

Artículo Original

Calidad del aire en la ciudad San Francisco de Milagro y su influencia en la salud poblacional

Air quality in the city of San Francisco de Milagros and its influence on population health

<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.612.022>

Javier Alexander Alcázar Espinoza^{1,*}

<https://orcid.org/0000-003-4196-7798>

Byron Ramiro Romero Romero¹

<https://orcid.org/0000-0001-5529-6724>

Carlos Andrés Vaca Coronel¹

<https://orcid.org/0000-0001-9167-5043>

Isabel Del Rocío Balón Ramos²

<https://orcid.org/0000-0002-7237-4912>

Recibido: 17/02/2021

Aceptado: 23/05/2021

RESUMEN

La contaminación ambiental es un problema de salud con serias implicaciones negativas para el ser humano. Según la OMS, la contaminación atmosférica es responsable de 6.67 millones de muertes al año por accidentes cardiovasculares, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón y enfermedades respiratorias crónicas (HEI, 2020; OMS, 2021). La presente investigación determino la calidad del aire en la ciudad San Francisco de Milagro y su influencia en la salud poblacional. Los resultados expresan, que la concentración promedio de estos gases están dentro de los estándares establecidos por la OMS (2005), OMS (2018); para cada uno de ellos y por ende no son dañinos para la salud de la población en estudio. Sin embargo, actividades de desarrollo local como el caso de obras de construcción, estarían causando molestias en la población, debido a la falta de control y regulación ambiental, como lo demostró el estudio de percepciones.

Palabras claves: Contaminación Ambiental, Calidad del aire y su influencia en la salud poblacional

ABSTRACT

Environmental pollution is a global health problem with serious negative implications for humans. According to the WHO, air pollution is responsible for 6.67 million deaths per year from cardiovascular accidents, heart disease, lung cancer and chronic respiratory diseases (HEI, 2020; WHO, 2021). This research determined the air quality in the city of San Francisco de Milagro and its influence on population health. The results express that the average concentration of these gases are within the standards established by the WHO (2005), WHO (2018); for each of them and therefore are not harmful to the health of the population under study. However, local development activities such as construction works would be causing inconvenience to the population, due to the lack of environmental control and regulation, as the perceptions study showed.

Keywords: *Environmental Pollution, Air Quality and its influence on population health*

¹ Universidad del Milagro (UNEMI), Ecuador

² Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE)

*Autor de Correspondencia: JaviAlcazar4546@gmail.com

Introducción

La contaminación ambiental es un problema de salud mundial con serias implicaciones negativas para el ser humano. Tan solo en el 2019 la contaminación atmosférica ocupó el cuarto factor de riesgo de muerte a nivel mundial (HEI, 2020). Sin embargo, grupos vulnerables como niños, adultos en edades avanzadas, personas con problemas de salud preexistentes o incluso carencias sociales son los que se ven principalmente afectados debido a dicho problema (EEA, 2018). Según la OMS, la contaminación atmosférica es responsable de 6.67 millones de muertes al año por accidentes cardiovasculares, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón y enfermedades respiratorias crónicas (HEI, 2020; OMS, 2021). Nuevas evidencias señalan que la exposición a largo plazo a la contaminación atmosférica se ha relacionado con un mayor riesgo de muerte por COVID-19 (Félix-Arellano *et al.*, 2020; Pozzer *et al.*, 2020). El riesgo por muerte de COVID-19 aumenta un 8% por cada aumento de 1 µg/m³ de exposición a PM_{2.5} (Pozzer *et al.*, 2020). Es importante destacar, que la contaminación atmosférica es responsable de grandes pérdidas económicas reflejadas en gastos médicos de más de 21 mil millones de dólares a nivel mundial en 2015; pérdida de productividad económica derivada de enfermedades relacionadas con la contaminación y muerte prematura; así como el costo de la degradación del medio ambiente. (Landrigan, 2016).

Existen múltiples fuentes de contaminación ambiental como quema de combustibles para la cocción de alimentos, uso de vehículos, centrales eléctricas de carbón o gas natural, actividades agrícolas, incendios forestales,

incineración de residuos y procesos industriales (Hu *et al.*, 2020; OMS, 2021). Sin embargo, las diferencias de exposición entre los grupos de población pueden estar relacionadas con disparidades en el desarrollo, la aplicación y el cumplimiento de leyes, reglamentos y políticas medioambientales (OPS & OMS, 2016). A pesar de todo lo que se sabe sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud, el progreso logrado ha sido escaso o nulo en muchas partes del mundo (HEI, 2020). Si bien la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible reconoce la gravedad de la contaminación ambiental en tres de sus indicadores, la eliminación global de dicha problemática requiere de un liderazgo ambicioso, nuevos recursos sustanciales por parte de la comunidad internacional e importantes cambios sociales (Landrigan, 2016).

La contaminación atmosférica es un problema de índole global impulsada por la rápida expansión de las megaciudades, la globalización de la producción industrial, la proliferación de plaguicidas y productos químicos tóxicos y el creciente uso de vehículos de motor (Landrigan, 2016). La contaminación atmosférica puede definirse como la introducción de sustancias químicas, partículas o materiales biológicos en la atmósfera que causan molestias, enfermedades o la muerte en seres humanos; afectan a otros organismos vivos tales como cultivos alimentarios; así como dañan el entorno natural o construido (Choudhary & Garg, 2013). Mientras que algunas causas de la contaminación atmosférica son totalmente naturales, tales como emisiones de plantas y biomasa del océano, gas volcánico o la resuspensión de polvo en zonas áridas, la intensidad de las actividades humanas también contribuye al problema (Williams, 2016; Li & Mallat, 2018). Algunas fuentes antropogénicas incluyen el uso de motores de combustión interna; la quema de combustibles en hogares e industria para la producción de energía; actividades industriales como construcción, minería, fabricación de cemento o fundición; actividades agrícolas; así como erosión de carreteras, abrasión de frenos o neumáticos, entre otras (Li & Mallat, 2018).

La calidad del aire se evalúa midiendo las concentraciones de seis contaminantes: materia de partículas finas (PM_{2.5}, concentración en masa de partículas con diámetros ≤ 2.5 μm), materia de partículas gruesas (PM₁₀, concentración en masa de partículas con diámetros ≤ 10 μm), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO) (EPA, 2020). Particularmente, el SO₂ es el principal contaminante que se genera durante la combustión de combustibles fósiles como el combustóleo en plantas generadoras de electricidad debido al alto contenido de azufre. Ahora bien, como el SO₂ es hidrosoluble, al estar en contacto con agua forma ácido sulfúrico, precursor de la lluvia ácida (Mateos, 2016).

La exposición a contaminantes ambientales a corto plazo exacerba los síntomas de enfermedades agudas como patologías respiratorias y cardiovasculares, complicaciones neuropsiquiátricas, irritación de los ojos o enfermedades de la piel; mientras que las exposiciones a largo plazo son probablemente los principales causantes de enfermedades crónicas como el cáncer (Azam *et al.*, 2016; Zhong *et al.*, 2019). El problema de la contaminación atmosférica no tiene que ver únicamente con la cantidad de contaminantes emitidos tanto por fuentes de origen natural como antropogénico, sino principalmente porque estas emisiones, especialmente las de origen antropogénico, se concentran en las ciudades donde hay actividad industrial y gran flujo vehicular, que a la vez son donde se localiza la mayoría de la humanidad. Al ser el aire un elemento indispensable para la vida, es importante procurar una buena calidad del mismo, pues su baja calidad repercute especialmente sobre las personas, produciendo enfermedades y muerte. Por tanto, es de suma importancia actuar consecuentemente para mantener una buena calidad del aire. (Hernández Berasaluce, s.f.).

Para mejorar la calidad del aire de las ciudades y proteger la salud de sus habitantes, es primordial medir la calidad del aire, determinar las causas y sus efectos, para así diseñar un plan de gestión del aire adecuado. (OPS, 2005). El país cuenta con el Plan Nacional de Calidad del Aire, el cual surgió para cumplir con la Constitución del Ecuador que establece el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. El PNCA tiene como principal objetivo “alcanzar una gestión ambiental adecuada de la calidad del recurso aire para proteger la salud humana, los recursos naturales y el patrimonio cultural” (Ministerio del Ambiente, 2010). También es importante indicar que dentro de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017, se encuentran: “Mejorar la calidad de vida de la población”, “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global”. Mismos que igualmente están orientados a tener un ambiente sano, sin contaminación y sustentable (Senplades, 2013). Por todo lo antes expuesto, la presente investigación determino la calidad del aire en la ciudad San Francisco de Milagro y su influencia en la salud poblacional.

Materiales y Métodos

Previa autorización de los entes administrativos, y estricto cumplimiento de las normas legislativas, posterior a la caracterización del área de estudio por métodos observacionales y búsqueda en fuentes documentales. Se realizó un estudio transversal (octubre 2019) con la finalidad de evaluar la calidad del aire en cinco zonas (residencial, comercial, escolar, industrial y hospitalaria) del casco urbano de la ciudad de San Francisco de Milagro, de la provincia de del Guayas, y su influencia con la salud de la población.

Se realizó un muestreo simplificado, donde se determinó la concentración de material Particulado, con el empleo de un PARTISOL FRM model 2000 y una balanza electrónica ATI CAHN C-33 para PM10, y para PM2.5 el 2000 H, Air sampler. Se procedió a recolectar una muestra diaria de partículas durante 24 horas continuas, y se determinó las concentraciones gravimétricamente, mediante el pesaje del filtro colector antes y después de cada medición. El criterio técnico de valoración fue las directrices de la OMS sobre la calidad del aire recomiendan una exposición máxima de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las PM10 y una exposición máxima de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las PM2.5 (WHO, 2005, 2018). Para determinar la concentración del contaminante gaseoso, el analizador automático (ECOTECH, 9800) utiliza el método equivalente para Ozono (O_3) medido por Fotometría ultravioleta (UV); para Monóxido de carbono (CO) por Fotometría infrarroja (IR) de filtro de correlación de gas; y para Bióxido de azufre (SO_2) por Fluorescencia pulsante; mientras que Bióxido de nitrógeno (NO_2) se determinó por el método de referencia por Quimioluminiscencia en fase gaseosa (CENMA, 2003; OMS-CEPIS, 2004; EPA, 2008; NZ, 2009). Se aplicó una encuesta a 627 habitantes de el área en estudio, la cual estuvo, constituida por 15 preguntas, 8 cerradas dicotómicas y 7 abiertas, para establecer la percepción sobre el efecto de la contaminación del aire sobre la salud humana.

Analisis de los datos

Los resultados se analizaron en el programa SPSS versión 24 y Excel un programa informático desarrollado para trabajar con hojas de cálculo, se calcularon los estadísticos descriptivos, media, desviación estándar y porcentajes.

Resultados

Caracterización del área de estudio

El Cantón Milagro se encuentra en la zona de clima Tropical Megatérmico Húmedo, con temperaturas medias diarias de 25 a 27°C y precipitaciones medias anuales de 1.100 a 1.800 mm, según Dirección de Desarrollo y Ordenamiento Territorial –DOT, (2018) en referencia a la precipitación, el número de días secos medios anuales varían desde 160 al oriente, hasta 190 al occidente, en un intervalo medio anual de junio a diciembre. Y la zona es de déficit hídrico. El 81% de la población se concentra en el área urbana, la población proyectada para el 2020 según el INEC, (2020) es de 199.835 habitantes con una tasa de crecimiento interanual de 1.445 superan el 15 en la última década. La pobreza se redujo en $32,6\%$, con coeficiente de GINI de $0,408$.

A nivel de hogar se estima un hacinamiento de $12,7\%$, el 60% tienen alcantarillado por red pública y 78% suministro de agua dentro de la vivienda. La distribución demográfica por edad es de $50,2\%$ de la población son hombres y el $25,3\%$ son mujeres de menos de 15 años. Así mismo se puede indicar que en el aspecto social, Milagro es el único cantón de la provincia del Guayas, excluyendo Guayaquil, que cuenta con centros de educación superior, la Universidad Estatal de Milagro y la Universidad Agraria del Ecuador. Estas instituciones reciben miles de estudiantes que provienen del cantón y fuera de él, por lo que existe una población considerable de jóvenes que diariamente se desplazan a la ciudad por este motivo. Sin embargo, se estimó un $7,2\%$ de analfabetismo y $9,8$ años de escolaridad en personas de 24 y más años.

Con respecto, al sistema de salud, cuentan con dos centros hospitalarios. El Hospital León Becerra de Ministerio de Salud Pública y el Hospital del Seguro Social, a donde acuden diariamente, desde distintos lugares de la subregión (y más allá de ella), cientos de personas en busca de tratamiento médico. El $93,7\%$ de las mujeres tienen asistencia al parto y el 60% hace un control ginecológico con la prueba de Papanicolaou, mientras que la incidencia de enfermedades diarreicas es de $16,9\%$ de la población entre 1 a 4 años, igualmente el $46,3\%$ de las enfermedades respiratorias ocurren en este grupo etario. Ahora bien, al examinar el efecto de distribución de la riqueza en la disminución de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) dado por el acceso que tiene la población del cantón a la infraestructura y servicios públicos, podemos señalar que en el último periodo inter-censal $2000-2010$, el cantón Milagro se encuentra en mejor situación que hace 10 años, logrando incrementar en $7,78$ puntos. Así mismo la pobreza en el cantón Milagro por NBI es de $5,5\%$ con respecto a la provincia del Guayas.

En las áreas urbanas del cantón, se concentran las actividades comerciales, de servicio e industrias, existe alrededor de 5.099 establecimientos productivos, de los cuales el $55,07\%$ son establecimientos comerciales y apenas el $7,57\%$ representa a la industria manufacturera.

Concentración de contaminantes del aire

La presente investigación estableció que la concentración promedio de partículas en las cinco zonas de estudio en la etapa de muestreo, para las PM 2,5 y PM 10 en 24 horas, fue de $15,23 \pm 0,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (para un mínimo de $14,89$ y máximo de $15,57$) y $33,91 \pm 8,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (para un mínimo de $25,09$ y máximo de $42,73$) respectivamente. Las medias ponderadas en los puntos de muestreo resultaron ser inferiores a los umbrales establecidos por la OMS, (2005) como nocivos a la salud humana, es decir, este material suspendido en el aire no tiene efectos en la salud pública. Asimismo la concentración promedio más alta fue la de CO con $166,11 \pm 26,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (para un mínimo de $139,84$ y máximo de

192,38), seguida de la concentración promedio de NO₂ con 133,80 ± 27,72 µg/m³ (para un mínimo 106,08 y máximo de 161,52), el O₃ arroja una concentración promedio de 69,08 ± 13,05 µg/m³ (para un mínimo de 56,93 y máximo de 83,03), finalmente la concentración promedio de SO₂ se encontró en 15,43 ± 2,89 µg/m³ (para un mínimo de 12,54 y máximo de 18,83), estos resultados muestran que la concentración promedio de estos gases están dentro de los estándares establecidos por la OMS (2005) para cada uno de ellos y por ende no son dañinos para la salud de la población en estudio. Sin embargo, actividades de desarrollo local como el caso de obras de construcción, estarían causando molestias en la población, debido a la falta de control y regulación ambiental, como lo demostró el estudio de percepciones. Datos observados en la tabla 1.

Tabla 1. Concentración de material particulado y contaminantes gaseosos en la ciudad San Francisco de Milagro

Variable	OMS, 2005	Zona					μ	σ
		Residencial	Comercial	Escolar	Industrial	Hospitalaria		
Material Particulado								
PM _{2.5}	25µg/m ³ , media de 24 horas	14,83	15,42	15,08	15,08	15,71	15,23	0,34
PM ₁₀	50 µg/m ³ , media de 24 horas	25,94	28,21	28,51	44,95	41,94	33,91	8,82
Contaminantes Gaseosos								
O ₃	100 µg/m ³ , media de ocho horas	73,88	62,50	54,88	69,13	89,50	69,98	13,05
CO	200 µg/m ³ , media de una hora	135,57	142,29	172,43	195,86	184,43	166,11	26,27
SO ₂	20 µg/m ³ media de 24 horas	11,71	14,29	14,43	18,00	18,71	15,43	2,89
NO ₂	200 µg/m ³ , media de una hora	110,43	132,57	108,43	176,57	141,00	133,80	27,72

En lo que respecta a la conducta de la concentración de PM 2,5 (A) y PM 10 (B) en 24 horas, como potencial factor nocivo para la salud, principalmente, las partículas de pequeño tamaño, ya que estas penetran con más facilidad a los pulmones. Se evidencio, en el desarrollo experimental de la investigación, que sus niveles, muestran que las emisiones de estas partículas al aire se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles lo que expresa, que la calidad del aire en el área de estudio es óptima para el desarrollo saludable de la población. Datos observados en la figura 1 A y B.

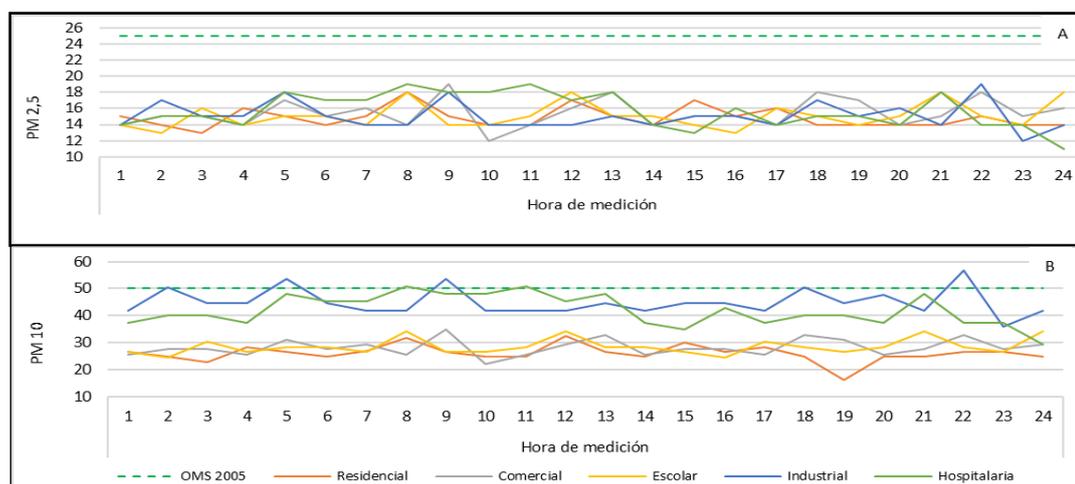


Figura 1. Concentración de material particulado en la ciudad San Francisco de Milagro

En la estimación de las concentraciones de los cocontaminantes gaseosos, el ozono (O₃) 69,98 µg/m³ es un gas que está presente de forma natural en la atmósfera, concretamente en la mesosfera donde forma la capa encargada de protegernos de la radiación ultravioleta; sin embargo, en la troposfera, el O₃ es un contaminante del aire, sus niveles varían a lo largo del día y de una zona a otra de la ciudad, debido a que éste desaparece cuando reacciona con otros contaminantes como el óxido nítrico. Esto muestra por qué los niveles de ozono suelen ser menores en zonas urbanas. Por lo antes expuesto, las zona escolar y comercial, presentaron bajas concentraciones medias en las 8 horas de

valoración, sin embargo, la totalidad de las zonas evaluadas tienen umbrales inferiores ($50-100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a los límites permisibles, establecidos por la OMS (2005). Datos observados en la figura 2.

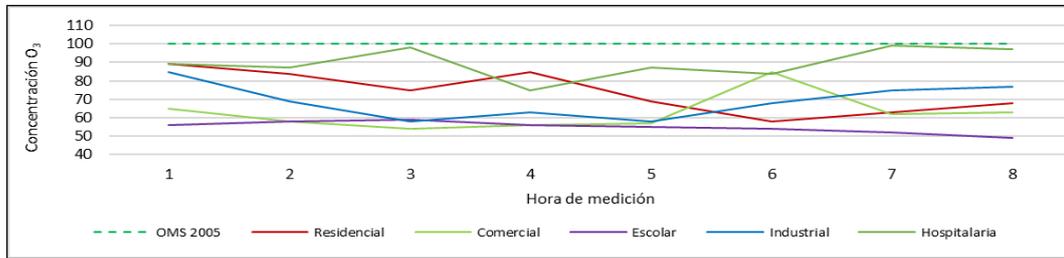


Figura 2. Concentración de ozono (O₃) en la ciudad San Francisco de Milagro

En relación al monóxido de carbono (CO) gas que se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles y biocombustibles como el gas natural, el carbón, la gasolina o el biodiesel, se encontró en las cinco zonas de muestreo dentro de límites permisibles en una hora, máximo una vez al día, que no ocasionan efectos dañinos a la población en estudio, en las mediciones por minutos, todas las valoraciones fueron inferiores, arrojando una media de $166,11 \pm 26,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Encontrándose que las zonas con mayor combustión son la industrial y la hospitalaria. Datos observados en la figura 3.

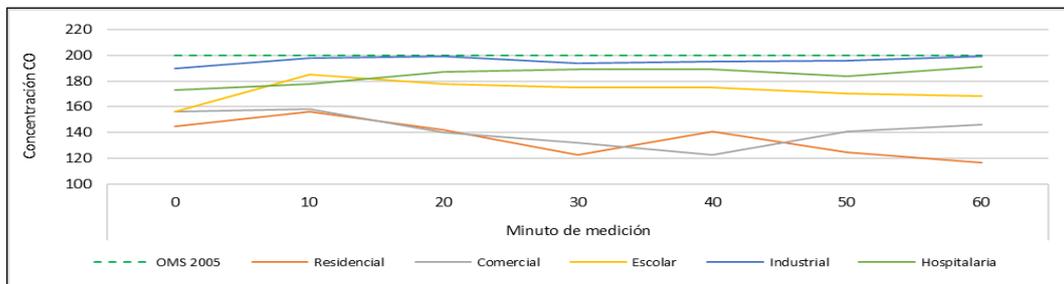


Figura 3. Concentración de monóxido de carbono (CO) en la ciudad San Francisco de Milagro

Cabe considerar, por otra parte, el dióxido de sulfuro, también llamado dióxido de azufre (SO₂), reporto en este estudio una concentración media de $15,43 \pm 2,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es considerado un gas contaminante procedente principalmente de la quema de carbón o aceite en centrales eléctricas, de las industrias papeleras o de la fundición del cobre. Su concentración es especialmente elevada en los alrededores de las centrales térmicas de carbón, siendo uno de los gases contaminantes causantes de la lluvia ácida, sin embargo, en este estudio las medias estuvieron dentro de los rangos considerados inocuos para la salud de la población en estudio. La media general es de. Datos observados en la figura 4.

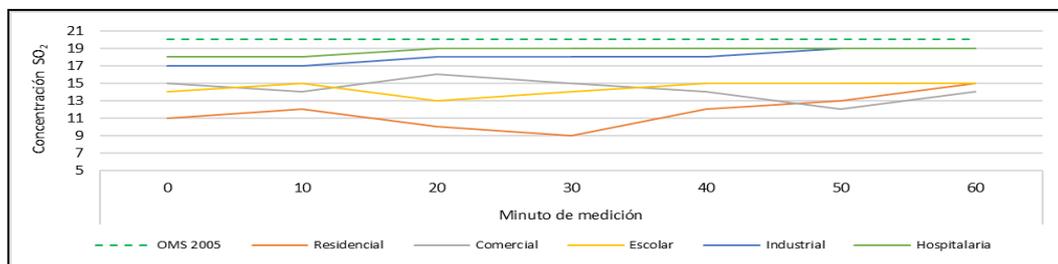


Figura 4. Concentración de dióxido de azufre (SO₂) en la ciudad San Francisco de Milagro

Ahora bien, en lo referente al comportamiento de los valores de las concentraciones en una hora del dióxido de nitrógeno (NO₂), con una concentración promedio de $133,80 \pm 27,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es un compuesto químico formado por nitrógeno y oxígeno, producto del tráfico vehicular y de los procesos de quema de combustibles fósiles, es uno de los gases más contaminantes y su presencia en el aire se contribuye a su vez a la formación de otros contaminantes atmosféricos, así como a la aparición de problemas medioambientales como la lluvia ácida. Datos observados en la figura 5.

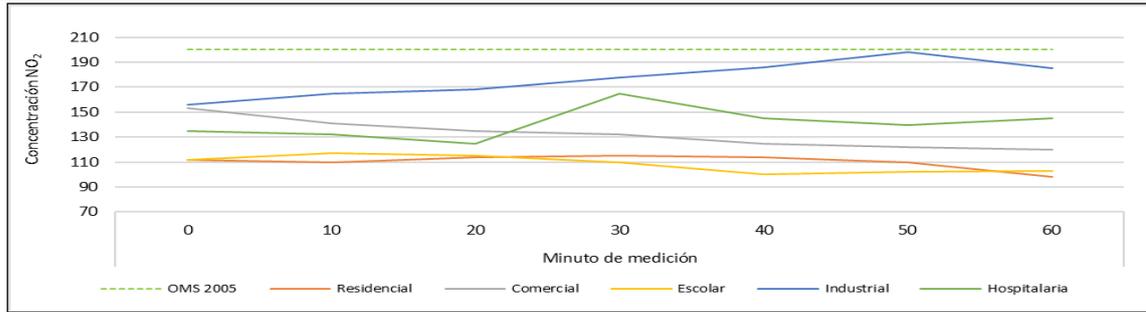


Figura 5. Concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en la ciudad San Francisco de Milagro

Percepción sobre influencia de la calidad de aire sobre la salud poblacional

Conviene destacar, que, de las 623 personas encuestadas de la muestra en estudio, el 92,94 % (n=579) le atribuyen alto nivel de importancia a la calidad del aire, y reconocen la relación con el estado de salud. De las cuales el 66,61% (415/623) declaran que el aire de su zona de hogar y/o trabajo son de excelente calidad, seguida como cualidad “Buena” el 24,08%, y solo 10 personas afirman que el aire donde se desenvuelven es altamente contaminado, es decir, es de mala calidad, con su respectivo riesgo a la salud. Los habitantes de la ciudad de San Francisco de Milagros, según su cosmovisión sobre el impacto de la salud de los contaminantes del aire, infieren que las principales afectaciones o patologías desencadenadas son del árbol respiratorio. Se observa el orden decreciente de importancia por patología, siendo el principal miedo a padecer cáncer de pulmón (92,94%) y las patologías respiratorias 57,14% de las categorías, es decir, 4 de 7 declaradas. Asimismo, a través de la encuesta se determino la apreciación de la población respecto a temas complementarios como las principales fuentes de contaminación atmosférica, el reconocimiento de algunos de los más comunes contaminantes y si se aprecio que han existido medidas municipales frente a esta problemática. Datos indicados en la figura 6 y la figura 7.

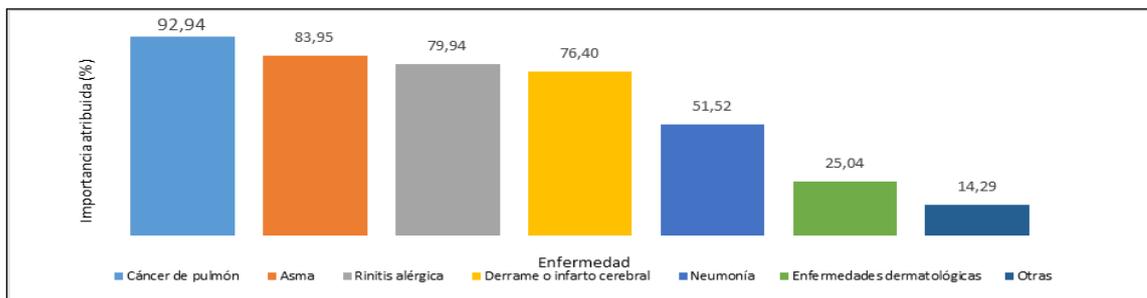


Figura 6. Importancia atribuida por los habitantes al impacto de la calidad del aire sobre la salud

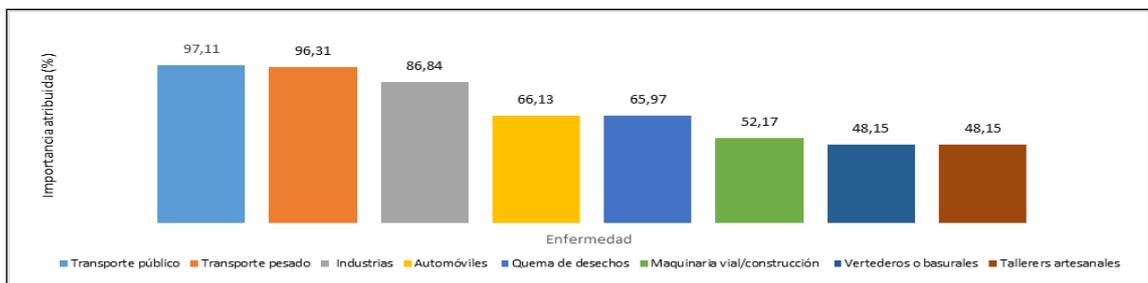


Figura 7. Importancia atribuida por los habitantes a las fuentes de contaminación atmosférica

Discusión

Nos permitimos poner de relieve, que la presente investigación establecio, que la concentración promedio de partículas en las cinco zonas de estudio en la etapa de muestreo, para las PM 2,5 y PM 10 en 24 horas, fue de $15,23 \pm 0,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (para un mínimo de 14,89 y máximo de 15,57) y $33,91 \pm 8,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (para un mínimo de 25,09 y máximo de 42,73) respectivamente. Las medias ponderadas en los puntos de muestreo resultaron ser inferiores a los umbrales establecidos por la OMS, (2005) como nocivos a la salud humana, es decir, este material suspendido en el aire no tiene

efectos en la salud pública. Así también, la concentración promedio más alta fue la de CO con $166,11 \pm 26,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (para un mínimo de 139,84 y máximo de 192,38), seguida de la concentración promedio de NO₂ con $133,80 \pm 27,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (para un mínimo 106,08 y máximo de 161,52), el O₃ arroja una concentración promedio de $69,08 \pm 13,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (para un mínimo de 56,93 y máximo de 83,03), finalmente la concentración promedio de SO₂ se encontró en $15,43 \pm 2,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (para un mínimo de 12,54 y máximo de 18,83), estos resultados muestran que la concentración promedio de estos gases están dentro de los estándares establecidos por la OMS (2005), OMS (2018); para cada uno de ellos y por ende no son dañinos para la salud de la población en estudio. Sin embargo, actividades de desarrollo local como el caso de obras de construcción, estarían causando molestias en la población, debido a la falta de control y regulación ambiental, como lo demostró el estudio de percepciones.

Asimismo, lo señala Ubilla & Yohannessen (2017), la contaminación atmosférica se refiere a la presencia de sustancias nocivas en la atmósfera en concentraciones que podrían llegar a provocar daño, ya sea a la salud de la población o a diferentes ecosistemas. Los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en contaminantes primarios, que son emitidos directamente a la atmósfera, por ejemplo, el monóxido de carbono (CO); o contaminantes secundarios, que se forman en la atmósfera a partir de reacciones químicas de sus precursores, como por ejemplo el ozono (O₃). Las fuentes de emisión de contaminantes se describen como móviles o estacionarias. La principal fuente móvil de contaminación del aire es el transporte por carretera, el cual se refiere a todas las emisiones de tráfico vehicular, independiente del tamaño o la finalidad del vehículo y cuyas emisiones se producen muy cerca de los lugares donde la gente vive, trabaja, pasea y viaja. Las fuentes estacionarias, en cambio, se refieren a instalaciones fijas (industrias) que en sus procesos de producción utilizan la quema de diferentes combustibles. De igual manera lo señaló Montero en el 2020, los contaminantes pueden entrar al sistema respiratorio a diferentes niveles: las partículas gruesas afectan principalmente a las vías respiratorias superiores, mientras que las partículas finas pueden llegar a las vías respiratorias más pequeñas y alvéolos, aunque también se depositan en la nariz.

En lo que respecta a la conducta de la concentración de PM 2,5 (A) y PM 10 (B) en 24 horas, como potencial factor nocivo para la salud, principalmente, las partículas de pequeño tamaño, ya que estas penetran con más facilidad a los pulmones. Se evidenció, en el desarrollo experimental de la investigación, que sus niveles, muestran que las emisiones de estas partículas al aire se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles lo que expresa, que la calidad del aire en el área de estudio es óptima para el desarrollo saludable de la población. En la estimación de las concentraciones de los cocontaminantes gaseosos, el ozono (O₃) $69,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es un gas que está presente de forma natural en la atmósfera, concretamente en la mesosfera donde forma la capa encargada de protegernos de la radiación ultravioleta; sin embargo, en la troposfera, el O₃ es un contaminante del aire, sus niveles varían a lo largo del día y de una zona a otra de la ciudad, debido a que éste desaparece cuando reacciona con otros contaminantes como el óxido nítrico. Esto muestra por qué los niveles de ozono suelen ser menores en zonas urbanas. Por lo antes expuesto, las zonas escolar y comercial, presentaron bajas concentraciones medias en las 8 horas de valoración, sin embargo, la totalidad de las zonas evaluadas tienen umbrales inferiores ($50\text{-}100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a los límites permisibles, establecidos por la OMS (2005). En relación al monóxido de carbono (CO) gas que se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles y biocombustibles como el gas natural, el carbón, la gasolina o el biodiesel, se encontró en las cinco zonas de muestreo dentro de límites permisibles en una hora, máximo una vez al día, que no ocasionan efectos dañinos a la población en estudio, en las mediciones por minutos, todas las valoraciones fueron inferiores, arrojando una media de $166,11 \pm 26,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Encontrándose que las zonas con mayor combustión son la industrial y la hospitalaria.

Cabe considerar, por otra parte, el dióxido de sulfuro, también llamado dióxido de azufre (SO₂), reporto en este estudio una concentración media de $15,43 \pm 2,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es considerado un gas contaminante procedente principalmente de la quema de carbón o aceite en centrales eléctricas, de las industrias papeleras o de la fundición del cobre. Su concentración es especialmente elevada en los alrededores de las centrales térmicas de carbón, siendo uno de los gases contaminantes causantes de la lluvia ácida, sin embargo, en este estudio las medias estuvieron dentro de los rangos considerados inocuos para la salud de la población en estudio. Ahora bien, en lo referente al comportamiento de los valores de las concentraciones en una hora del dióxido de nitrógeno (NO₂), con una concentración promedio de $133,80 \pm 27,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es un compuesto químico formado por nitrógeno y oxígeno, producto del tráfico vehicular y de los procesos de quema de combustibles fósiles, es uno de los gases más contaminantes y su presencia en el aire se contribuye a su vez a la formación de otros contaminantes atmosféricos, así como a la aparición de problemas medioambientales como la lluvia ácida.

Investigaciones relacionadas con el material particulado se han realizado en todo el mundo. En Italia (Perrone *et al.*, 2005), España (Viana *et al.*, 2006), Beijing (Wu *et al.*, 2008), Suecia (Sternbeck *et al.*, 2002), China (Zhang *et al.*, 2006) y Estados Unidos (Wilhelm, 2009), entre otras. En ellas demuestran la presencia de MP en la atmósfera por causas naturales y antropogénicas, manifestando además la necesidad de adelantar estudios detallados relacionados con los efectos causados por la presencia de este contaminante, con el fin de implementar estrategias para el control del mismo. En Colombia los estudios adelantados sobre este contaminante, han sido desarrollados en las principales ciudades del país como lo describen las siguientes experiencias: En la ciudad de Santiago de Cali se evidenció, por

medio de modelos estadísticos, que durante el periodo marzo-diciembre de 2000, se presentaron varios casos en que la norma local para el área en estudio fue superada. Esta norma local de índice de la calidad del aire, fue calculada de la misma forma en que se calcula la norma local para Cali, con datos registrados dentro del área de estudio, con el objetivo de que fuera específica para la zona de influencia (Botero & Olaya, 2004).

Estudios realizados, en el Valle de Aburrá, en relación con partículas en suspensión total (PST), arrojaron que el nivel de contaminación está aumentando en los últimos años y los niveles superan los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, muy por encima de los niveles de precaución para la salud, definidos por la Organización Mundial de la Salud –OMS– (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Si se considera el material particulado respirable (PM10), el diagnóstico se confirma en su tendencia ascendente con niveles muy altos (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) con respecto al umbral de precaución fijado por la Organización Mundial Salud (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) para niveles de exposición crónica (Bedoya *et al.*, 2009). En la ciudad de Medellín se realizaron diferentes mediciones con el fin de determinar las concentraciones de fondo de material particulado y sus variaciones, temporal y espacial. Otras mediciones estuvieron encaminadas a caracterizar física y químicamente el material particulado recolectado. Obteniendo como resultado la variación temporal y espacial de las concentraciones de metales, con valores representativos para el caso de metales como el calcio, hierro y magnesio en las muestras del material colectado (Echeverri, 2000).

En el estudio realizado por Villacis, (2015), demostraron que las concentraciones determinadas en las estaciones ubicadas en la zona urbana demuestran que cada uno de estos sectores presenta características distintas; los resultados de las estaciones de Huachi Chico y Pishilata son representativos de las actividades y movimiento que se desarrollan en dichos lugares; mientras la estación San Francisco especialmente en lo que respecta al dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre parece no tener relación directa con las características del área, presentando los valores más bajos de estos contaminantes con relación a las otras dos estaciones, esto a pesar de ser un área céntrica, lo que se atribuye probablemente a condiciones meteorológicas. Tunja y Salazar en el 2017, realizaron el diagnóstico preliminar para la calidad del aire en la ciudad de San Francisco de Milagro y su incidencia en la población con la base y la recopilación de datos sobre la contaminación y los distintos agentes contaminantes el sector más contaminante y de mayor influencia es el parque automotor debido a que no ha existido un control y una debida planificación.

Conviene destacar, que se demanda la firme intervención política al aplicar procedimientos ambientales, generando un monitoreo de la calidad del aire en los sectores, más afectados con los agentes contaminantes. Ejecutar campañas de difusión sobre los efectos nocivos que tiene la contaminación del aire en la salud y en la economía, considerando estos impactos dentro de los programas, y presentar una respuesta inmediata lo cual será un desafío fundamental en el transcurso de los próximos años. Las instituciones ambientales deben ser los encargados de abordar políticas ambientales dentro de los ámbitos del sector productivo, de servicios y direccionar a los organismos seccionales en las distintas políticas y así remediar la problemática del aire, brindando ayuda técnica y apoyo financiero.

Conflicto de Intereses

Ninguno por declarar.

Agradecimiento

Primeramente, a Dios y la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, por el apoyo financiero y técnico en la realización del proyecto de investigación titulado

Referencias

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA. (2020). AP 42. Recopilación de factores de emisiones atmosféricas. Disponible en: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>. (Acceso noviembre 2020).
- Bedoya J. & Martínez, E. (2009). Calidad del aire en el valle de aburrá Antioquia –Colombia., Dyna, Vol. 76, Núm. 158, pp. 7-15. Universidad Nacional de Colombia.
- Botero S., Tróchez A. & Olaya J. (2004). Contaminación por Partículas Suspendidas Totales en las comunas 6 y 7 de Cali, Colombia. Un modelo estadístico para la evaluación de la calidad del aire. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 1(2): 17-21.
- CENMA. (2003). Elaboración de Reglamentos y Protocolos de Procedimientos para el Aseguramiento de la Calidad del Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos. Santiago de Chile. 98 P.
- Choudhary M. & Garg V. (2013). Causes, Consequences and Control of Air Pollution. All India Seminar on Methodologies for Air Pollution Control, held at MNIT.

- Echeverri C. (2000). Determinación de las concentraciones de fondo de material particulado en suspensión en la ciudad de Medellín. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. 20:7-19.
- European Environment Agency EEA. (2018). Air pollution: how it affects our health. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution>. (Acceso octubre 2020).
- Félix-Félix-Arellano E.E., Schilman A., Hurtado-Díaz M., Texcalac-Sangrado J.L., & Riojas-Rodríguez H. (2020). Revisión rápida: contaminación del aire y morbilidad por Covid-19 [Quick review: air pollution and morbidity by Covid-19.]. *Salud pública de México*, 62(5), 582–589. <https://doi.org/10.21149/11481>.
- Ghorani A., Riahi B. & Balali M. (2016). Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. *J Res Med Sci*. 1;21-65. <https://doi.org/10.4103/1735-1995.189646>.
- Health Effects Institute HEI. (2020). State of Global Air 2020. Special Report. Boston, MA: Health Effects Institute.
- Hernández L. (s.f.). *Calidad del Aire*. Llanera - Asturias, España: Envira.
- Hu W., Downward G., Wong J. Reiss B., Rothman N., Portengen L., Li J., Jones R.R., Huang Y., Yang K., Chen Y., Xu J., He J., Bassig B., Seow W.J., Dean Hosgood H., Zhang L., Wu G., Wei F., Vermeulen R. & Lan Q. (2020). Characterization of outdoor air pollution from solid fuel combustion in Xuanwei and Fuyuan, a rural region of China. *Sci Rep*. 10: 1335. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68229-2>.
- Landrigan P. (2016). Air pollution and health. 2,(11): E4-E5, [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(16\)30023-8](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(16)30023-8).
- Li M. & Mallat L. (2018). Health impacts of air pollution. *Scor Paper N°42*. Disponible en: https://www.scor.com/sites/default/files/sp42-air_pollution.pdf. (Acceso octubre 2020).
- Mateos E. (2016). Emisiones a la atmósfera por consumo de combustóleo y por cambio a gas natural en una central termoeléctrica de interés. UNAM. México.
- Ministerio del Ambiente. (2010). Plan nacional de la calidad de aire. Quito.
- Montero I., Vinuesa M. & Castillo G. (2020). Alteraciones respiratorias y contaminación ambiental en Ribora, Ecuador. *Correo Científico Médico (CCM)*; 24(1).
- NZ. (2009). Good-practices guide for air quality monitoring and data management. December 2000. Published by the Ministry for the Environment of New Zealand, ISBN 0-478-24005-2. 105 P.
- OMS. (2018). Calidad del aire y salud. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-outdoor-air-quality-and-health>. (Acceso octubre 2020).
- OMS-CEPIS. (2004). Guías para la Calidad del Aire. Ginebra, Suiza, 236 P.
- OPS. (2016). Calidad del aire y salud. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>. (Acceso octubre 2020).
- Organización Mundial de la Salud OMS. (2021). Contaminación ambiental del aire. Disponible en: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/ambientairpollution#:~:text=Ambient%20air%20pollution%20accounts%20for,quality%20levels%20exceed%20WHO%20limits>. (Acceso octubre 2020).
- Organización Panamericana de la Salud OPS & Organización Mundial de la Salud OMS. (2016). Calidad del aire. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>. (Acceso octubre 2020).
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). Curso de autoinstrucción: Orientación para el control de la contaminación del aire. Disponible en; http://www.bvsde.paho.org/cursoa_orientacion. (Acceso octubre 2020).
- Perrone M., Turnone A., Buccolieri A. & Buccolieri G. (2005). Particulate matter characterization at a coastal site in south-eastern Italy. *Journal of Environmental Monitoring*. <https://doi.org/10.1039/b513306h>.
- Pozzer A, Dominici F, Haines A, Witt C, Münzel T, Lelieveld J. (2020). Regional and global contributions of air pollution to risk of death from COVID-19, *Cardiovascular Research*, Volume 116, Issue 14, Pages 2247–2253, <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa288>.
- Reboratti, C. (2000). *Ambientes y sociedad*. Buenos Aires: Ariel.
- Senplades. (2013). Plan nacional de desarrollo: Plan Nacional para el buen vivir 2013 - 2017. Quito.

- Sternbeck J., Sjödin A. & Andréasson K. (2002). Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension- results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment*. 36:4735-4744.
- Tuija J. & Rosado K. (2017). Diagnostico preliminar de la calidad de aire en la ciudad de san francisco de milagro y su incidencia en la población. Trabajo de titulación de grado previo a la obtención del titulo de ingeniero industrial. Universidad Estatal de Milagro, Facultad de ciencias de la Ingenieria. Milagro-Ecuador.
- Ubilla C. & Yohannessen K. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Rev Méd Clín Las Condes*. 28(1): 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2016.12.003>.
- US-EPA. (2008). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Ambient Air Quality Monitoring Program. U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division. Research Triangle Park, NC, USA. Report No.: EPA-454/B-08-003.
- Viana M., Querol X. & Alastuey A. (2006). Chemical characterisation of PM episodes in NE Spain. *Chemosphere*. 62:947-956.
- Villacis M. (2015). Valoración de la campaña de monitoreo pasivo de gases en la ciudad de Ambato para el diseño de la calidad del aire de la ciudad 2013-2014. Para la obtención del titulo de Master en gestión ambiental en la industria. Universidad internacional de Sek. Facultad de Ciencias ambientales. Quito-Ecuador.
- Wilhelm M., Qianc M. & Ritz B. (2009). Outdoor air pollution, family and neighborhood environment, and asthma in LAFANS children. *Health & Place*. 15:25-36.
- Williams M. (2016). What causes air pollution. Disponible en: <https://phys.org/news/2016-04-air-pollution.html>. (Acceso febrero 2021).
- Wu Z., Hu M., Lin P., Liu S., Wehner B. & Alfred Wiedensohler A. (2008). Particle number sizedistribution in the urban atmosphere of Beijing, China. *Atmospheric Environment*. 42:7967–7980.
- Zhang W., Sun Y., Zhuang G. & Xu D. (2006). Characteristics and Seasonal Variations of PM2.5, PM10, and TSP Aerosol in Beijing. *Biomedical and Environmental Sciences*. 19:461-468.
- Zhong M., Saikawa E., Avramov A., Chen C., Sun B., Ye W., Keene W.C., Yokelson R. J., Jayarathne T., Stone E.A., Rupakheti M. & Panday A.K. (2019). Nepal Ambient Monitoring and Source Testing Experiment (NAMaSTE): emissions of particulate matter and sulfur dioxide from vehicles and brick kilns and their impacts on air quality in the Kathmandu Valley, Nepal, *Atmos. Chem. Phys.* 19:8209–8228. <https://doi.org/10.5194/acp-19-8209-2019>.