enero de 2010, estos mismos sistemas deberán utilizar diésel de menos de 50 ppm de azufre.

Para el resto del país, para todos los sistemas de transporte que utilicen diésel se utilizará diésel de menos de 3.000 ppm de azufre a partir del 1o de julio de 2008 y hasta el 31 de diciembre de 2008. A partir del 1o de enero de 2009 se utilizará diésel de menos de 2.500 ppm de azufre hasta el 31 de diciembre de 2009. A partir del 1o de enero de 2010 se utilizará diésel de menos de 500 ppm de azufre hasta el 31 de diciembre de 2012. A partir de esta fecha, se deberá utilizar diésel de menos de 50 ppm de azufre.

2.2 Industria de los Biocombustibles en Colombia

La industria de los biocombustibles en Colombia tiene un origen normativo. Este origen responde a las condiciones de mercado que hacían imposible la competencia directa entre los biocombustibles a escala comercial y los combustibles fósiles. Sin embargo, ante las oportunidades que presentaba el desarrollo de una industria de biocombustibles para el sector agrícola, la necesidad de mitigar el impacto ambiental de los combustibles fósiles, mejorar la calidad de los combustibles y diversificar la canasta energética del país, el Congreso Colombiano aprobó la ley 693 del año 2001⁷. Esta ley elimina el monopolio de producción de alcoholes de los entes departamentales para usos diferentes a la elaboración de bebidas alcohólicas, establece la mezcla obligatoria de alcohol carburante con gasolina iniciando por los centros con mayor densidad de población y de mayor contaminación atmosférica y establece plazos de 6 meses para la emisión de la regulación ambiental y técnica⁸, y 5 años prorrogables a uno para la

⁷ Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones

⁸ El Ministerio de Ambiente estaría a cargo de emitir regulación ambiental y el Ministerio de Minas y energía estaría a cargo de la regulación técnica

implementación de la mezcla obligatoria. La ley 693 fue acompañada con la Ley 788 de 2002 que exime del Impuesto al Valor Agregado, del impuesto global y de la sobretasa al alcohol carburante que se mezcle con la gasolina. A partir de las leyes 693 del 2001 y 788 del 2002 el Estado Colombiano desarrolló toda una nueva regulación para hacer técnica y económicamente viable la producción de alcohol carburante para la mezcla con gasolina.⁹

Al igual que el alcohol carburante, la producción de biodiesel también se basa en un marco normativo para ser económicamente viable. La ley 939 del año 2004, establece la exención del impuesto de renta líquida por 10 años a los cultivos de tardío rendimiento entre ellos la palma de aceite¹⁰, además establece que los biocombustibles de origen animal o vegetal destinados a la mezcla con diesel estarían exentos del pago del impuesto a las ventas y el impuesto global al diesel¹¹, como incentivo adicional el decreto 383 del 2007 establece estímulos para la creación de zonas francas para proyectos agroindustriales en materia de biocombustibles.

Con los estímulos financieros definidos, el crecimiento de la industria pasó a depender del nivel de mezcla obligatoria. Es así como en el Plan de Nacional de Desarrollo 2006-2010 “Estado Comunitario: Desarrollo Para Todos”¹² establece como metas de mezcla de combustibles fósiles, con biocombustibles para el año 2010 un porcentaje de 10% para el alcohol carburante con gasolina y 5% de biodiesel con diesel fósil. El Decreto 2629 del 2007 aumenta la meta de mezcla de biodiesel al 10% para el año 2010 y a partir del año 2012, establece una mezcla del 20% en ambos biocombustibles. No obstante, dadas las condiciones de negociación del tratado de libre comercio con la Unión Europea, el decreto 4892 del 2011 establece que cualquier mezcla superior al 10% para ambos biocombustibles deberá ser aprobada por el Ministerio de Minas y Energía y la Comisión Intersectorial de Biocombustibles, por lo tanto se derogó la meta de mezcla obligatoria del 20% a partir del año 2012.

A pesar del establecimiento de metas en materia de mezclas, el cumplimiento de las mismas se ha retrasado debido a que la demanda por combustibles fue mayor a la esperada, y por lo tanto, los volúmenes de producción necesarios para el cumplimiento de las metas excedían la

⁹ Resolución 1565 de 2004, Decreto 1135 de marzo 2009, resolución 181555 de 2010, decreto 4892 del 2011

¹⁰ El aceite de palma es la principal materia prima para la producción de biodiesel en Colombia.

¹¹ El marco jurídico para la producción de biodiesel se complementó con la resolución 182087 del 2007, la resolución 182142 del 2007 el decreto 180462 del 2009, el decreto 181556 del 2010 y el decreto 4892 del 2011

¹² Plan de desarrollo del segundo mandato de Álvaro Uribe.

capacidad instalada de la industria en algunas zonas del país. Para responder a esta realidad, el Ministerio de Minas y Energía establece mensualmente el porcentaje mezcla que no exceda el 10% y sea acorde a la oferta de biocombustibles. Otro motivo por el cual no se han cumplido las metas de mezcla, es el impacto fiscal que genera el aumento de esta, pues como se mostró con anterioridad, la producción de biocombustibles está exenta del pago del impuesto al valor agregado, sobretasas e impuesto global, (Calderón y Romero, 2012).

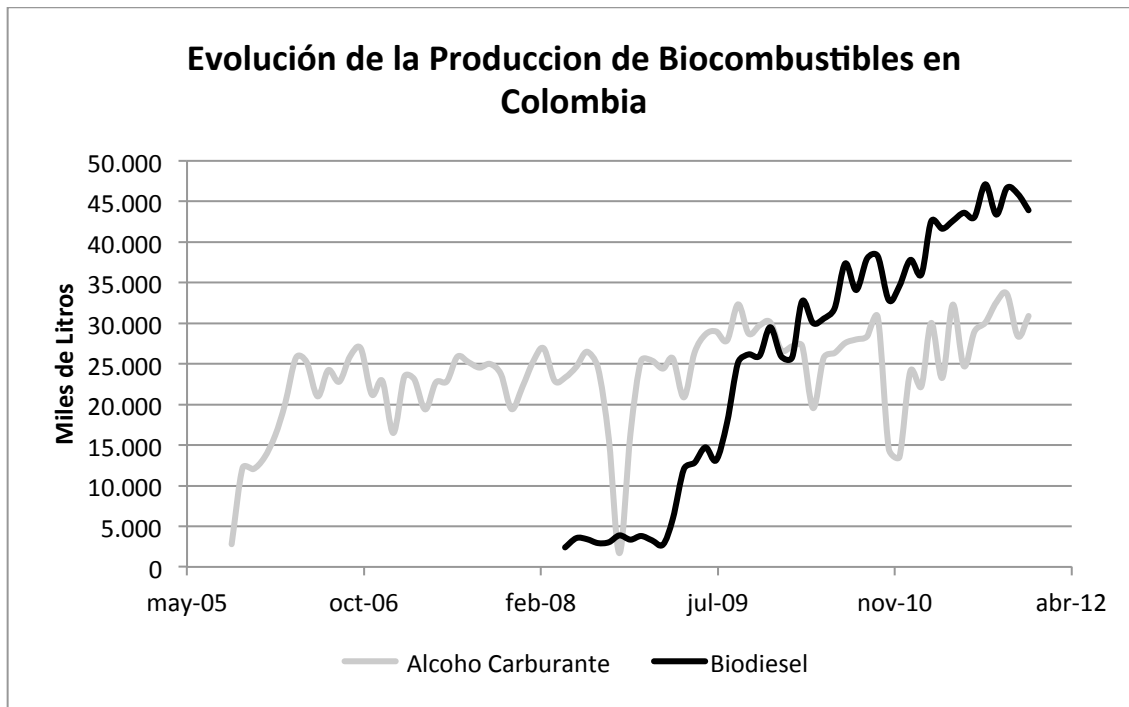
2.3 Cadena de distribución

La industria de los biocombustibles en Colombia durante el periodo de estudio está conformada por 5 plantas productoras de alcohol carburante a base de caña de azúcar, concentradas en los departamentos de Valle del Cauca y Risaralda, y una planta adicional establecida en el departamento de Meta que procesa yuca amarga. La capacidad instalada de estas plantas en el año 2011 suman 1.275.000 litros día. Por otro lado existen en el país 5 plantas productoras de biodiesel, que como se mencionó con anterioridad, utilizan aceite de palma como materia prima. En su mayoría están ubicadas cerca de las zonas de producción de aceite de palma en los departamentos de Magdalena, Cesar, Meta, Santander o cerca del lugar en donde realizan la mezcla con el combustible fósil, Cundinamarca, la capacidad instalada de estas plantas en el año 2011 fue de 1.638.000 litros día.

La cadena de distribución de biocombustibles en Colombia es relativamente sencilla. Empieza por la producción de los mismos en las plantas de proceso y continua con la entrega a los mezcladores o mayoristas, estos son los encargados de realizar la mezcla de biocombustibles con combustibles fósiles. La cantidad de biocombustibles demandada por los mayoristas depende del nivel de mezcla que establezca el Ministerio de Minas y Energía, al comienzo de cada mes y de la demanda natural por combustibles fósiles. Para asegurar el nivel de mezcla obligatoria, el mayorista debe mantener un inventario legal que le permita afrontar situaciones de desabastecimiento o incrementos repentinos del nivel de mezcla.

Una vez mezclados los combustibles, el mayorista despacha el producto a las estaciones de servicio para la venta al detal, o lo envía a los grandes compradores. Estos últimos no pueden alterar el nivel de mezcla, por lo tanto cuando el combustible es utilizado en los motores de combustión interna reciben el nivel de mezcla decretado por el Ministerio de Minas y Energía.

Grafica 1



Fuente: Asocaña(2014) Fedebiocombustibles (2014). Cálculos Propios

3. Marco Teórico

3.1 Valoración Económica

La valoración económica del mejoramiento las condiciones ambientales siempre ha planteado un reto metodológico para la economía. Como primera consideración, no existe un mercado que defina el precio de reducir el nivel de un contaminante que afecta a la salud humana. En ese sentido, no es claro cuánto la sociedad valora tener un ambiente más sano por la reducción de un contaminante, o cuanto está dispuesta a sacrificar en términos de producción y salarios para mitigar el impacto de la contaminación.

En general la evaluación económica de los efectos en salud por la reducción de la contaminación se centra en dos efectos, los efectos sobre la morbilidad por la reducción del riesgo producido

por el contaminante y los efectos sobre mortalidad, (Castillo, 2010). Con respecto a los efectos sobre la morbilidad de la población, existen dos enfoques claves, el de la disposición a pagar y el enfoque la evaluación de los costos por enfermedad o enfoque del capital humano. Como lo muestra Freeman (2003) en el enfoque de la disposición a pagar se supone que los individuos valoran estar vivos, sus preferencias se basan en los cambios en el bienestar por la variación en la probabilidad de desarrollar enfermedades, discapacidad o incluso la muerte, esta probabilidad depende de decisiones del individuo por ejemplo cuando las personas están dispuestas a asumir un mayor riesgo si a cambio reciben un mayor pago, como es el caso de los trabajos peligrosos. Por otro lado, existe una probabilidad que no depende de las decisiones del individuo, sino que subyace en el ambiente que lo rodea, esta probabilidad puede ser modificada por el gobierno.¹³

El enfoque de la disponibilidad a pagar implica la identificación de los *tradeoffs* entre el riesgo asociado al contaminante y el ingreso o salario del individuo. En este sentido, para la valoración económica es necesario que los individuos revelen sus preferencias a través de encuestas o con otra metodología de aproximación, como la de precios hedónicos. La aplicación de los métodos para calcular la disposición a pagar en general son costosos y en ese sentido son más difíciles de calcular. Como lo muestra Castillo (2010), los valores de disponibilidad a pagar para un contexto local requieren de estudios más largos y costosos.

El costo por enfermedad, también conocido como el enfoque del capital humano es un enfoque más limitado y sencillo con respecto al enfoque de la disponibilidad a pagar. Como lo señalan Cifuentes, Krupnick, O'Ryan, y Toman, (2005) este método comúnmente es utilizado por agencias norteamericanas como el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Centro de Control de Enfermedades (CDC) para realizar análisis costo beneficio. Su sencillez radica en que solo tiene en cuenta los costos de atención de la enfermedad, más los costos asociados a la pérdida de productividad laboral. Para muchos autores como Cifuentes et al. (2005) y Freeman (2003), los costos por enfermedad deben ser considerados como la cota inferior de la valoración economía al calcular el valor del costo monetario asociado con la enfermedad. Según Cifuentes et al. éste método no pretende ser una medida de bienestar individual o social, ya que no hace ningún intento para incluir pérdidas intangibles pero reales en el bienestar, tales como los relacionados con el dolor y el sufrimiento.

¹³ Freeman (2003) desarrolla el modelo de Sussman para explicar este caso.

Por el lado de la mortalidad, una metodología comúnmente utilizada para hacer la valoración económica es estimando el valor estadístico de una vida. Esta metodología es usada por diferentes agencias¹⁴ para evaluar la reducción de los riesgos de mortalidad expresado en términos monetarios. Análogamente a la metodología de la disposición a pagar, el valor estadístico de una vida consiste en estimar cuánto un individuo está dispuesto a pagar por la reducción del riesgo de muerte. Como lo señala Castillo (2010), este valor no representa el valor de una vida, sino la reducción del riesgo de muerte de un individuo. Al igual que en la disposición a pagar para un contexto local, estimar este indicador es costoso, pues es necesario recurrir a la elaboración de encuestas en donde los individuos revelen sus preferencias por aumentar o reducirlo el riesgo de muerte. En el contexto latinoamericano, existen pocos estudios que estimen el valor estadístico de una vida y en el contexto colombiano no se encontraron estudios que asocien el riesgo de muerte por condiciones de contaminación del aire. En ese sentido, es común que los estudios para Colombia utilicen la metodología de transferencia de beneficios con el fin de realizar la evaluación económica como en el caso de Lozano (2003) y Castillo (2010), tanto para estimar los efectos sobre morbilidad con el enfoque de la disponibilidad a pagar, así como los efectos sobre mortalidad, estimando el valor estadístico de una vida.

3.2 Función Dosis Respuesta

Como lo muestra Corral (2012) una función dosis-respuesta puede ser definida como aquella función que relaciona los cambios en un receptor humano, animal o vegetal, con el cambio de un contaminante. Este tipo de funciones puede desarrollarse bajo condiciones controladas de laboratorio exponiendo a un receptor a grandes cantidades del contaminante, o con estudios epidemiológicos sobre poblaciones reales. Para Ostro (1998) las funciones dosis-respuesta provienen en su mayoría de estudios epidemiológicos que toman datos de una misma población a través del tiempo, tipo series de tiempo, o entre lugares expuestos a diferentes niveles de contaminación, tipo corte transversal.

Los estudios de series de tiempo sobre una misma población tiene la ventaja de no necesitar corregir por factores individuales de riesgo cuando se utiliza periodos cortos de tiempo para la

¹⁴La Agencia de Protección Medio Ambiental de Estados Unidos EPA y Agencia de Protección Europea.

periodización, tales como datos diarios,(Lozano, 2004). Así mismo, si el estudio se realiza sobre un periodo corto de tiempo ejemplo un año con datos diarios, la posibilidad de que los efectos individuales como el consumo de cigarrillo, la actividad física o la dieta afecten la relación estimada se reduce, (Ostro, 1998). Por otro lado, este tipo de estudios si deben tener en cuenta controlar por factores medio ambientales, como lo señala Lozano (2004), existe una fuerte relación entre la contaminación, la morbilidad y factores climáticos, que puede ser corregida utilizando modelos auto regresivos, variables meteorológicas, variables dummy para la estacionalidad climática e incluso variables dummy para por cada día de la semana (Ostro, 1998)

Finalmente, y como lo señala Ostro (1998), es necesario aclarar que la relación estimada entre un contaminante atmosférico y un efecto en salud aunque sea estadísticamente significativa, no es prueba de causalidad. Según Ostro (1998) esto se debe a que es difícil aislar el efecto de un contaminante atmosférico específico de la interacción con otros contaminantes atmosféricos. La relación de causalidad se infiere por otros estudios epidemiológicos en donde se duplica la relación contaminante salud.

3.3 Los Datos

Los datos utilizados para las estimaciones de las funciones dosis-respuesta especificadas en este trabajo provienen de diferentes fuentes: los datos sobre enfermedad respiratorias diarios provienen de los Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud (RIPS). De acuerdo con la Resolución 3374 del año 2000 los RIPS son un conjunto de datos mínimos con los cuales el Sistema Nacional de Seguridad Social en Salud direcciona, regula, controla y soporta la venta de servicios de salud en Colombia. Los RIPS son de obligatorio cumplimiento y están obligados a reportar las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS), los profesionales independientes, los grupos de práctica profesional, las entidades Administradoras de Planes de Beneficios. En este sentido los RIPS recogen información tanto del régimen contributivo de salud como del régimen subsidiado y los regímenes especiales de salud, entre otros.

Los RIPS contienen datos como el día de admisión, la edad del paciente, sexo, el municipio de residencia del paciente, el tipo de diagnóstico, el tipo de régimen de afiliación al sistema de salud, valor de la consulta, valor de la cuota moderadora, entre otras variables sociales. Para

efectos prácticos de este trabajo, se filtró la base de datos de acuerdo con la clasificación internacional de enfermedades capítulo 10 diagnóstico enfermedades respiratorias, fecha de atención, municipio y tipo de residencia urbana. Otros diagnósticos analizados dentro de este estudio fueron: (J00-J06) Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores, (J09-19) Gripe y Neumonía, (J20-J22) Enfermedades respiratorias inferiores agudas, (J40-J47) Enfermedades respiratorias inferiores crónicas.

Con respecto a los datos de contaminación atmosférica y meteorología, la información proviene en el caso de Bogotá de la Secretaria Distrital de Ambiente, específicamente de las estaciones Carvajal, Las Ferias, Puente Aranda y Tunal¹⁵ se utilizó el promedio diario de las observaciones para PM10, NO2, CO, temperatura y precipitación. En el caso de la ciudad de Bucaramanga la información provino de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, de las estaciones Centro y Florida¹⁶.

Por último los datos sobre el porcentaje de mezcla obligatoria para las ciudades de estudio provienen del Ministerio de Minas y Energía.

¹⁵ La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá para el periodo de estudio constaba de 14 estaciones de monitoreo, sin embargo las estaciones Carvajal, Las Ferias, Puente Aranda y Tunal fueron las que más datos registraron.

¹⁶ La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bucaramanga para el periodo de estudio constaba de 8 estaciones de monitoreo, sin embargo solo las estaciones Centro y Florida estuvieron encendidas.

Tabla 2. Estadísticas Básicas Enfermedad Respiratoria, Contaminantes y Variables Meteorológicas 2009-2012 junio.

Ciudad	Variable	Unidad	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Bogotá	Enfermedad Respiratoria C10	Numero de casos	1277	3591	1722	347	9126
	PM10	µg/m3	1052	60.6	18.1	18.8	121.8
	NO2	ppb	897	19.4	6.6	4.5	40.0
	CO	ppm	967	1.1	0.4	0.4	2.3
	Precipitación	mm	1277	2.6	4.6	0.0	41.1
	Temperatura	°C	1277	14.5	0.9	10.7	17.5
Bucaramanga	Enfermedad Respiratoria C10	Numero de casos	1277	326.8	173.7	13	837
	PM10	µg/m3	1094	45.1	11.5	18.0	104.1
	NO2	ppb	1154	16.3	4.3	4.4	31.4
	CO	ppm	1260	1.2	1.2	0.3	2.9
	Precipitación	mm	1269	0.2	0.4	0.0	3.3
	Temperatura	°C	1276	22.3	1.1	17.2	26.8

Fuente: RIPS, Secretaria Distrital de Ambiente Bogotá, Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, elaboración propia.

3.4 El Modelo

La estimación de la relación entre el contaminante PM10 y la enfermedad respiratoria en las ciudades de estudio se basa en el trabajo de Lozano (2004).

$$\ln(RTA)_{it} = F(PM10_{it}, NO2_{it}, CO_{it}, preci_{it}, temp_{it}, preci^2_{it}, temp^2_{it}, dummy\ trimestre_{it}, dummy\ fin\ de\ semana_{it}) \quad (1)$$

En donde

Ln(RTA) = es el logaritmo registros diarios por la enfermedades respiratorias en la ciudad *i* en el momento *t*

Preci = precipitación diaria en la ciudad *i* en el momento *t*

Temp_i = la temperatura promedio del día en la ciudad *i* en el momento *t*

PM10_i = es el nivel promedio diario del contaminante (PM10) en la ciudad *i* en el momento *t*

NO2_i = es el nivel promedio diario del contaminante (NO2) en la ciudad *i* en el momento *t*

CO_i = es el nivel promedio diario del contaminante (CO) en la ciudad *i* en el momento *t*

dummy trimestre_i = variable dummy por trimestre. En la ciudad *i* en el momento *t*

dummy fin de semana_i = variable dummy que indica si es fin de semana (sábado o domingo) tiene un valor = 0; 1 de lo contrario. En la ciudad *i* en el momento *t*

La ecuación (1) Relaciona los registros de enfermedad respiratoria diarios con los promedios diarios de tres contaminantes, la temperatura promedio, la precipitación promedio además de controlar con variables dummy la estacionalidad climática y el efecto del fin de semana. El periodo de recolección de los datos es diario según Ostro (1998) y Lozano este tipo de periodización tiene la ventaja no necesitar corregir por factores individuales de riesgo. De acuerdo con la ecuación (1) se utilizó una especificación semi-logaritmica con tres contaminantes, material particulado menor a 10 micras (PM10) y dos controles, dióxido de nitrógeno (NO2) y monóxido de carbono (CO). A diferencia de la ecuación utilizada por Lozano, en este estudio se incluyó el contaminante monóxido de carbono y se excluyó al ozono debido a

limitaciones para la medición de estos contaminantes en la ciudad de Bucaramanga durante el periodo de estudio. Se espera que el signo de cada uno de los contaminantes sea positivo y el coeficiente sea significativo, este resultado esperado se basa en la revisión de literatura presentada en la sección 1.1 de este estudio.

Con respecto a las variables de control meteorológicas temperatura y precipitación, la relación no es clara. La relación entre la enfermedad y temperatura suele ser significativa en países con estaciones climáticas definidas, sin embargo en el caso de Colombia por ser un país tropical, no existe una gran variabilidad en esta variable. Así mismo, altas temperaturas están asociadas a la formación de polvo y las reacciones fotoquímicas que podrían aumentar el nivel de PM10, sin embargo Carranza, Quintero, Collins, Vildósola y Reyes (2003) mostraron para la ciudad de Mexcali una relación negativa entre la temperatura y el PM10. Con respecto a la precipitación se podría esperar un efecto negativo de la precipitación sobre la enfermedad, este efecto se debe a lo que Lozano (2004) denomina un efecto limpiador de la atmósfera que reduce los niveles de contaminación del aire. Lozano citando a Thurston y Kazuhiko (1999) afirman que la relación entre la enfermedad respiratoria la temperatura y la precipitación tiene forma de U, en este sentido se incluyen estas variables al cuadrado.

La variable dummy por estación climática se utiliza comúnmente para capturar el comportamiento estacional de la enfermedad respiratoria. Para este estudio se utiliza una dummy por trimestre. En el estudio de Lozano (2004) la variable dummy por estación climática se define para la estación seca y la estación lluviosa por ser Colombia un país tropical. En este estudio se mantiene la estructura trimestral porque existen diferencias entre la estación húmeda y seca en la primera mitad del año con respecto a la segunda. De acuerdo con la revisión de literatura se espera que esta variable sea significativa y positiva.

Finalmente, Ostro (1998) recomienda la utilización de una variable dummy para capturar el comportamiento estacionario entre días hábiles laborales y fines de semana. Se espera que esta variable sea significativa y positiva.

3.5 Efectos de la política de biocombustibles sobre el PM10

Para medir el efecto de la política de biocombustibles sobre las emisiones de PM10 en las ciudades de estudio se estima el modelo propuesto en la ecuación (2).

$$PM10_{it} = f(\% \text{ mezcla}_{it}, \log(\text{preci}_{it}), \log(PM10_{t-1}), \text{dummy fin de semana}_{it}) \quad (2)$$

Donde:

$PM10_i$ = las emisiones de material particulado menor a 10 micras diarias en la ciudad i en el momento t

$\% \text{mezcla}_i$ = es el porcentaje de mezcla obligatoria de biodiesel con diesel fósil para la ciudad i en el momento t

$\text{Log}(\text{Preci}_i)$ = logaritmo de precipitación diaria en la ciudad i en el momento t

$\text{Log}(PM10_{t-1})$ = es el logaritmo de emisiones de PM10 en el día anterior en la ciudad i

$\text{dummy fin de semana}_i$ = variable dummy que indica si es fin de semana (sábado o domingo) tiene un valor = 0; 1 de lo contrario. En la ciudad i en el momento t

Esta ecuación no corresponde a un modelo de dispersión de contaminantes, en este sentido no se tiene en cuenta la interacción con otros contaminantes ni otras reacciones fotoquímicas, solo busca analizar si un cambio en el porcentaje de mezcla de obligatoria de los combustibles afecta el promedio de PM10 observado en la misma ciudad.

Este estudio solo tiene en cuenta los cambios de la política de mezcla obligatoria para el biodiesel con el diesel fósil, y no analiza los cambios de la mezcla obligatoria del etanol con la gasolina. La razón para sólo analizar la política de mezcla del biodiesel se debe a que los vehículos diesel son una fuente de PM10 mucho más representativa que los vehículos a gasolina. Según Rojas (2004) cada vehículo diesel emite entre 45 a 80 veces la masa de material particulado en comparación con un vehículo a gasolina de la misma potencia. En este sentido, se espera que la mezcla obligatoria de biodiesel tenga un mayor efecto sobre la reducción del contaminante de PM10 en comparación con la mezcla de etanol¹⁷.

¹⁷ El efecto del Etanol esta asociado con la reducción de monóxido de carbono, otro peligroso contaminante, sin embargo este análisis se escapa de los limites de este estudio.

Con respecto a la ecuación 2, se espera que el coeficiente del porcentaje de mezcla obligatoria sea negativo, es decir un mayor porcentaje de mezcla de biodiesel implica una reducción del contaminante PM10, tal como lo muestra los estudios a nivel de prueba de banco y de ruta Fazal et al. (2011), Agudelo (2004), Amado et al. (2008) .

Según lozano (2004) la precipitación diaria tiene un efecto de limpieza sobre los contaminantes atmosféricos, en este sentido se espera que el coeficiente de esta variable sea negativo y significativo. El rezagó de las emisiones de PM10 se utiliza para tratar de estimar el efecto acumulativo de la contaminación, se espera que el coeficiente sea positivo y estadísticamente significativo. Finalmente la variable Dummy *fin de semana* atrapa el efecto estacional de las emisiones durante la semana, se espera que el coeficiente sea positivo y significativo.

3.6 Limitaciones

Con respecto a la metodología utilizada y los datos disponibles vale la pena que el lector tenga claro los límites de este estudio. Primero, este trabajo toma datos de la red de monitoreo de las ciudades y evalúa la exposición a los contaminantes en una población en general y no a nivel individual. Como lo señala Lozano (2004) y Castillo (2010) los individuos pueden estar expuestos a niveles de contaminación que no necesariamente se reflejan en los reportes de las estaciones de monitoreo, sino que dependen de las emisiones en ambientes cerrados en los cuales desarrollan su vida diaria. Un ejemplo común para un país en desarrollo son las emisiones en espacio cerrado generados por la quema de combustibles sólidos para cocinar, para un país desarrollado el ejemplo sería la exposición al humo de cigarrillo de segunda mano en oficinas. A pesar de esta limitación muchos estudios epidemiológicos utilizan la información de las redes de monitoreo pues son la única herramienta de medición disponible, como en este caso.

Los datos utilizados no diferencian grupos de edades sino presenta un resultado general para toda la población. Como se mostró en la sección 1.1 de este documento, varios estudios muestran que existen diferencias en el efecto de los contaminantes si se tiene en cuenta grupos de edades específicos como niños menores de 5 años o población mayor a 65 años, pues estos grupos poblacionales son los más afectados por las enfermedades respiratorias. Aunque la evaluación de la relación entre el contaminante y la enfermedad sobre toda la población produzca resultados

significativos, el análisis por grupos de edad permite una mejor aproximación para estimar la pérdida de productividad medida en días laborales causada por la enfermedad.

Este trabajo solo evalúa el efecto del contaminante PM10 sobre las enfermedades respiratorias. De acuerdo con Dockery et al (1993) el PM10 también está asociado con otras enfermedades como el cáncer de pulmón y las enfermedades cardiorrespiratorias, en este sentido los resultados de este estudio deben entenderse como resultados parciales y específicos para la enfermedad respiratoria. Así mismo, solo tener en cuenta el efecto del PM10 implica analizar el impacto de la mezcla biodiesel diesel fósil y no la mezcla etanol gasolina pues los motores a gasolina no son una fuente significativa de PM10 en comparación con un motor diesel.

La evaluación económica de este estudio se presenta como referencia a otros estudios utilizando la metodología de transferencia de beneficio. Para Colombia este trabajo no encontró estudios que midieran la disponibilidad a pagar por la disminución de un contaminante, ni estudios que midan el valor estadístico de una vida asociada a la contaminación del aire. Para obtener estos valores se utiliza la metodología de transferencia de beneficio al igual que en los estudios de Lozano (2004) y Castillo (2010).

Existen dificultades para el trabajo con los RIPS, según Martínez y Pacheco (2012) quienes compararon la calidad de los datos registrados en los RIPS, en las 32 ciudades capitales con las historias clínicas de los pacientes y el Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA) encontraron que existe alrededor del 13.17% de errores en el registro de diagnósticos en los RIPS, además se encontró que 16.7% de la muestra seleccionada de Unidades Primarias Generadoras de Datos no reportaron datos. A pesar de estos inconvenientes Martínez et al. (2012) confirman la utilidad del uso de los RIPS en la vigilancia en salud pública.

Finalmente en este estudio se supone una distribución uniforme del contaminante sobre la población afectada, para algunos autores como Ostro (1998) la mejor metodología es determinar la dispersión del contaminante sobre una grilla. Sin embargo esta metodología suele ser costosa por lo cual es común recurrir al supuesto de dispersión uniforme del contaminante aun cuando se reconozca que no toda la población está expuesta a los mismos niveles de contaminación.

4. Resultados.

4.1 Función Dosis Respuesta.

De acuerdo con lo planteado en la sección 3.4, en la tabla 3 y tabla 4 se presentan los resultados de la estimación de la ecuación (1) para las ciudades de Bogotá y Bucaramanga¹⁸. Como se esperaba, la relación entre el contaminante PM10 y la enfermedad respiratoria es positiva y significativa para el total de registros de la enfermedad respiratoria en ambas ciudades, y los coeficientes son relativamente similares. Un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ está asociado con un aumento del 5% del total de registros por la enfermedad en Bogotá y 5,3 % en Bucaramanga al 1% de nivel de significancia. Con respecto al trabajo de Lozano (2004) el coeficiente calculado para Bogotá en el año 1998 fue de 7.8% para el modelo sobre toda la población. Si embargo si se analiza el comportamiento de la relación entre los principales diagnósticos, el diagnóstico de gripa y neumonía no fue significativo para la ciudad de Bucaramanga y para la ciudad de Bogotá el coeficiente es positivo pero su nivel de significancia es de sólo el 10%. Este resultado se puede explicar porque se tomó el registro agregado j9-j19 para neumonía y gripa, y no sólo para la neumonía que es la enfermedad asociada al contaminante, (Montealegre, 1993). Los diagnósticos para las infecciones agudas de las vías respiratorias superiores, enfermedades respiratorias inferiores agudas y enfermedades respiratorias inferiores crónicas son significativos y positivos en las dos ciudades, un aumento en la concentración 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ esta asociado con un aumento del 4.5%, 2.9% y 6% en los registros para Bogotá y 5%, 5,2 % 3,6% en los registros para Bucaramanga.

Con respecto al monóxido de carbono la relación encontrada muestra que el coeficiente es positivo y significativo para el total de enfermedades respiratorias analizadas en ambas ciudades, a un nivel de significancia del 1%. El dióxido de nitrógeno no es significativo para la ciudad de Bogotá, esto muestra una diferencia con respecto al trabajo de Lozano (2004) para el cual este coeficiente es positivo y significativo. Para la ciudad de Bucaramanga la relación estimada es positiva y significativa para el total de registros de enfermedad respiratoria, infecciones agudas de las vías respiratorias superiores, enfermedades respiratorias inferiores agudas y enfermedades

¹⁸ Las estimaciones se realizaron por mínimos cuadrados robusto

respiratorias inferiores crónicas. Al igual que el en el caso del PM10 el dióxido de nitrógeno no es significativo con los registros de gripe y neumonía para la ciudad de Bucaramanga.

Las variables meteorológicas de temperatura y precipitación muestran comportamientos diferentes. Para el caso de Bogotá no son significativas, este resultado concuerda con el trabajo de lozano (2004) para la misma ciudad. Para el caso de Bucaramanga la temperatura concuerda con la forma de U propuesta por Thurston y Kazuhiko (1999).

Finalmente las Dummy estacionales y la Dummy por fin de semana también son significativas y positivas.

Tabla 3. Función Dosis Respuesta Estimada para Bogotá 2009 -junio 2012¹⁹

Variable	Unidades	Log Total Enfermedad Respiratoria	Log Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	Log Gripe y Neumonía	Log Enfermedades respiratorias inferiores agudas	Log Enfermedades respiratorias inferiores crónicas
Pm10	µg/m3	0.0050***	0.0045**	0.0027*	0.0029**	0.0060***
Desv Stad		0.0017	0.0018	0.0014	0.0014	0.0019
No2	ppb	-0.0002	0.0001	0.0153	0.0011	-0.0027
Desv Stad		0.0039	0.0039	0.0036	0.0031	0.0043
CO	ppm	0.2536***	0.2196**	0.2000***	0.1957***	0.3485***
Desv Stad		0.0871	0.0916	0.074	0.0683	0.0897
Precipitación	mm	-0.016	-0.0158	-0.0007	-0.0011	-0.0182
Desv Stad		0.0096	0.0098	0.0079	0.0076	0.0102
Precipitación²		0.0008	0.0008	0.0001	0.0001	0.0009
Desv Stad		0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0004
Temperatura Promedio	°C	0.2058	0.218	-0.1188	0.3047	-0.0326
Desv Stad		0.3606	0.375	0.3153	0.2974	0.383
Temperatura Promedio²		-0.0063	-0.0064	0.0063	-0.0104	0.0019
Desv Stad		0.0122	0.0127	0.0108	0.0101	0.013
Primer Trimestre		0.3660***	0.2692***	0.3953***	0.5209***	0.4414***
Desv Stad		0.0469	0.0478	0.0424	0.0398	0.0483

¹⁹ Las estimaciones se realizaron por mínimos cuadrados robusto

Segundo Trimestre		0.5234***	0.5466***	0.6561***	0.7416***	0.3671***
Desv Stad		0.0498	0.05	0.0415	0.0376	0.0534
Tercer Trimestre		0.6014***	0.6748***	0.4421***	0.4747***	0.4979***
Desv Stad		0.0603	0.0587	0.0543	0.044	0.0697
Fin de Semana		0.9153***	0.8558***	0.4792***	0.6719***	1.0725***
Desv Stad		0.0435	0.0435	0.0346	0.0348	0.045
Constante		4.7650*	4.1028	4.0745*	2.2685	4.3049
Desv Stad		2.6509	2.7592	2.2845	2.177	2.8118
R² Ajustado		0.5749	0.5391	0.4677	0.5974	0.6074
Durbin's alternative test for autocorrelation	Prob > chi²	0.345	0.4056	0.2798	0.3459	0.5832

Nivel de significancia, 1% ***, 5%***, 10%*

Tabla 4. Función Dosis Respuesta Estimada para Bucaramanga 2009 -junio 2012²⁰

Variable	Unidades	log Total Enfermedad Respiratoria	log Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	log Gripe y Neumonía	log Enfermedades respiratorias inferiores agudas	log Enfermedades respiratorias inferiores crónicas
Pm10	µg/m³	.0053***	.0050**	-0.0005	.0052**	.0036**
Desv Stad		0.00195743	0.00200432	0.00270483	0.00219134	0.00182785
No2	ppb	.0208***	.0188***	0.0064	.0110**	.0120**
Desv Stad		0.00480469	0.00499166	0.00547883	0.00519651	0.00468927
CO	ppm	.2272***	.1867***	.34322***	.1723***	.2815***
Desv Stad		0.0423071	0.04363656	0.05931575	0.03914948	0.03504498
Precipitación	mm	0.0742	0.0827	0.011	0.01	0.0615
Desv Stad		0.07552797	0.07496195	0.09452479	0.0866234	0.08874443
Precipitación²		-0.0229	-0.0317	0.0134	-0.01	-0.0095
Desv Stad		0.03155593	0.02925698	0.03704069	0.0348354	0.03995191
Temperatura Promedio	°C	1.995***	2.0119***	1.5227***	2.1034***	1.7420***
Desv Stad		0.38462712	0.39877131	0.43272294	0.43255305	0.40034503
Temperatura Promedio²		-.0442***	-.04471***	-.0330***	-.0464***	-.0382***
Desv Stad		0.00854632	0.00887585	0.00961119	0.00959897	0.00887202
Primer Trimestre		.5444***	.5377***	.6336***	.5935***	.5468***

²⁰ Las estimaciones se realizaron por mínimos cuadrados robusto

Desv Stad		0.05134915	0.05318598	0.06625507	0.0581175	0.05333845
Segundo Trimestre		.9321***	.9934***	.9126***	1.0041***	.8050***
Desv Stad		0.05102549	0.05323949	0.06630637	0.05453574	0.05307925
Tercer Trimestre		.81615133***	.94839309***	.80350737***	.8761987***	.6578***
Desv Stad		0.04985329	0.05259744	0.06412736	0.05519617	0.05409731
Fin de Semana		.8054***	.7866***	.4785***	.6175***	.6983***
Desv Stad		0.03408796	0.03554669	0.04088099	0.03585586	0.03200174
Constante		-18.915***	-19.7191***	-16.7185***	-22.1347***	-17.7600***
Desv Stad		4.3388973	4.4915008	4.8701477	4.8731832	4.5200184
R² Ajustado		0.61271367	0.59805697	0.38409528	0.51985722	0.54995003
Durbin's alternative test for autocorrelation	Prob > chi²	0.4675	0.3057	0.1563	0.6043	0.4578

Nivel de significancia, 1% ***, 5%***, 10%*

4.2 Relación PM10 Biodiesel.

De acuerdo con la sección 3.5 en la tabla 5 se presentan los resultados de la ecuación (2). El coeficiente de mezcla de biodiesel es significativo y negativo para la ciudad de Bucaramanga por un aumento del 1% (0.01) se reducen las emisiones promedio de PM10 en 0.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para el caso de Bogotá el coeficiente de mezcla de biodiesel no es significativo. Es necesario tener en cuenta que entre las dos ciudades existió una diferencia en la calidad del diesel durante el periodo de estudio, mientras Bucaramanga consumió diesel de menos de 2500 ppm de azufre, Bogotá consumió diesel de menos de 500 ppm de azufre. Según Rojas (2004) el contenido de azufre en el combustible diesel es un precursor de la formación de material particulado, en este sentido se esperaría que el efecto de la mezcla biodiesel con diesel para la reducción de material particulado PM10 disminuya con la reducción de azufre en el combustible diesel, así mismo puede existir diferencias en la participación de las fuentes fijas sobre el total de las emisiones que reducen la el efecto de la política de mezcla obligatoria.

El coeficiente de la precipitación es significativo y negativo para las dos ciudades, este resultado concuerda con el efecto de limpieza que tiene la lluvia sobre la atmosfera reduciendo el nivel de contaminantes del aire descrito por Lozano (2004). Así mismo, el rezago de la variable PM10 es significativa y positiva para las dos ciudades este resultado refleja la existencia de un efecto acumulativo de la contaminación.

Tabla 5 Estimación Relación Mezcla de Biodiesel PM10 Para Las Ciudades del Estudio 2009-2012 junio²¹

Variable	Unidades	PM10 Bucaramanga $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10 Bogotá $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Mezcla Biodiesel	%	-61.45***	-35.433
Desv est		21.4537	21.137269
log precipitación	mm	-1.0415672***	-1.1596***
Desv est		0.21411682	0.31374862
log rezago PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	26.9035***	31.10***
Desv est		1.6561046	1.7663778
Dummy fin de semana		5.1477***	14.657***
Desv est		0.77354005	1.2482881
_cons		-58.8377***	-78.405986***
Desv est		6.8024315	7.2783955
R2 ajustado		0.4880	0.3913
Durbin's alternative test for autocorrelation	Prob > χ^2	0.1016	0.255

4.3 Escenario Sin Biodiesel y Recomendación Organización Mundial de la Salud

De acuerdo con lo presentado en la secciones anteriores se estimó el número de casos evitados por la aplicación de la política de mezcla obligatoria de biodiesel con diesel para la ciudad de Bucaramanga y el escenario de emisiones de PM10 recomendado por la Organización Mundial de la Salud para Bucaramanga y Bogotá. (ver anexos)

Como principal resultado se encontró que la aplicación de la política de mezcla obligatoria del biodiesel evitó cerca de 11.471 casos de enfermedad respiratoria, 5.208 casos infecciones agudas de las vías respiratorias superiores, 1.202 enfermedades respiratorias inferiores agudas y 1.248

²¹ Las estimaciones se realizaron por mínimos cuadrados robusto

Enfermedades respiratorias inferiores crónicas, en la ciudad de Bucaramanga durante el periodo 2009- 2012 junio²².

Así mismo, fue simulado el escenario de emisión de PM10 recomendado por la Organización Mundial de Salud PM10 de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual. Para cumplir con estos niveles de emisión, las ciudades debieron reducir sus emisiones de PM10 en el caso de Bogotá en un 67% y en el caso de Bucaramanga en un 56%. Una reducción de las emisiones contaminantes en los porcentajes anteriormente mencionados implicaría una reducción de 45.043 casos de enfermedad respiratoria, 20.225 casos infecciones agudas de las vías respiratorias superiores, 4701 enfermedades respiratorias inferiores agudas y 4859 Enfermedades respiratorias inferiores crónicas, en la ciudad de Bucaramanga. En el caso de Bogotá, 473.897 casos de enfermedad respiratoria, 225.859 casos infecciones agudas de las vías respiratorias superiores, 30.225 enfermedades respiratorias inferiores agudas y 81.648 Enfermedades respiratorias inferiores crónicas, para el periodo 2009-2012 junio.

4.4 Aproximación a la Valoración por Mejoras en la Calidad del Aire

De acuerdo con la sección (3.1) la valoración económica de los efectos en salud por la mejora en las condiciones de calidad del aire, es difícil de estimar debido a la no existencia de un mercado que le asigne un precio. Así mismo, vimos que pese a la no existencia de este mercado, la teoría económica ha desarrollado varios enfoques para calcular el impacto económico de una mejora en las condiciones ambientales sobre la morbilidad (disponibilidad a pagar y Costo de la enfermedad) y la mortalidad (valor estadístico de una vida). Sin embargo este trabajo tiene la limitación de estudiar la relación entre la enfermedad respiratoria y la contaminación a nivel de agregado, es decir no distingue consulta externa, urgencia u hospitalización, solo el número total de pacientes por día que fueron diagnosticados con la enfermedad. Teniendo en cuenta esa limitación y que el costo por atención difiere significativamente, entre estas categoría de atención médica, no se realiza una valoración económica de la enfermedad, este tipo de análisis se dejará para estudios posteriores.

²² La estimación del escenarios sin biocombustibles para Bucaramanga se basó en simular un porcentaje de mezcla obligatoria del 0% y utilizando la siguiente relación, una reducción del 1% (0.01) de la mezcla de biodiesel aumenta las emisiones promedio de PM10 en 0.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente se utilizó la función dosis respuesta para encontrar el número de casos por cada diagnóstico. Los casos evitados por la política son la diferencia entre el escenario sin biocombustibles y el escenario con biocombustibles ver anexos.

Con respecto al enfoque del costo por enfermedad y a modo de referencia, Castillo (2010) estimó los costos por admisión hospitalaria de la enfermedad respiratoria por paciente para la ciudad de Bogotá en el año 2009 en \$ 1.289.398²³. Este costo incluye el valor de la habitación y de la terapia respiratoria para un promedio de 5 días de estancia. El valor de atención en urgencia fue estimado en \$ 308.159, este valor incluye la consulta en urgencia, sala de observación, sesión de terapia respiratoria y consulta ambulatoria especializada. Los costos por pérdida de productividad estimados fueron de \$ 115.375 considerando una pérdida de al menos 15 días de trabajo valorados al 50% de un salario mínimo legal vigente diario. Los costos que utilizó castillo se basaron en el decreto 2423 de diciembre del 1996 actualizado al año 2009 o manual tarifario SOAT.

Lozano (2004) utilizando la metodología de transferencia de beneficios y citando los trabajos de Cropper, Krupnic (1990) y Lvovsky, Hughes, Maddison, Ostro, Pearce (2000) en Estados Unidos, estima que valor de disponibilidad a pagar por evitar una admisión hospitalaria en Colombia, se encuentra entre los \$US 410 y los \$US 627 diarios por persona, para el año 1995. Actualizando ese valor para el año 2009 la disponibilidad a pagar se encontraría entre US\$ 1.338 y US\$ 2.050.

Finalmente con respecto a la valoración estadística de una vida asociada a las enfermedades respiratorias, Hammitt, Ibarrarán (2002) encontraron que para la ciudad de México este valor se encontraba entre los US\$ 150.000 y los US\$ 500.000 por persona. Al realizar la transferencia de beneficios solo para los valores, en Colombia este valor estaría entre los US\$ 76,413 US\$ 254,709, para el año 2009.

²³ Precios corrientes del año 2009

5. Conclusiones

La contaminación atmosférica a mostrado ser un factor importante para determinar el nivel de enfermedades respiratorias en la ciudad de Bogotá y Bucaramanga. Esta relación ha sido continuamente estimada en otras ciudades del mundo tanto en países desarrollados como para países en desarrollo, mostrando siempre una relación positiva y significativa. Los resultados de este estudio no difieren de ese tipo de investigaciones.

Con respecto a la política de mezcla para el biodiesel se encontró una reducción de PM10 de $0.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por cada incremento en la mezcla de biodiesel con diesel del 1% en la ciudad de Bucaramanga, el resultado para la ciudad de Bogotá no fue significativo. Esta diferencia se puede explicar por un lado, por la diferencia del contenido de azufre en el diesel fósil en ambas ciudades²⁴. Por otro, el rol de las fuentes fijas puede reducir la efectividad de la reducción asociada al biodiesel en las emisiones totales.

Los resultados presentados en este estudio en materia de salud son resultados parciales, pues solo se estimó el efecto del biodiesel sobre las emisiones de PM10, para futuros estudios también se debe tener en cuenta la reducción sobre CO, las emisiones de hidrocarburos libres, óxido de azufre, PM 2,5 así como el posible aumento de los óxidos de nitrógeno. A futuro se esperaría que el efecto de la reducción de las emisiones de PM10 del biodiesel disminuya a medida que se reduzca el nivel de azufre en el combustible diesel.

Por último vale la pena señalar que la relación entre la mezcla de biodiesel y diesel podría no ser lineal, de acuerdo con Amado et al. (2008) la mezcla que reporta mayor reducción de PM10 es de alrededor del 30%, mezclas superiores mostraron un efecto reductor menor.

²⁴ Menos de 2500 ppm de azufre en Bucaramanga y menos de 500 ppm de azufre.

Referencias

Agarwal AK (2001). Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engine. *Journal of Engineering Gas Turbines Power* 2001;123:440–7.

Agudelo, Jhon . Benjumea, Pedro . Pérez, Juan. (2004). “Pruebas cortas en ruta en un vehículo tipo microbús con biodiesel de aceite de palma colombiano”. *Scientia et Technica, Universidad Tecnológica de Pereira*, volumen 1, páginas 162 168.

Amado, Maria. Garcia, Jesus. Carranza, Ronald. Cuellar, Monica. Torres, Jaime. Acero Julia. Sarmiento, José A. Sarmientos, José L. Cubaya, Daniel. Rincon, Oscar. (2008). “Pruebas de larga duración con biodiesel de palma en una flota de servicio público en Bogotá”. *Revista Palmas Volumen 29* páginas 11 20.

Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia Asocaña. (2014) “Balance Azucarero colombiano”. Consultado en <http://www.asocana.org/modules/documentos/5528.aspx>

Bobak, M. Leon, D. (1992), “Air pollution and infant mortality in the Czech Republic, 1986-88”. *The Lancet*, Volume 340, Issue 8826, páginas1010–1014.

Calderon, Laura. Romero, Helena. (2010) “Evaluación de la Política de Biocombustibles en Colombia”. *Tendencia Económica, informe mensual Fedesarrollo*. Volumen 126, paginas 8 16.

Calixto, Diana. Díaz, Alexandra (1997). “Valoración económica del impacto ambiental del aire sobre la salud de habitantes menores de 5 años en Bogotá”. Tesis no publicada. Universidad Javeriana. Bogotá Colombia.

Carranza, Quintero, Collins, Vildósola y Reyes (2003) Análisis de la relación del PM10 con las enfermedades respiratorias en la población urbana de Mexicali, Baja California:Un estudio de series de tiempo. *G Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, volumen XXIV, número 2, Septiembre.

Castillo, J. (2010) “Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia.” Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana

y Regional, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Consultado en

https://biblioteca.uniandes.edu.co/visor_de_tesis/web/?SessionID=L1Rlc2lzXzIyMDEwX3NlZ3VuZG9fc2VtZXN0cmUvNDMyLnBkZg%3D%3D

Cifuentes, Luis. Krupnick, Alan. O'Ryan, Raúl. Toman, Michael. (2005) “Urban Air Quality and Human Health in Latin America and the Caribbean”. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington.

Corral, Serafín. (2012) Una metodología integrada de exploración y comprensión de los procesos de elaboración de políticas públicas. Tesis de grado no publicada. Universidad de la Laguna, Canarias, España.

Departamento Nacional de Planeación DNP, (2005). Lineamientos Para La Formulación De La Política De Prevención y Control De La Contaminación Del Aire. Documento Conpes 3344.

Dockery, Douglas. Pope, Arden. Xu, Xiping. Spengler, John D. Ware, James H., Fay Martha E. Ferris, Benjamin G. Speizer, Jr. Speizer, Frank E. (1993). “An association between air pollution and mortality in six U.S. cities”. *New England Journal of Medicine*, Volumen 329, páginas 1753–1759.

Fazal, MA. Haseed. Masjuki. (2011) “Biodiesel feasibility study: An evaluation of material compatibility; performance; emission and engine durability.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volumen 15, páginas 1314 1324.

Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia Fedebiocombustibles (2014) “Cifras Informativas del Sector de Biocombustibles Biodiesel de Palma” Consultado en [http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL\(54\).pdf](http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL(54).pdf)

Foong Kheong Yew et al (2010) Estimation Of GHg Emissions From Peat Used For Agriculture With Special Reference To Oil Palm *Journal Of Oil Palm & The Environment*.

Freeman Myrick, (2003). *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*. Resources for the Future, Washington.

Giraldo et al. (2009) Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes. Universidad de los Andes.

Ideam. (2005) “Evaluación Económica de los Beneficios y Costos de la Política y las Normas de Calidad de Aire en Colombia” consultado en http://www.minambiente.gov.co/documentos/1745_Anexo_2_evaluacion_economica.pdf

Kakali (2005) An empirical investigation of air pollution from fossil fuel combustion and its impact on health in India during 1973–1974 to 1996–1997. *Ecological Economics* 55 (2005) 235– 250.

Kim, Yoon. (1985) “Air pollution, climate, socioeconomic status and total mortality in the United States”. *Science of The Total Environment* Volume 42, Issue 3, páginas 245–256.

Larsen, Bjorn. (2004). “Cost of Environmental Damage: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment”. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Consultados en <http://www.bvsde.paho.org/texcom/cd050996/larsen.pdf>

Lebowitz, Michael D. (1973) “A comparative analysis of the stimulus-response relationship between mortality and air pollution-weather” *Environmental Research*, Volume 6, Issue 1, Páginas 106–118.

Lebowitz, Michael D. Toyama, Toshio, McCarroll James (1973). “The relationship between air pollution and weather as stimuli and daily mortality as responses in Tokyo, Japan, with comparisons with other cities”. *Environmental Research* Volume 6, Issue 3, Pages 327–333

Lozano, Nancy. (1998). “A Concentration–Response Approach for air pollution in Bogotá” Universidad de Maryland. College Park, Estados Unidos.

Lozano Nancy (2004) “A concentration response approach for air pollution in Bogota” *Desarrollo y Sociedad*. Volume 54, Páginas 133-177.

Lvovsky, K. Hughes, G. Maddison, D. Ostro, D. Pearce, D. (2000). “Environmental Costs of Fossil Fuels: A Rapid Assessment Method with Application to Six Cities”. Environment Department Papers, World Bank.

Martínez Ramos, Mancel E. Pacheco, Oscar E. (2013). “Utilidad de los Registros Individuales de Prestación de Servicios (RIPS) para la vigilancia en salud pública, Colombia, 2012.” Informe Quincenal Epidemiología Nacional, Volumen 18 ,número 17, septiembre 15.

Montealegre, Libardo. (1993). “Afecciones respiratorias y contaminación del aire en Santafé de Bogotá, una aplicación de la regresión Lave-Seskin”. Tesis no publicada. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Munack, A. Schroeder, O. Krahl, J. Buenger J. (2001) Comparison of Relevant Exhaust Gas Emissions from Biodiesel and Fossil Diesel Fuel. International Commission of Agricultural Engineering CIGR E-Journal, Volume 3

Nabi, Nurun. Rahman, Mustafizur. Akhter, Shamim. (2009). “Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions”. Applied Thermal Energy volume 29 páginas 2265 2270.

Organización Mundial de la Salud. (2005) “Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.” Consultado en http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/es/

Ostro, Bart. (1998) “Cómo estimar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud” Estudios Públicos, volumen 69 páginas 106 113.

Pope, Arden III. Burnett, Richart. Thun, Michel. Calle, Eugenia. Krewski, Daniel. Ito, Kazuhiko. Thurston, George. (2002) “Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution.” Journal of American Medical Association, volumen 287, páginas 1132-1141

Rodríguez, Miguel. (1999), “Valoración económica de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los habitantes de Santafé de Bogotá”. Tesis no publicada, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Rojas, Nestor. (2004) Revision de las emisiones de material particulado por la combustion de diesel y biodiesel. Revista de Ingenieria Universidad de los Andes. Pag 58-68

Sussman Frances G. (1984), A note on Willingness to Pay Approach to Valuation of Longevity. Journal of Environmental Economics and Management Vol 11 No 1, PP 84-89

Thurston, G. Kazuhiko, Ito (1999). “The Epidemiologic Approach to Investigating Outdoor Air Pollution”. Air Pollution and Health. Editor Holgate, Sthephen. Academic Press, London.

United States Environmental Protection Agency EPA. (2002) “Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions” en <http://www.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/p02001.pdf>

Urdaneta, Soerni (1999), “Mortalidad por Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) y Contaminacion del Aire: Una Estimación de Funciones Dosis Respuestas para Santafé de Bogotá”. Tesis no publicada. Universidad de los Andes, Bogota Colombia.

Wirawan, Soni. Tambunan, Armansyah. Djamin, Martin. Nabetani, Hiroshi. (2008) “The Effect of Palm Biodiesel Fuel on the Performance and Emission of the Automotive Diesel Engine”. Agricultural Engineering International: the Cigr Ejournal. Volume 10, consultado en <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/viewFile/1201/1059>

Wong, Chit- Minng . Vichit-Vadakan, Kan. Qian. (2010) “Public health and air pollution in Asia (PAPA): a combined analysis of four studies of air pollution and mortality.” Página 337-429 consultado en <http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=595>

Wong, Chit- Minng. Atkinson, Richart. Anderson, Ross. Johnson, Anthony. Ma, Stefan. Chau, Patsay. Lam, Tai-Hing. (2002). “A tale of two cities: effects of air pollution on hospital admissions in Hong Kong and London compared”. Environmental Health Perspectives, volume 110 páginas 67–77.

Anexo 1. Escenario Sin Biodiesel y Recomendación Organización Mundial de la Salud Bogota y Bucaramanga

Tabla 6. Escenario Sin Biodiesel y OMS Bucaramanga Total Enfermedad Respiratoria

Año	Total Enfermedad Respiratoria	Sin Biodiesel	Casos evitados Biodiesel C10	Escenario OMS C10 Bucaramanga	Casos evitados Escenario OMS C10
2009	145808	148875	3067	129519	16289
2010	92252	94865	2613	83148	9104
2011	107851	111302.2	3451	96333	11518
2012-junio	71427	73712.7	2286	63295	8132
Acumulado	417338	428755	11417	372295	45043

Tabla 7. Escenario Sin Biodiesel y OMS Bucaramanga Infecciones Agudas de las Vías Respiratorias Superiores

Año	Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	Sin Biodiesel	Casos evitados Biodiesel	Escenario OMS Bucaramanga	Casos evitados Escenario OMS
2009	71561	73002	1441	64048	7513
2010	44927	46152	1225	40815	4112
2011	51077	52635	1558	45944	5133
2012-junio	32265	33249	984	28798	3467
Acumulado	199830	205038	5208	179605	20225

Tabla 8. Escenario Sin Biodiesel y OMS Bucaramanga Enfermedades Respiratorias Inferiores Agudas

Año	Enfermedades respiratorias inferiores agudas	Sin Biodiesel	Casos evitados Biodiesel	Escenario OMS Bucaramanga	Casos evitados Escenario OMS
2009	15970	16303	333	14222	1748
2010	9865	10142	277	8909	956
2011	11543	11909	366	10340	1203
2012-junio	7133	7359	226	6339	794

Acumulado	44511	45713	1202	39810	4701
------------------	-------	-------	------	-------	------

Tabla 9. Escenario Sin Biodiesel y OMS Bucaramanga Enfermedades Respiratorias Inferiores Crónicas.

Año	Enfermedades respiratorias inferiores crónicas	Sin Biodiesel	Casos evitados Biodiesel	Escenario OMS Bucaramanga	Casos evitados Escenario OMS
2009	21644	21956	312	20002	1642
2010	15059	15347	288	14030	1029
2011	17066	17441	375	15838	1228
2012-junio	12428	12701	273	11470	958
Acumulado	66197	67445	1248	61338	4859

Tabla 10. Escenario OMS Bogotá Total Enfermedad Respiratoria

Año	Total Enfermedad Respiratoria	Escenario OMS Bucaramanga	Casos evitados Escenario OMS
2009	1383775	1241020	142755
2010	1208794	1079458	129336
2011	1323756	1189104	134652
2012-junio	669205	602050	67155
Acumulado	4585530	4111633	473897

Tabla 11. Escenario OMS Bogotá Infecciones Agudas de las Vías Respiratorias Superiores

Año	Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	Escenario OMS Bucaramanga	Casos evitados Escenario OMS
2009	759620	689820	69800
2010	659000	595929	63071
2011	689802	626911	62891
2012-junio	335747	305649	30098
Acumulado	2444169	2218310	225859

Tabla 12. Escenario OMS Bogotá Enfermedades Respiratorias Inferiores Agudas

Año	Enfermedades respiratorias inferiores agudas	Escenario OMS Bucaramanga	Casos evitados Escenario OMS
2009	140204	131874	8330
2010	132768	124621	8147
2011	151140	142311	8829
2012-junio	84982	80063	4919
Acumulado	509094	478869	30225

Tabla 13. Escenario OMS Bogotá Enfermedades Respiratorias Inferiores Crónicas

Año	Enfermedades respiratorias inferiores crónicas	Escenario OMS Bucaramanga	Casos evitados Escenario OMS
2009	190743	166581	24162
2010	166438	144831	21607
2011	195045	171131	23914
2012-junio	98031	86067	11964
Acumulado	650257	568609	81648