

**CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO POR COMBUSTIÓN DE LEÑA
EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE SANTA SOFÍA, BOYACÁ**

DAISSY LIZETH ZAMBRANO BOHÓRQUEZ

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Planeación Ambiental y
Manejo Integral de los Recursos Naturales**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO
INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ D.C
2017**

CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO POR COMBUSTIÓN DE LEÑA EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE SANTA SOFÍA, BOYACÁ

CONCENTRATION OF PARTICULATE MATTER BY WOOD COMBUSTION IN THE RURAL AREA OF THE MUNICIPALITY OF SANTA SOFIA, BOYACÁ

Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez
Ingeniera Ambiental y Sanitaria
Bogotá D.C.
dlzabo914@outlook.com

RESUMEN

La contaminación del aire interior ha sido un tema que ha cobrado importancia en los últimos años, debido a que las personas permanecen mayor tiempo en espacios interiores, y a que la contaminación del aire tiene influencia directa en la salud. Ejemplo de ello es la combustión de leña para procesos de cocción en áreas rurales, la cual ha causado la aparición de enfermedades respiratorias y oculares especialmente en mujeres y niños, por la exposición prolongada a concentraciones altas de material particulado (PM). Por ello, en este trabajo se estimaron las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ debido a la combustión de leña en tres viviendas de la vereda Agudelo del municipio de Santa Sofía (Boyacá) mediante el uso del modelo PM.exe. Inicialmente se estimaron las emisiones de las estufas de leña según el consumo de combustible y las horas de uso, y teniendo en cuenta la velocidad de deposición del PM, el flujo de aire y el volumen de las cocinas, se estimaron las concentraciones por vivienda. Los valores obtenidos más altos fueron $8752 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} y $5233.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$, superando hasta en 171 y 200 veces respectivamente los niveles guía definidos por la Organización Mundial de la Salud para calidad del aire interior. De acuerdo al reporte de enfermedades respiratorias ocurridas en el municipio, predominan los casos en población de la primera infancia y población de la tercera edad.

Palabras clave: Aire interior, Boyacá, leña, material particulado

ABSTRACT

Indoor air pollution has become an important issue in recent years, because now people spend more time indoors, and air pollution has a direct influence on health. One example of this is the process of burning firewood for cooking in rural areas, which has caused respiratory and ocular diseases, especially in women and children, due to prolonged exposure to high particulate matter (PM) concentrations. Therefore, in this work, the PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations were estimated due to the combustion of

firewood in three houses in the village of Agudelo, in the municipality of Santa Sofía (Boyacá) using the PM.exe model. Initially, the emissions of wood stoves were estimated according to fuel consumption and hours of use, and considering the PM deposition velocity, air flow and the volume of the kitchens, the concentrations per house were estimated. The highest values obtained were 8752 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM_{10} and 5233.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of $\text{PM}_{2.5}$, exceeding by 171 and 200 times respectively the guide levels defined by the World Health Organization for indoor air quality. According to the report of respiratory diseases which happened in the municipality, the majority of cases were presented in the early childhood population and the elderly population.

Key words: Indoor Air, Boyacá, wood, particulate matter

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire se puede dar en dos niveles; la contaminación del aire exterior, generada por fuentes fijas y móviles; y la contaminación del aire interior, que ocurre en espacios cerrados (edificios y viviendas), en donde se pueden presentar concentraciones de contaminantes nocivas para la salud de las personas [1]. Una de las formas de contaminación del aire interior es que se produce en el proceso de combustión de leña en las estufas, la cual genera contaminantes como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), material particulado (PM) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Dentro de estos contaminantes, el material particulado es uno de los que genera mayores efectos en la salud, en especial el $\text{PM}_{2.5}$ (material particulado de diámetro menor a dos micras), pues son partículas muy pequeñas que llegan por el tracto respiratorio hasta los alvéolos, siendo causantes de enfermedades respiratorias como el EPOC y la bronquitis. [2 - 3]. Estos efectos son más evidentes en mujeres y niños, puesto que son los que se encuentran expuestos durante mayor tiempo a las emisiones de las estufas, al permanecer gran parte del día en las cocinas [4]. Se estima que para el año 2009 en Colombia ocurrieron 1000 muertes y se presentaron 1.000.000 de casos de enfermedades asociadas al uso de combustibles sólidos, representando un costo anual por impactos en la salud de 1129 millones de pesos, equivalente a 0.22% del PIB para el 2009 [5].

El uso de fuentes abiertas de combustión aún persiste en varias zonas rurales del mundo, por ende, unos 3000 millones de personas usan combustibles sólidos para cocción y calefacción tales como carbón, madera, residuos agrícolas o excrementos de animales [6], especialmente en lugares donde se dificulta el acceso a los servicios públicos y, que aún permanece debido a la tradición en las prácticas de cocción. Sin embargo, en varios casos la combustión que ocurre en las estufas no es eficiente, por lo que se requiere más ingreso de leña y se generan más subproductos nocivos para la salud y el medio ambiente, además de que el bajo costo y la facilidad de acceso al recurso no han permitido que otro combustible sea igual de rentable [7]. En consecuencia, los niveles de PM se incrementan y pueden sobrepasar los niveles permitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), generando afectaciones negativas en la salud. [8]

Según la Encuesta Nacional de Calidad de Vida del 2016 realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) [9], en Colombia 1'229.000 hogares cocinan con leña como combustible, de los cuales el 92% se ubican en el área rural del país. Además, según un estudio realizado por Mejía [10] en el área rural de la localidad de Usme (Bogotá), se encontró que el 81% de las personas usa leña como combustible y se consumen en promedio 156.6 kg de leña al mes. Adicionalmente, se logró determinar que las razones principales del uso de la leña son el ahorro en el gasto por combustibles, el sabor de los alimentos y por tradición, hallando familias que han usado la leña por más de cincuenta años para cocción. Esto indica que dadas las condiciones de vida del área rural, en varios sitios de país persiste el uso de la leña como un medio usual para el proceso de cocción, aunque no siempre se conocen los efectos en la salud por el tiempo de exposición al humo generado por la combustión.

Las estufas de leñas tradicionales generalmente tienen bajas eficiencias de combustión, variando entre 5 y 15%, lo cual aumenta la demanda de leña y la emisión de productos contaminantes al aire [11]. Por ello se han desarrollado iniciativas de construcción de estufas eficientes en áreas rurales de varios países como India [12], China [13] y Kenya [14], realizando modificaciones en la estructura de las estufas y del combustible para reducir la emisión de contaminantes que afectan a la salud de las personas. En Colombia también se han desarrollado algunas iniciativas, instalando 28.238 estufas principalmente en Antioquia y el oriente del país, mediante proyectos liderados por diversas instituciones públicas privadas y ONG [10].

Una de las herramientas para estimar la concentración de contaminantes son los modelos matemáticos, los cuales permiten obtener los valores a partir de unas condiciones base y el ingreso de algunas variables del caso de estudio. Algunos modelos además estiman el riesgo de exposición e identificar el impacto de las fuentes, logrando ser útiles para el diseño de experimentos y la planeación de los parámetros de medición en un muestreo en campo [15]. En el caso de la estimación de concentraciones de contaminantes en el aire interior, modelos como IAQx (desarrollado por la United States Environmental Protection Agency) son útiles, ya que permite determinar la influencia de fuentes internas y externas en la concentración en el tiempo dentro de espacios cerrados, como la generación de material particulado generado por la actividad de una planta de concreto, que se filtra en el interior de las viviendas [16]. Aunque los modelos tienen bastantes facilidades, es útil contrastar los resultados con monitoreos en campo para evidenciar los cambios de concentraciones en el tiempo y observar la incidencia de las condiciones locales en los resultados, pero estas prácticas requieren el uso de equipos especializados y tiempos largos de recolección de datos.

Además del trabajo realizado por Mejía en el área rural de Bogotá [10], no se ha realizado trabajos en el país que permitan establecer la relación entre la contaminación por material particulado generado en procesos de combustión de leña, por lo cual se hace necesario profundizar en este tema a partir de la estimación de concentraciones de material particulado por medición o por uso de modelos matemáticos, para evaluar

si las altas concentraciones generadas en el proceso de combustión de leña, tienen una incidencia negativa en la salud de las personas en áreas rurales que aun usan este combustible para la cocción de alimentos.

Mediante esta investigación se busca estimar las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ generadas por la combustión de leña en cocinas presentes en las viviendas ubicadas en la vereda Agudelo, municipio de Santa Sofía (Boyacá), mediante el uso del modelo PM.exe, con el fin de determinar las posibles afectaciones a la salud de la población residente en la vereda, teniendo en cuenta los lineamientos establecidos para contaminación del aire interior por parte de la OMS.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se desarrolló un estudio de caso con enfoque cuantitativo, en el cual se realizaron visitas de observación y recolección de información necesaria para la estimación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$. Dichas visitas se llevaron a cabo en la vereda Agudelo en el municipio de Santa Sofía (Boyacá) los días 22 y 23 de Marzo de 2017. Como unidad de análisis se consideró que las viviendas contarán con estufa de leña, y que las personas que habitan en las viviendas usaran las estufas para la cocción de alimentos. Con ello, se incluyeron en el estudio tres viviendas rurales, una con una habitante, la segunda con cinco habitantes y la tercera con tres habitantes, para un total de nueve personas. Dentro del grupo de personas se encuentran tres del grupo de la tercera edad, y dos niños menores de 10 años.

Cada visita inició con un cuestionario sobre las condiciones de las personas que habitan en la vivienda, el tiempo de permanencia en las cocinas y de duración de los procesos de cocción. Luego se indagó sobre las horas de uso de la estufa, tipo de leña usada, lugares de recolección de la leña, y los consumos aproximados de leña en el día. Posteriormente se procedió a la medición y registro de las dimensiones de las cocinas (altura, ancho y largo) usando un decámetro, y finalmente se tomó un registro fotográfico de las estufas y el exterior de las cocinas.

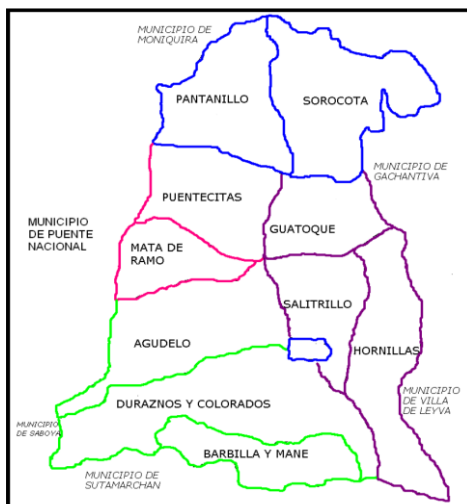


Figura 1. División política del municipio
Fuente: Administración Municipal Santa Sofía, 2012 [17]

El lugar de estudio fue la vereda Agudelo, una de las 10 veredas del municipio de Santa Sofía, el cual se ubica en el norte del departamento de Boyacá. En la Figura 1 se observa la localización de la vereda en el municipio.

El municipio de Santa Sofía posee una extensión de 78 km^2 , y el 77% del territorio es rural. Se encuentra en los pisos térmicos frío y medio húmedo montano bajo, y cuenta con una topografía variable, con altitudes que van de los 2300 a 3000 m.s.n.m. La temperatura varía en función de la altitud, presentando valores de 16°C en el área urbana y de 8 a 10°C en las áreas más altas. La

temperatura mínima varía entre 8 y 10°C, y la temperatura máxima en la parte baja llega hasta 18.1°C [17].

Después de la realización de las visitas, se organizaron los datos recolectados, los cuales fueron usados como información de entrada del modelo PM.exe para la estimación de las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} para cada cocina. El modelo PM.exe es uno de los programas del paquete de simulación IAQx, usado para la estimación de la concentración de contaminantes presentes en el aire interior y la exposición personal. El modelo fue desarrollado originalmente por Nazaroff y Cass en 1989, y considera factores como infiltración de material particulado del exterior, flujo de aire entre zonas, fuentes de emisión internas, deposición y filtración [18].

Como etapa previa a la estimación de las concentraciones, se requiere conocer la emisión de material particulado generada por cada estufa. Para ello se realizó una estimación de la emisión mediante factores de emisión; para PM₁₀ se consideraron los factores del capítulo 1.1 del documento AP42 de la USEPA [19], para estufas residenciales de combustión de madera; en el caso del PM_{2.5}, se retomaron los factores establecidos en el estudio de Christian, et al. [20], en el cual se realizó la estimación de las emisiones por combustión en procesos de cocción y quema de residuos en hogares rurales de México. Con estos factores de emisión ($\mu\text{g PM} / \text{kg madera}$) y los consumos de combustible en cada hogar desagregados por hora ($\text{kg madera} / \text{hora}$) se realizó la estimación de las emisiones en términos de microgramos de contaminante por hora.

Tras la estimación de las emisiones, se realizó la ejecución del modelo PM.exe. Para ello se requirió la definición de algunos parámetros previos al cálculo de la concentración, relacionados con el comportamiento del material particulado en ambientes interiores (Tabla 1):

- Flujo de intercambio de aire: De acuerdo a las entradas de aire varía la dispersión de la contaminación generada por la fuente, sea por ventilación natural o mecánico [21]. En este caso se definió el valor de acuerdo al estudio de Parajuli, et al [22], en el cual se evaluó la concentración de PM y monóxido de carbono y la tasa de ventilación mediante un modelo de balance de masa.
- Velocidad de deposición de PM. Una vez emitidas las partículas, permanecen cierto tiempo en el aire, lo cual depende principalmente del tamaño y de procesos físicos como difusión o gravitación [23]. Para este trabajo se consideraron las velocidades definidas para PM₁₀ y PM_{2.5} en un estudio realizado por Thatcher y Layton [24] en el interior de una vivienda sobre fenómenos físicos de las partículas, tales como la resuspensión, deposición y penetración en las superficies de la edificación.
- Proporción concentración/ emisión: este no es un parámetro directamente requerido por el modelo, sin embargo fue usado en la determinación de la emisión de PM que permanece en el interior de las cocinas, teniendo en cuenta que cada una cuenta con una chimenea para la evacuación de las emisiones. Debido a que la estructura de las estufas no garantiza una combustión completa ni una evacuación del total de las emisiones generadas, se calcularon valores que indican

la concentración de PM producida por una emisión determinada, de acuerdo a los valores obtenidos en el estudio realizado por Carvalho, et al [25] en el cual se realizó una revisión de las emisiones y concentraciones de PM generadas por diferentes tipos de estufas en diferentes países del mundo. Teniendo en cuenta estos valores y la similitud entre la funcionalidad de las estufas analizadas, se multiplicaron las emisiones calculadas anteriormente por el valor de la proporción; los resultados obtenidos fueron los que se ingresaron al modelo para la estimación de la concentración.

Tabla 1. Parámetros definidos para la estimación de la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5}

Parámetro	Valor	Fuente
Flujo de intercambio de aire	2.67 h ⁻¹	Parajuli et al, 2016 [22]
Velocidad de deposición de PM	PM10 : 3.3 m/h PM2.5 : 1.6 m/h	Thatcher y Layton, 1995.[24]
Proporción concentración / emisión	Cocina 1: 0.32 Cocina 2: 0.25 Cocina 3: 0.45	Cálculos con datos de Carvalho, et al, 2016 [25]
Período de simulación	24 horas	-

Fuente: Elaboración propia

Con los datos ingresados al modelo PM.exe, se procedió a calcular la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5}, relacionando la información para cada cocina, con lo cual finalmente se obtuvieron las concentraciones horarias de cada contaminante, en términos de microgramos de contaminante por volumen de aire, y se calculó la concentración diaria con el promedio de los datos horarios, para obtener un dato por contaminante y por cocina. Este valor obtenido fue comparado con los niveles de PM₁₀ y PM_{2.5} para aire interior recomendados por la OMS [26], estableciendo la diferencia entre los niveles y las concentraciones calculadas, y la comparación con otros estudios relacionados por la OMS [3].

Posteriormente se realizó una estimación del número de personas que puedan estar posiblemente afectadas por la contaminación generada en las estufas de combustión de leña, haciendo énfasis en la los grupos de población infantil y población femenina, teniendo en cuenta la población por sexo y edad en la vereda Agudelo del municipio de Santa Sofía, y el registro de enfermedades respiratorias que han ocurrido en el municipio.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

2.1. INFORMACIÓN RECOLECTADA

De acuerdo a los resultados de las visitas realizadas en los días 22 y 24 de Marzo de 2017, se recolectó información sobre las características de las cocinas de tres hogares en la vereda Agudelo en el municipio de Santa Sofía, y sobre la población que reside en las viviendas. Las tres cocinas se ubican en construcciones aparte de las habitaciones, y cada una posee una estufa de leña, aunque también para el proceso de cocción se usan estufas con gas propano, principalmente en las mañanas. La leña usada proviene principalmente de árboles de eucalipto, pino y roble, y es recolectada

manualmente de los árboles secos en áreas cercanas a las viviendas. Los datos recolectados en las visitas se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos recopilados durante las visitas

Aspecto	Cocina 1	Cocina 2	Cocina 3
Dimensiones cocina (Ancho*Largo*alto) (m)	2.71*3.58*2.14	2.96*3.18*2.53	3.22*4.22*1.9
Volumen cocina (m ³)	20.8	23.8	25.8
Habitantes	1 hombre adulto	1 mujer de tercera edad 1 mujer adulta 1 hombre adulto 2 niños	1 mujer adulta 1 mujer de tercera edad 1 hombre de tercera edad
Consumo de leña (kg/día)	1	5	4
Horas de uso de estufa al día	2	8	8

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las condiciones observadas en las visitas, en la cocina 1 la estufa de leña es usada solo en las mañanas y la noche por poco tiempo, puesto que en la vivienda habita una persona adulta y permanece fuera de ella la mayor parte del día. La cocina cuenta con dos ventanas, puerta para ventilación y la estufa posee chimenea para la evacuación de las emisiones generadas. En la cocina 2, la estufa se usa por mayor tiempo antes y durante el mediodía, puesto que se prepara la mayor cantidad de comida; la cocina cuenta con tres ventanas y una puerta para el intercambio de aire; además de que la estufa cuenta con chimenea. En la vivienda reside una mujer de la tercera edad, dos niños menores de 10 años y dos personas adultas, aunque la persona que permanece mayor tiempo en la cocina es la madre de los niños. En la cocina 3 habitan dos personas de la tercera edad y una mujer adulta, aunque las mujeres son las que permanecen mayor tiempo en ella; la cocina cuenta con dos ventanas pequeñas y una puerta para el intercambio de aire con el exterior. Aunque la estufa posee chimenea, las emisiones no son evacuadas totalmente por el ducto y los contaminantes permanecen en el interior de la cocina. En la Figura 2 se observan las estufas de leña presentes en las cocinas de las viviendas visitadas.



Cocina 1



Cocina 2



Cocina 3

Figura 2. Estufas de leña en cada hogar

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las condiciones de las personas presentes en los hogares visitados, se encontró que los habitantes se dedican a labores agrícolas, principalmente los hombres en edad laboral. Las mujeres dedican su tiempo al desarrollo de labores pecuarias y a la preparación de los alimentos, por lo que permanecen mayor tiempo en las cocinas. Los niños permanecen en la cocina principalmente en las horas de la tarde y la noche, en el momento del consumo de los alimentos. En las cocinas 2 y 3 permanecen personas de la tercera edad, especialmente en las mañanas y en las noches; dos de estas personas manifestaron presentar cuadros frecuentes de enfermedades respiratorias, aunque cabe resaltar la influencia del clima de la zona, especialmente por el descenso de la temperatura ambiente en horas de la mañana y la noche.

2.2. CÁLCULO DE LAS EMISIONES

Previo al cálculo de las concentraciones de material particulado, se definieron las emisiones de los contaminantes en cada estufa de acuerdo al consumo diario de leña y los factores de emisión correspondientes. Inicialmente se realizó la desagregación del consumo diario de leña por hora, teniendo en cuenta las horas en que se enciende la estufa y dando mayor ponderación a las horas previas a la preparación de las comidas principales del día. Después se establecieron los factores de emisión para PM₁₀ y PM_{2.5} (Tabla 3), los cuales se multiplicaron con los consumos de leña por hora para obtener las emisiones de cada contaminante en µg/hora, representadas en la Figura 3 y la Figura 4.

Tabla 3. Factores de emisión usados para PM₁₀ y PM_{2.5}

Contaminante	Factor emisión original	Factor emisión en µg/kg	Fuente
PM ₁₀	30.6 lb/Ton	13879915.2	AP-42 Capítulo 1.10: Residential Wood Stoves. [19] Tabla 1.10-1: Emission Factors for Residential Wood Combustion
PM _{2.5}	6.73 g/kg	6730000	Christian, et al, 2010 [20] Tabla 3: Normalized emission ratios (ER, mol/mol) and emission factors (EF, g/kg dry fuel) for 8 open wood cooking fires and 2 Patsari stoves in central Mexico.

Fuente: USEPA, 1996 [19] y Christian, et al, 2010 [20]

Según la estimación de las emisiones, se halló que el material particulado se genera en mayor proporción en la estufa de la cocina 2 durante las 11 a 2 de la tarde, en la cocina 3 las emisiones de material particulado son más altas a las 7 y a las 11 de la mañana, y en la cocina 1 las emisiones son más altas a las 6 de la mañana. También se observa que a las 10 de la mañana y de 3 a 6 de la tarde no se generan emisiones, debido a que esas horas las estufas se mantienen apagadas.

Adicionalmente, se evidencia que las emisiones de material particulado son mayores antes del medio día en las cocinas 2 y 3 en comparación a las emisiones generadas en la mañana, ya que se requiere mayor combustible para la preparación del almuerzo, y

para mantenerlo caliente hasta la hora en que se sirven los alimentos. En cambio, en la mañana los alimentos se preparan en menor tiempo, y en algunos casos se usa la estufa auxiliar de gas propano para reducir el tiempo de preparación de alimentos.

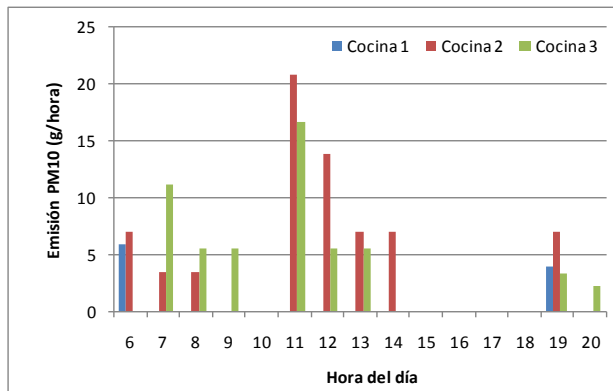


Figura 3. Emisiones horarias de PM₁₀ por cocina
Fuente: Elaboración propia

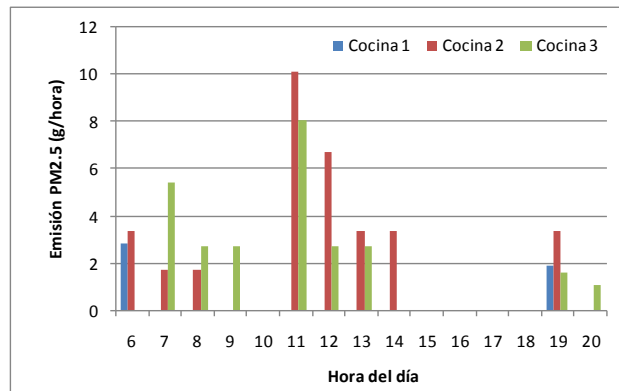


Figura 4. Emisiones horarias de PM_{2.5} por cocina
Fuente: Elaboración propia

2.3. CÁLCULO DE LAS CONCENTRACIONES

Para la estimación de las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} se ingresaron los datos requeridos por el modelo PM.exe, cuya interfaz se observa en la Figura 5. Este modelo se compone de siete ventanas, en las cuales se ingresa la siguiente información:

- Building: Volumen de la cocina, área de deposición del contaminante y variable de deposición (velocidad).
- Ventilation: Flujo de intercambio de aire
- PM properties: Tamaño de partícula (10 y 2.5 μm) y velocidades de deposición
- Outdoor sources: no se considera influencia de contaminación por fuentes exteriores
- Indoor sources: Se ingresan los datos de emisión por hora, ya que la emisión de la fuente varía en el tiempo.
- Conditions: Se ingresa el período de simulación y el número de datos resultante
- Output: Salida de datos de concentración para PM₁₀ y PM_{2.5}.

Tras ingresar los datos en el modelo PM.exe, se obtuvieron los resultados de las concentraciones horarias de PM₁₀ y PM_{2.5} para cada cocina. Para obtener la concentración diaria se promediaron los 24 datos horarios, y de este modo se obtuvo un dato por cada contaminante para cada cocina; dichas concentraciones diarias se muestran en la Tabla 4. De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que la mayor concentración diaria se presentó en la cocina 3, dado que se consideró que la estufa de esta cocina es la que tuvo la mayor relación concentración/emisión, por lo cual la mayor cantidad de las emisiones generadas se liberan al interior de la cocina y permanecen por algunas horas mientras la fuente de combustión permanece encendida. La cocina 2 tuvo menores concentraciones con respecto a la cocina 3, con una diferencia de más de 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque la cantidad de combustible usado es

mayor en la cocina 2, y dado que se consideró que la relación concentración/emisión es menor a la correspondiente a la estufa de la cocina 3, las emisiones en esta cocina son menores, lo que incide directamente en la reducción de la concentración.

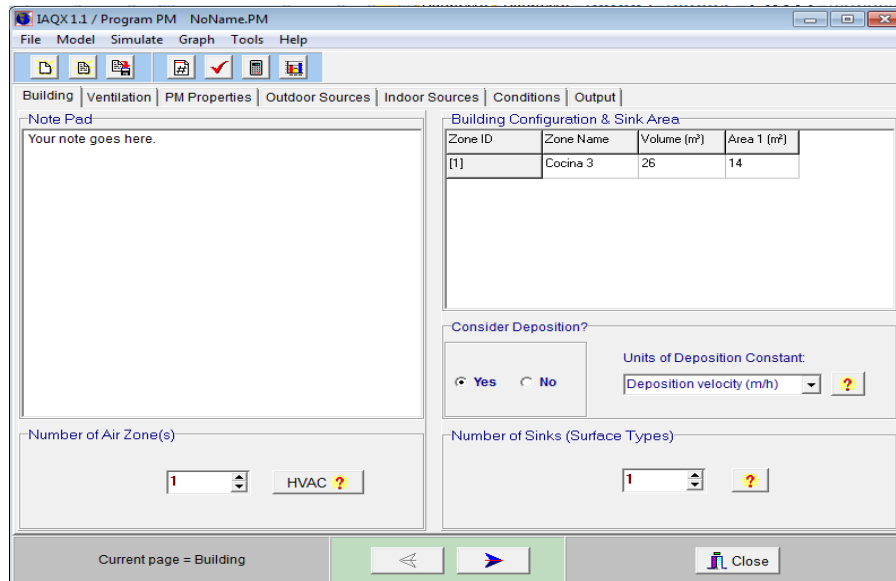


Figura 5. Interfaz del modelo PM.exe
Fuente: Elaboración propia

En contraste, la cocina 1 tuvo las menores concentraciones para PM_{10} y $PM_{2.5}$, siendo entre 5 y 6 veces menor a las concentraciones presentadas en las otras dos cocinas. En este caso hay bastante incidencia en el tiempo que permanece encendida estufa, solo dos horas al día, por lo que la exposición es menor, además de que la relación concentración/emisión es baja en comparación al valor de la estufa de la cocina 3.

Con respecto a los habitantes de las viviendas, los que permanecen en la cocina 3 están expuestos a mayores niveles de material particulado, y los efectos en la salud serían mayores para las personas de la tercera edad; en la cocina 2 las concentraciones afectarían a los niños, aunque en menor proporción debido a que no permanecen la totalidad del día en el interior de la cocina; y en la cocina 3 la persona que habita tiene la menor exposición a la contaminación por material particulado en relación a la personas de las otras viviendas, sin embargo si las concentraciones son más altas en la mañana, se pueden generar efectos adversos en la salud por la presencia de las bajas temperaturas en la zona en las mañanas.

Tabla 4. Resultado de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$

Cocina	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Cocina 1	1376.5	824.9
Cocina 2	7470.5	4328.3
Cocina 3	8572.2	5233.9

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6 se muestran las concentraciones diarias por cocina y por contaminante. Se puede observar que la concentración de $PM_{2.5}$ equivale aproximadamente al 60% de las concentraciones de PM_{10} , lo cual indica que más de la mitad del material particulado generado por la combustión de leña en estos casos corresponde a las partículas de menor diámetro (2.5 micras), y teniendo en cuenta que estas partículas son las que ingresan a las vías más pequeñas del sistema respiratorio, generarían mayores efectos negativos en la salud de las personas que permanecen en las cocinas. Esta situación además se ve influenciada por la velocidad de deposición de $PM_{2.5}$, que es menor al valor correspondiente para PM_{10} , lo cual causa que las partículas de menor diámetro permanezcan suspendidas por mayor tiempo en el aire, y por consiguiente, a lo largo del día es mayor la exposición al $PM_{2.5}$.

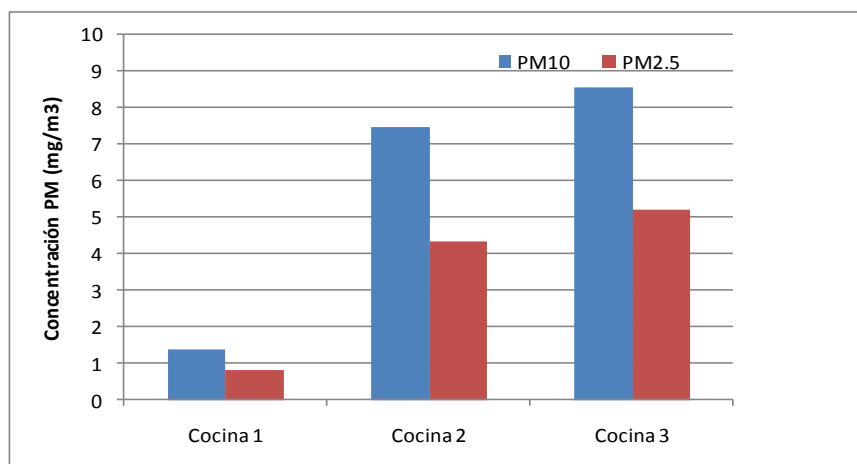


Figura 6. Concentraciones diarias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ por cocina
Fuente: Elaboración propia

2.4. COMPARACIÓN CON ESTÁNDARES DEFINIDOS POR LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

La Organización Mundial de la Salud ha publicado valores de referencia de contaminantes del aire de acuerdo a estudios que se han realizado a lo largo del mundo para establecer las concentraciones a las cuales se pueden presentar efectos en la salud cuando una persona se encuentra expuesto a ellos durante un tiempo determinado. Sobre la calidad del aire interior en viviendas por el uso de combustibles, la OMS definió unos valores guía de concentración diaria para los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, Benceno, Monóxido de Carbono, Formaldehido, Naftaleno Dióxido de Nitrógeno e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos [26]. En la Tabla 5 se muestran los valores guía para los contaminantes evaluados en este trabajo, PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Tabla 5. Valores guía de la OMS para PM_{10} y $PM_{2.5}$

PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24h	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24h
50	25

Fuente: WHO, 2016 [26]

Al realizar la comparación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ estimadas en cada cocina es evidente que los valores son hasta 209 veces mayores que los valores guía

en $PM_{2.5}$ y 179 veces en PM_{10} . (Tabla 6). Esto indica que las concentraciones presentes en las cocinas representan un alto riesgo para la salud de las personas que se encuentran dentro de las cocinas, especialmente para mujeres y niños que pasan mayor tiempo en ellas. Sin embargo, de acuerdo a la realización de otros estudios de concentración de material particulado por la combustión de madera en otros lugares del mundo revisados por la OMS, los valores son mayores a $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabla 7), especialmente para estufas tradicionales, por lo cual el uso de madera como combustible en el proceso de cocción como consecuencia genera altas concentraciones de material particulado que sobrepasan los niveles seguros de exposición, sin embargo es necesario la modificación de los procesos de cocción y la optimización en la estructura de las estufas y de las cocinas en general, con el fin de aumentar la eficiencia de la combustión y por ende, disminuir las concentraciones de material particulado.

Tabla 6. Valores de excedencia de la concentración obtenida sobre los valores guía de la OMS

Contaminante	Cocina 1	Cocina 2	Cocina 3
PM_{10}	27	149	171
$PM_{2.5}$	32	173	209

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Valores de material particulado obtenidos en otros estudios internacionales

Ubicación	Tiempo de exposición	Contaminante	Valores medios / rangos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Nepal	Periodo de cocción	$PM_{2.5}$	Estufa tradicional: 8200 Estufa mejorada: 3000
Pune, India	12 – 24 horas	PM_{10}	Área: 2000 Personal: 1100
Mozambique	Período de cocción	PM_{10}	1200
Bolivia Rural	6 horas	PM_{10}	Interior de la cocina: 1830
Guatemala	24 horas	$PM_{3.5}$	Estufa tradicional: 1560 Estufa mejorada: 250 Fuego abierto – GLP: 850
Bangladesh	24 horas	PM_{10}	Personal: 196 - 264 Área: 60 – 1165

Fuente: Adaptado de WHO [3]

Es importante resaltar que en los estudios recopilados por la OMS han usado monitoreos directos del contaminante para evaluar las concentraciones, por lo que los valores reportados son más aproximados al comportamiento real del material particulado en las cocinas. En el caso de estudio en Boyacá, la estimación de las concentraciones de material particulado se realizó mediante un modelo de simulación, por lo que se consideraron variables reportadas en otros estudios con el fin de reunir las condiciones necesarias para la ejecución del modelo, y por consiguiente las concentraciones obtenidas son una representación general de lo que ocurre en la realidad, y el valor reportado está influenciado por una mayor incertidumbre.

Además, factores como el volumen de la cocina, el área de ventilación, la estructura de la estufa, la existencia de chimenea y el tipo de combustible, y situaciones como la variación del consumo de combustible ante la variación del número de las personas que habitan en la vivienda o el uso de otras fuentes de combustión como estufas de gas propano, inciden en la variación de la concentración de material particulado que se

puede presentar al interior de las cocinas durante el día y a lo largo del año [8]. Por lo tanto, un estudio sobre la contaminación del aire interior demanda un tiempo prudencial para el análisis de estos factores, y los mecanismos de mejora para contribuir a la reducción de las concentraciones a las que se exponen las personas.

2.5. RELACIÓN CON POBLACIÓN DE LA VEREDA AGUDELO

De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal de Santa Sofía 2016-2019, para inicios del 2016 la población total del municipio era de 2921 habitantes, de los cuales el 29% se ubica en el área urbana y el 71% restante habita en el área rural. Además, en el documento se presenta la distribución de la población por veredas y por grupos etáreos, siendo la vereda Agudelo la segunda más poblada de las 10 veredas del municipio, con 304 habitantes. [27]

Se realizó la distribución de la población de cada grupo etáreo por sexo (Tabla 8), teniendo en cuenta la distribución presentada en las proyecciones de población por municipio del 2005 al 2020 elaboradas por el DANE [28]. De este modo se puede identificar con mayor facilidad la población que puede estar afectada en mayor proporción por la contaminación del aire interior por combustión de leña.

Tabla 8. Población de la Vereda de Agudelo por sexo y edad

Edades	0 - 5	6 - 12	13 - 18	19 - 27	28 - 59	>60	Total
Hombres	10	21	14	19	54	37	155
Mujeres	9	18	13	19	49	41	149
Total Vereda Agudelo	19	39	27	38	103	78	304

Fuente: Adaptado de Administración Municipal de Santa Sofía [26]

Asumiendo que todos los hogares de la vereda Agudelo cuentan con estufa de leña para la cocción de alimentos, teniendo en cuenta la población de la vereda y la permanencia de las personas de las viviendas visitadas en las cocinas, se puede establecer que la población infantil posiblemente afectada es de 58 niños entre 0 y 12 años, la cual se encuentra expuesta en las horas de la mañana y la noche, mientras que la población femenina posiblemente afectada es de 109 personas de 19 años en adelante, que permanecen la mayoría del día en las cocinas.

Cabe resaltar que las estimaciones son aproximadas, ya que existen varios factores que reducen la exposición a la contaminación por PM, tales como el uso de estufas de gas propano, cocinas con diferente estructura que facilite la ventilación, o permanencia en lugares fuera del hogar.

Según un estudio realizado por la E.S.E. Centro de Salud Santa Sofía [29], en el cual se realizó un análisis de la situación en salud del municipio para el período 2009 – 2014, se identificaron las principales causas de mortalidad y morbilidad en el municipio de acuerdo a la información registrada en el centro de salud, usando la metodología de determinantes sociales de salud.

Con respecto a los casos de enfermedades respiratorias (tales como rinitis, laringitis, bronquitis, asma, neumonitis y afecciones por inhalación, entre otras), se incluyen dentro del grupo de enfermedades no transmisibles. En el estudio se definen los porcentajes con respecto a los grupos de enfermedades, en este caso de enfermedades no transmisibles, para cada ciclo vital de las personas, según su rango de edad. En la Figura 7 se muestra el porcentaje de casos de enfermedades respiratorias por ciclo vital, en la cual se observa que en el centro de salud se atendieron mayor cantidad de casos para pacientes de primera infancia en 2012 (31%), adolescentes (11%) y personas mayores en el año 2010 (7.5%). No se tuvieron registros de casos para el periodo estudiado en pacientes de 6 a 11 años [29].

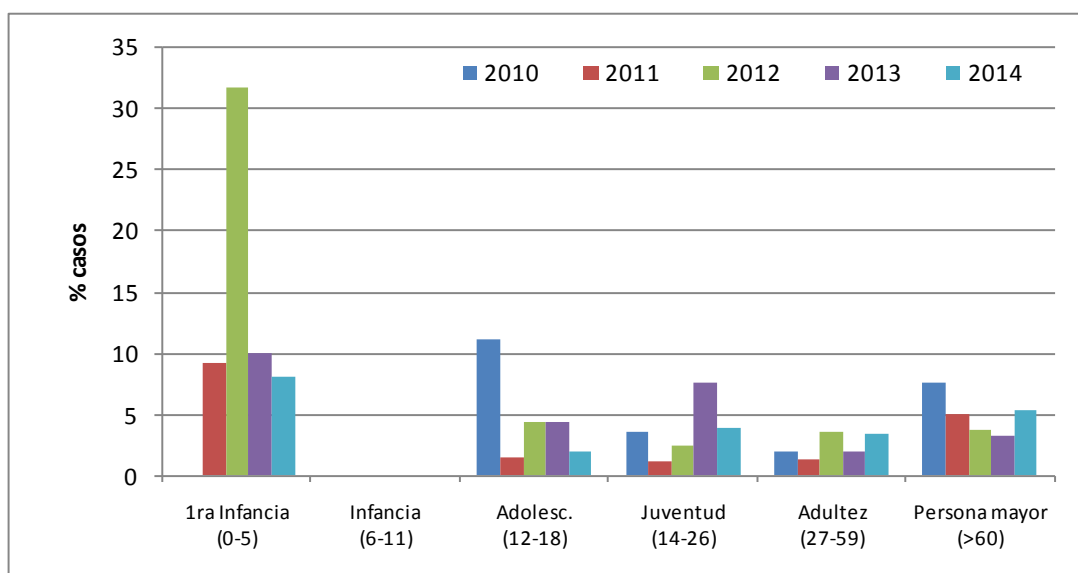


Figura 7. Porcentaje de casos de enfermedades respiratorias reportados en el municipio
Fuente: E.S.E Centro de Salud Santa Sofía, 2015 [28]

De acuerdo a la tendencia en la frecuencia de casos de enfermedades respiratorias para el período 2009 a 2014, se observa la presencia de dichas enfermedades predominan en los pacientes de primera infancia y las personas mayores, ya que estos grupos poseen sistemas inmunes con menores defensas, y son más susceptibles a la ocurrencia de enfermedades en general. Además, la exposición a factores como la contaminación por combustión de leña o variaciones del clima inciden en el aumento de las afectaciones en esta población. En adición, la contaminación del aire por uso de leña también puede causar otras enfermedades asociadas al proceso de embarazo, cáncer en las vías respiratorias y afectaciones oculares [30].

3. CONCLUSIONES

Según las observaciones de las visitas a las tres viviendas, la leña sigue siendo el combustible principal para el proceso de cocción en las viviendas rurales de la vereda Agudelo en el municipio de Santa Sofía, usando en promedio 3,3 kg de leña al día, usando la mayor parte del combustible en la preparación del almuerzo. En las viviendas las mujeres son las que están a cargo del proceso de cocción y permanecen más

tiempo en la cocina, sin embargo el en caso de la cocina en donde habita un hombre, es la única persona encargada de los procesos de cocción, por lo que puede tener afectaciones por exposición a la contaminación, aunque en menor proporción a las personas de otras viviendas por el menor tiempo de permanencia en la cocina.

La cocina 2 tuvo las mayores emisiones de material particulado por estufa (hasta 20 g/hora de PM_{10} y 10 g/hora de $PM_{2.5}$), sin embargo la cocina 3 tuvo las mayores concentraciones de PM_{10} ($8572.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y $PM_{2.5}$ ($5233.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ya que la estufa es la que tiene el desempeño más bajo, y la relación concentración/emisión es la más alta, debido a que la chimenea que posee no permite la evacuación de las emisiones generadas por la combustión de leña, y siendo la cocina con el volumen más alto, las concentraciones de material particulado tardan más tiempo en distribuirse, por lo que permanecen más tiempo suspendidas en el aire. Además, la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ da un valor de 0.6 para las tres cocinas, lo que indica que la proporción del material particulado de diámetro más pequeño es mayor que las partículas más grandes, lo cual aunado a la baja velocidad de deposición, contribuye también a que el $PM_{2.5}$ permanezca en el aire.

Al comparar las concentraciones obtenidas de PM_{10} y $PM_{2.5}$ con los lineamientos dados por la OMS para contaminación del aire interior por combustión, se identificó que las estimaciones superan hasta 209 veces los niveles recomendados, aunque en otros estudios internacionales se han presentado valores de concentración similares a los obtenidos, lo cual indica que la combustión de leña en las condiciones inapropiadas general altos niveles de contaminación por material particulado, que puede potencialmente generar efectos adversos en la salud, como enfermedades respiratorias y oculares.

La población total de la vereda de Agudelo equivale al 10% de la población total del municipio, aunque todas las viviendas se encuentran dentro del área rural. Clasificando a la población por sexo y por edad, se identificaron los grupos susceptibles de afectaciones por exposición a la contaminación del aire, la población infantil con 58 personas entre 0 y 12 años, y la población femenina de más de 19 años, correspondiente a 109 personas. De acuerdo a los registros de enfermedades respiratorias, la mayoría de pacientes pertenecen a la primera infancia, y el mayor porcentaje de casos se presentó en el año 2012. La ocurrencia de enfermedades respiratorias puede verse influenciada también por las variaciones climáticas en la zona, ya que se presentan temperaturas bajas durante la noche y en la mañana del orden de 8°C .

Es importante resaltar que la estimación de concentraciones por el uso del modelo matemático genera mayor incertidumbre que la estimación mediante mediciones directas, aunque facilita el cálculo de concentraciones en varios intervalos de tiempo, requiere de datos lo más cercanos a la situación real del lugar de modelación para obtener datos más precisos. Además los estudios de estimación de concentraciones de material particulado se pueden relacionar con un diagnóstico más detallado de las afectaciones a la salud de las personas que usan leña como combustible, en especial

en la población más sensible a la incidencia de factores causantes de enfermedades respiratorias, con el fin de identificar el impacto generado por la exposición al material particulado, y establecer medidas que contribuyan a la reducción de la contaminación.

REFERENCIAS

- [1] Guardino, X. (1998). Calidad del aire interior: Introducción. En *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. (pp. 44.2 – 44.6). Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales – Subdirección General de Publicaciones. Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/44.pdf>
- [2] Junta de Andalucía. (s.f.). *Material particulado atmosférico*. Recuperado de http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=bd9a6b23d642c310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=b61a937a34fcc310VgnVCM2000000624e50aRCRD&lr=lang_es&vgnsecondoid=76816b23d642c310VgnVCM2000000624e50a____¶m1=4
- [3] Balakrishnan K. y Bruce N. (2006). 9. Indoor Air Quality. En World Health Organization. *Air Quality Guidelines. Global Update 2005*. pp 189 – 213. Copenhague: WHO Regional Office for Europe. Recuperado de http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf
- [4] Kaur Sidhu, M.; Ravindra, K.; Mor, S. y John, S. (2017) Household air pollution from various types of rural kitchens and its exposure assessment. *Science of the Total Environment*, 586, 419-429. doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.051>
- [5] World Bank Group (WBG) (2014). *Environmental Health Costs in Colombia: Changes from 2002 to 2010*. Washington D.C. Recuperado de <http://documents.worldbank.org/curated/en/657631468047104545/pdf/929560WP0P14940s0occ-0paper0series0.pdf>
- [6] Organización Mundial de la Salud (OMS) (2016). *Contaminación del aire de interiores y salud*. Nota descriptiva N°292. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/>
- [7] Cortés, A. y Ridley, I. (2013). Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario. La ciudad de Temuco como caso de estudio. *Revista INVI*. 28(78), 257-271. doi 10.4067/S0718-83582013000200008
- [8] Smith, K (2012). 4. Energy and Health. En International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*. (pp 225 - 324) Luxemburgo: IIASA. Recuperado de http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA_Chapter4_health_hires.pdf

[9] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2017). *Encuesta Nacional de Calidad de Vida -ECV- 2016*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2016>

[10] Mejía, F. (2011). *Implicaciones ambientales del uso de leña como combustible doméstico en la zona rural de Usme*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4125/1/905057.2011.pdf>

[11] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2015). *Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña*. Bogotá D.C. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/mitigacion_/LINEAMIENTO_S_ESTUFAS_MEJORADAS_PARA_COCCI%C3%93N_CON_LE%C3%91A.pdf

[12] Shrimali, G., Slaski, X., Thurber, M. y Zerrifi, H. (2011) Improves stoves in India: A study of sustainable business models. *Energy Policy*, 39, 7543-7556. doi:10.1016/j.enpol.2011.07.031

[13] Shen, G.(2016). Changes from traditional solid fuels to clean household energies - Opportunities in emission reduction of primary PM_{2.5} from residential cookstoves in China. *Biomass and Bioenergy*, 86, 28-35. doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.01.004>

[14] Yip F., Christensen, B., Sircar, K., Naeher, L., Bruce, N., Pennise., D., Lozier, M., Pilishvili, T., Loo Farrar, J., Stanistreet, D., Nyagol, R., Muoki, J., de Beer, L., Sage, M. & Kapil, V. (2016). Assessment of traditional and improved stove use on household air pollution and personal exposures in rural western Kenya. *Environment International*, 99, 185-191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.11.015>

[15] Sparks, L. (2001). Indoor Air Quality Modeling. En J. Spengler, J. Samet & J. McCarthy. *Indoor Air Quality Handbook*. Nueva York: McGraw Hill.

[16] Sánchez-Soberón, F., Mari, M., Kumar, V., Rovira, J., Nadal, M. y Schuhmacher, M. (2015) An approach to assess the Particulate Matter exposure for the population living around a cement plant: modelling indoor air and particle deposition in the respiratory tract. *Environmental Research*, 143, 10 – 18. doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.09.008>

[17] Administración Municipal de Santa Sofía (2012). *Plan de Desarrollo “Con honestidad y trabajo Santa Sofía Progresá 2012-2015”*. Colombia. Recuperado de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/santasofiaboyac%C3%A1pd20122015.pdf>

[18] United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2000). *Simulation Tool Kit for Indoor Air Quality and Inhalation Exposure. User's Guide. Washington*. Recuperado de <https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1000A0G.pdf>

[19] United States Environmental Protection Agency (USEPA) (1996). *AP 42: Compilation of Air Emission Factors. Volume I. Chapter 1: External combustion sources. Section 1.10 Residential woodstoves*. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s10.pdf>

[20] Christian, T., Yokelson, R., Cárdenas, B., Molina, L., Engling, G. y Hsu, S. (2010). Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 565–584. Recuperado de <http://www.atmos-chem-phys.net/10/565/2010/acp-10-565-2010.pdf>

[21] Taneja, A., Habil, M. y Kulshresta, A. (2012) Particles in the Indoor Environment: Sources and Health Effects in Developing Countries. En Knudsen, H y Rasmussen, N. *Particulate Matter: Sources, Emission Rates and Health Effects*. (pp. 1 - 32). Nueva York: Nova Science Publishers.

[22] Parajuli, I., Lee, H y Shresta, K. (2016). Indoor Air Quality and ventilation assessment of rural mountainous households of Nepal. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5, 301-311. doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.08.003>

[23] Fromme, H. (2012) 6. Particles in the Indoor Environment. En Kumar, S. *Air Quality – Monitoring and Modeling*. pp 117 – 144. Croacia: InTech. Recuperado de <http://www.intechopen.com/books/air-quality-monitoring-and-modeling/particles-in-the-indoor-environment>

[24] Thatcher, T y Layton, D. (1995). Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence. *Atmospheric Environment*. 29 (13), 1487 – 1497. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/David_Layton/publication/222442095_Thatcher_TL_Layton_DW_Deposition_resuspension_and_penetration_of_particles_within_a_residence_Atmos_Environ_29_1487-1497/links/547e30670cf2de80e7cc542c.pdf

[25] Carvalho, R., Jensen, O y Tarelho, L. (2016). Mapping the performance of wood-burning stoves by installations worldwide. *Energy and Buildings*. 127, 658-679. doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.010>

[26] World Health Organization (WHO) (2014) *WHO Guidelines for indoor air quality: household fuel combustion*. Suiza: Who Document Production Services. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/141496/1/9789241548885_eng.pdf?ua=1

[27] Administración Municipal de Santa Sofía (2016). *Acuerdo 013 de 2016 por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo del Municipio de Santa Sofía Boyacá*,

denominado “*Marcando La Diferencia Con Experiencia, Compromiso Y Gestión 2016-2019*.” Colombia. Recuperado de http://www.santasofia-boyaca.gov.co/normatividad_vigente.shtml?apc=kaxx-1-&x=2665000

[28] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2012). *Visor: Proyecciones de población total por sexo y grupos de edad de 0 hasta 80 y más años (2005 - 2020)*.

Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

[29] E.S.E Centro de Salud Santa Sofía (2015). *Análisis de Situación de Salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, municipio Santa Sofía 2015*. Colombia. Recuperado de https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis_2015/asis-santasofia-2015.pdf

[30] Bruce, N., Pérez-Padilla, R. y Albalak, R. (2000). *Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge*. Bulletin of the World Health Organization. 78 (9), 1078 – 1092. Recuperado de [http://www.who.int/bulletin/archives/78\(9\)1078.pdf](http://www.who.int/bulletin/archives/78(9)1078.pdf)