

Impacto del uso de generadores durante la crisis energética en el centro histórico de Cuenca-Ecuador

Ana Lucía Astudillo Alemán, Lorena Hortencia González Espinoza,
Mónica Alexandra Narváez Vera, Diana Lucía Moscoso Vanegas*

Centro de Estudios Ambientales (Grupo CATOx-CEA), Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Facultad de Ciencias Químicas, University of Cuenca, Cuenca, Ecuador

(*) diana.moscoso@ucuenca.edu.ec

Resumen

Durante la crisis energética en Ecuador se recurrió al uso de generadores de combustión interna en el centro histórico de Cuenca, posiblemente impactando la calidad del aire y el ruido urbano. En este estudio se evaluó la calidad del aire y el nivel de presión sonora durante esa época. Para ello se determinaron las concentraciones de partículas PM_{10} , $PM_{2,5}$ y gases NO_2 , O_3 , SO_2 y CO en once puntos, mediante una estación Cairnet y un sonómetro integrador marca TESTO-135, registrándose además el flujo vehicular. Los resultados mostraron concentraciones de $PM_{2,5}$ y PM_{10} superiores a los límites de la OMS, registrándose los máximos en el punto 2 con $50,91 \text{ ug/m}^3$ y $72,7 \text{ ug/m}^3$, respectivamente. Los niveles de ruido oscilaron entre 72,37 y 85,91 dB (A), superando los 50 dB (A) establecidos en la ordenanza municipal. De esta manera, se determinó que el uso de generadores de combustión interna y el elevado tráfico vehicular durante la crisis energética en el centro histórico de Cuenca contribuyó al deterioro de la calidad del aire y aumentó la contaminación sónica, evidenciándose la necesidad de implementar regulaciones para el control y monitoreo continuo durante el uso de este tipo de equipos.

Palabras clave: aire; contaminación; generadores de combustión interna; ruido.

Abstract

Impact of generator use during the energy crisis in the historic center of Cuenca, Ecuador. During the energy crisis in Ecuador, the historic center of Cuenca resorted to the use of internal combustion generators, possibly impacting the quality of the air and the urban street. In this study the quality of the air and the level of sound pressure were evaluated during this period. The concentrations of particles PM_{10} , $PM_{2,5}$ and gases NO_2 , O_3 , SO_2 and CO were determined at once points, using a Cairnet station and an integrated sound meter brand TESTO-135, also recording the vehicular flow. The results showed concentrations of $PM_{2,5}$ and PM_{10} higher than the WHO limits, recording the maximum in point 2 with $50,91 \text{ ug/m}^3$ and $72,7 \text{ ug/m}^3$, respectively. The noise levels oscillated between 72,37 and 85,91 dB (A), exceeding the 50dB (A) established by municipal ordinance. In this way, it was determined that the use of internal combustion generators and the high vehicular traffic during the energy crisis in the historic center of Cuenca contributed to the deterioration of air quality and increased sonic contamination, highlighting the need to implement regulations for continuous control and monitoring during the use of this type of equipment.

Keywords: Air; Pollution; Internal combustion generators, Noise.

Introducción

Recientemente, Sudamérica ha registrado una de las sequías más severas, lo que ha derivado en una reducción crítica del caudal de los cuerpos de agua. Este fenómeno ha comprometido la generación hidroeléctrica, principal matriz energética del Ecuador (Campozano et al., 2020; Carvajal y Li, 2019; Oxford Analytica, 2024), lo que ha provocado interrupciones en el suministro eléctrico, con cortes de energía registrados durante 2023 y 2024 (Zalakeviciute et al., 2024; Zalakeviciute et al., 2025).

Como respuesta a esta crisis energética, la mayoría de las actividades del sector urbano han recurrido al uso de generadores alimentados con combustibles fósiles como método alternativo para suplir la demanda energética (Al-Hallak et al., 2024; Jack y & Jack, 2022; Terrapon et al., 2020). Esta solución temporal, aunque necesaria ante la inestabilidad del sistema eléctrico, ha

traído consigo impactos ambientales, entre ellos aumento en las concentraciones de contaminantes atmosféricos como dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO) y material particulado (Farquharson et al., 2018; Husain, 2024; Vallejo et al., 2025), así como un incremento significativo en los niveles de presión sonora urbana (Giwa et al., 2019; Nwabueze et al., 2024).

Estos impactos suelen atribuirse a factores vinculados al aumento del flujo vehicular, alta densidad poblacional y ausencia de circulación de aire (World Bank & IHME, 2016), y derivan en daños negativos en el sistema respiratorio, cardiovascular y neurológico (Carvajal y Li, 2019; Casey et al., 2020; Oguntoké y Adeyemi, 2017). Asimismo, el ruido constante producido por generadores incrementa los niveles de intensidad sonora, superando ampliamente los estándares recomendados, favoreciendo la aparición de problemas de sueño, tensión persistente

y una merma en las capacidades mentales (Giwa et al., 2021; Karki et al., 2024; Mohammed y Rabeea, 2021).

A pesar de la creciente dependencia de los generadores como medida de urgencia, son pocas las investigaciones que miden sus efectos sobre el entorno en las ciudades latinoamericanas. Esto resulta particularmente cierto en áreas de valor cultural, como los cascos antiguos. Es fundamental estudiar estas consecuencias no sólo para entender los peligros relacionados con la atmósfera y el ruido, sino también para fundamentar decisiones de gobierno que aseguren un abastecimiento de energía firme y en armonía con la naturaleza. En este marco, la investigación busca examinar las repercusiones en el medioambiente del uso de plantas eléctricas durante la crisis de suministro de 2024 en el casco histórico de Cuenca, la tercera ciudad andina más poblada de Ecuador, con una elevada fragilidad tanto social como ambiental.

A diferencia de investigaciones anteriores donde el objetivo principal fue evaluar el impacto de la circulación vehicular sobre los niveles de presión sonora y la contaminación por gases al

aire ambiente, el presente estudio examina la influencia conjunta del empleo masivo de generadores eléctricos y el desplazamiento en las ciudades dentro de un marco de escasez de energía reciente.

Parte experimental

Área de estudio

La zona de estudio corresponde al centro histórico del cantón Cuenca, en la provincia del Azuay, al sur del Ecuador (figura 1).

Puntos de monitoreo

La selección de los puntos de monitoreo se estableció en función de la programación de los racionamientos eléctricos oficiales, asegurando una cobertura espacial representativa del centro histórico de Cuenca. El monitoreo se realizó los días 19 y 20 de noviembre de 2024, en los horarios que se detallan en la tabla 1, así como las respectivas coordenadas de los 11 puntos de estudio.

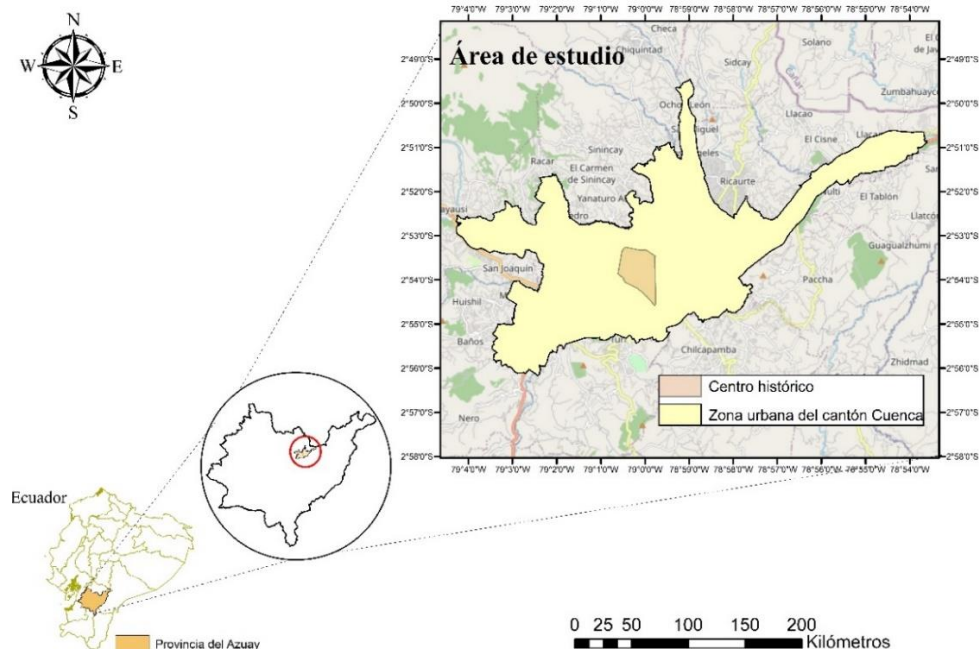


Fig. 1. Área de estudio.

Tabla 1. Localización de los sitios de medición.

Punto	Dirección	Horario	Coordenadas	
			X	Y
P1	Mariscal Sucre y Tarqui	07:45 – 08:15	717898,23	9681176,22
P2	Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres	08:28 – 08:58	719844,4	9681265,02
P3	Padre Aguirre entre Simón Bolívar y Sucre	09:05 – 09:35	721821,22	9681200,13
P4	Padre Aguirre y Simón Bolívar	09:42 – 10:12	720006,00	9680370,00
P5	Simón Bolívar entre Benigno Malo y Padre Aguirre	10:16 – 10:46	718338,00	9680312,00
P6	Simón Bolívar entre Benigno Malo y Luis Cordero	10:49 – 11:19	725497,12	9681193,63
P7	Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar	11:19 – 11:49	727690,29	9681158,98
P8	Gran Colombia entre Benigno Malo y Padre Aguirre	15:18 – 15:48	723642,52	9680521,02
P9	Padre Aguirre y Gran Colombia	15:51 – 16:21	72167,00	9680122,00
P10	Gran Colombia entre Benigno Malo y Luis Cordero	16:30 – 17:00	717986,54	9678656,89
P11	Presidente Borrero entre Mariscal Sucre y Simón Bolívar	17:09 – 17:39	717984,94	9677735,24

Recolección de datos

Las concentraciones de contaminantes como material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO), se determinaron mediante un monitoreo continuo de 30 minutos para cada punto. Para la recolección de datos se utilizó una estación portátil Cairmet, equipada con sensores electroquímicos y ópticos en miniatura Cairsens, diseñados para la medición en tiempo real de múltiples parámetros de calidad del aire. La descarga, visualización y gestión de los datos se realizó a través de la plataforma en línea Caircloud.

Durante las mediciones, se realizó un conteo vehicular, clasificándolos en tres categorías: vehículos pesados, livianos y motocicletas para obtener la densidad vehicular en cada punto de monitoreo. Por otra parte, para la determinación de los niveles de presión sonora se empleó un Sonómetro Integrador Marca TESTO 1358, y se aplicó la metodología establecida en el Anexo V del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente.

Procesamiento de datos

Para estimar la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos y la densidad vehicular en el área de estudio, se aplicó el método de interpolación Inverse Distance Weighting (IDW) mediante el software ArcGIS 10.5.

Resultados y discusión

Densidad vehicular

El conteo de vehículos efectuado en cada uno de los puntos de monitoreo logró identificar la distribución de la circulación en el área céntrica de Cuenca, tabla 2. Se evidenció un predominio de automóviles ligeros respecto al transporte pesado y las motos.

Además, el 45 % de los puntos de estudio, registran una circulación vehicular superior a 170 vehículos livianos durante los 30 minutos de medición. El punto 4 correspondiente a la calle Padre Aguirre y Simón Bolívar muestra el máximo de

circulación con un total de 245 vehículos livianos, sin embargo, el sitio con menor circulación es la calle Padre Aguirre entre Simón Bolívar y Sucre con 28 vehículos livianos. Para el caso de los vehículos pesados el sitio con mayor flujo se localizó en el punto 1 correspondiente a la calle Mariscal Sucre y Tarqui, con 14 vehículos, la cual se caracteriza por ser una de las principales rutas de conectividad entre los sectores del sur y norte de la Ciudad, atravesando este punto el 22 % de las líneas de transporte urbano. Para el caso de las motocicletas el sitio con mayor flujo fue la calle Presidente Borrero entre Mariscal Sucre y Simón Bolívar con un total de 80.

Es importante destacar que el horario en el que se registró el flujo vehicular, tabla 2; estuvo condicionado por el horario de planificación de los cortes de energía, a pesar de ello se pudo evidenciar que el centro de la ciudad resultó ser un indicador de su uso como núcleo de comercio, administración y turismo

Niveles de ruido

Pese a que la normativa para zonas comerciales establece un umbral diurno de 60 dB (A), todos los puntos excedieron el límite de manera significativa, alcanzando niveles superiores a los 85 dB (A) en sectores críticos como el punto 7 (Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar) y el punto 9 (Padre Aguirre y Gran Colombia), donde se registraron niveles de 85,99 y 85,95 dB (A) respectivamente (figura 3). Estos resultados coinciden con lo reportado por Tacuri et al. (2016), quienes documentaron niveles de presión sonora entre 75 y 80 dB (A) en la calle Mariscal Lamar, también en el centro histórico de Cuenca, atribuidos principalmente al tráfico vehicular. Concordando con Barcos et al. (2022), quienes encontraron que los niveles de ruido asociados al uso de generadores eléctricos en zonas comerciales, como las avenidas Quito y 9 de Octubre en Guayaquil, superan de forma constante el umbral permitido según la normativa ecuatoriana, generando riesgos para la salud pública, como trastornos auditivos, del sueño y cardiovasculares.

De manera similar, en otros contextos con suministro eléctrico deficiente, como Nigeria, se ha documentado el impacto acústico asociado al uso de generadores de diésel, con niveles de ruido que oscilan entre 72,6 y 115,6 dB (A), superando ampliamente los límites recomendados y representando un problema ambiental y de salud pública. Además, el uso intensivo de generadores a gasolina en ese país generó niveles de entre 60,2 y 91,8 dB (A), los cuales aumentan con la antigüedad y capacidad del equipo, lo que refuerza su rol como fuente relevante de contaminación acústica (Nwabueze et al., 2024).

En conjunto, estos hallazgos subrayan la necesidad de establecer medidas de control y regulación del uso de generadores eléctricos en entornos urbanos densamente poblados, especialmente en zonas comerciales, donde su impacto acumulativo compromete tanto la salud pública como la calidad

Tabla 2. Conteo vehicular.

Ubicación	Conteo vehicular		
	Livianos	Pesados (buses y camiones)	Motos
P1	179	14	55
P2	193	1	49
P3	28	0	8
P4	245	2	23
P5	141	0	20
P6	175	1	19
P7	120	0	12
P8	132	2	11
P9	98	3	10
P10	122	0	24
P11	175	0	81

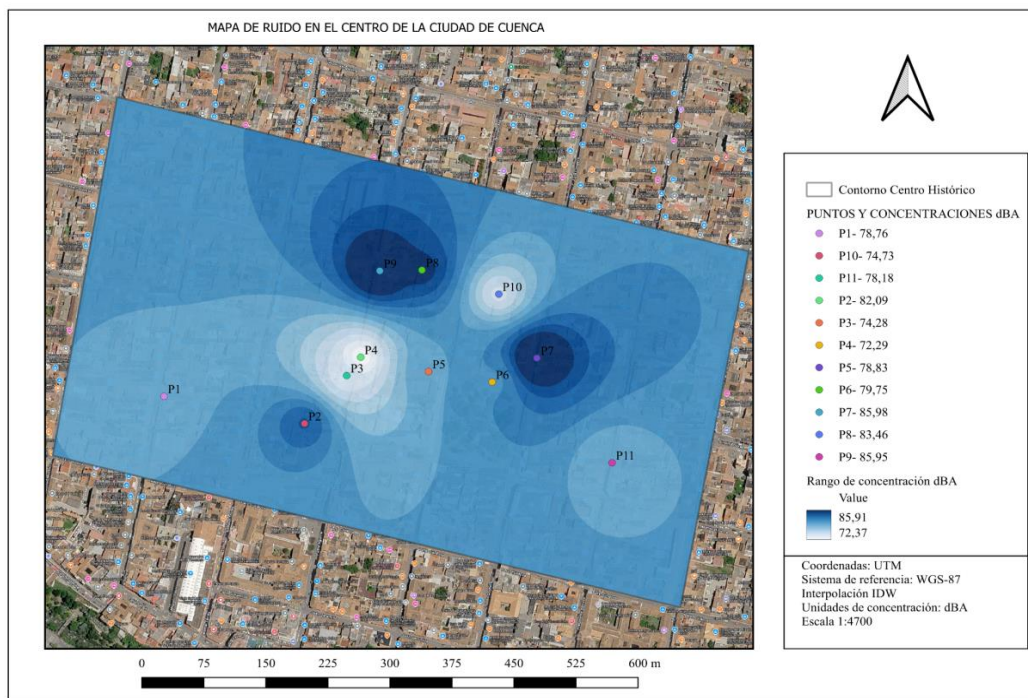


Fig. 3: Niveles de ruido en el centro histórico del cantón Cuenca.

ambiental. Así, los generadores deben considerarse una fuente relevante de contaminación acústica, cuyas repercusiones afectan no solo al bienestar de la población, sino también a la habitabilidad y funcionalidad de los espacios urbanos (Mohammed y Rabeea, 2021; Azodo et al., 2018).

Material particulado

PM_{2,5}

El 9 % de los sitios de estudio excedieron el límite máximo permisible establecido en el Anexo IV del Libro VI del TULSMA, sin embargo, el 81 % de los sitios superaron el límite dado por la OMS, registrándose una concentración máxima de 50,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto 2 MSPG (Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres). Diversos estudios han demostrado que el material particulado no solo compromete la salud respiratoria, sino también representa un riesgo para la salud cerebral, al estar vinculado con deterioro cognitivo, alteraciones conductuales y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (Austin et al., 2019; Cacciottolo et al., 2017). En el contexto del centro histórico de Cuenca, las características urbanas, como la estrechez de las calles, la escasa ventilación, pueden intensificar la acumulación de contaminantes debido al llamado “efecto cañón urbano” (World Bank & IHME, 2016). Otras investigaciones reportaron concentraciones para PM_{2,5} de hasta 4,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en esta zona céntrica, atribuyendo estos niveles a la configuración arquitectónica de callejones angostos con limitada circulación de aire (García et al., 2018). Estos resultados coinciden con lo reportado en un estudio realizado en Quito, donde se observó una alta variabilidad espacial de PM_{2,5} con concentraciones que superan los 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en todos los distritos de la ciudad. Si bien durante el confinamiento de 2020 se registraron reducciones atribuibles a la disminución de la actividad local, los niveles

volvieron a incrementarse en 2024, en paralelo con los apagones prolongados (Zalakeviciute et al., 2025). Sin embargo, otra investigación reporta concentraciones similares al estudio en el centro histórico de la ciudad, durante un monitoreo continuo de 24 horas (Narváez et al., 2020).

Según la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (Libro VI, Anexo IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente) el promedio aritmético de monitoreo continuo de PM_{2,5} durante 24 horas, no deberá exceder de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda no superar los 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio diario. En este estudio, los puntos de monitoreo ubicados en Mariscal Sucre y Tarqui, así como en Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres, registraron concentraciones que, pese al corto periodo de muestreo (30 minutos), ya superan el valor recomendado por la OMS (figura 3(a)). Llama la atención el aumento significativo de este contaminante respecto al reportado en estudios previos a la crisis energética, lo cual sugiere que el uso intensivo de generadores a diésel ha contribuido al incremento de partículas finas (PM_{2,5}) las cuales están asociadas con un mayor riesgo de cáncer. En este contexto es imperante la necesidad de implementar estrategias energéticas sostenibles, especialmente en contextos urbanos de países de ingresos bajos y medios (Al-Hallak et al., 2024).

PM₁₀

De acuerdo con la normativa ecuatoriana de calidad del aire ambiente, la concentración promedio de PM₁₀, obtenido mediante monitoreo continuo durante un periodo de 24 horas, no debe superar los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece como límite 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24 horas. En este estudio, el comportamiento del PM₁₀

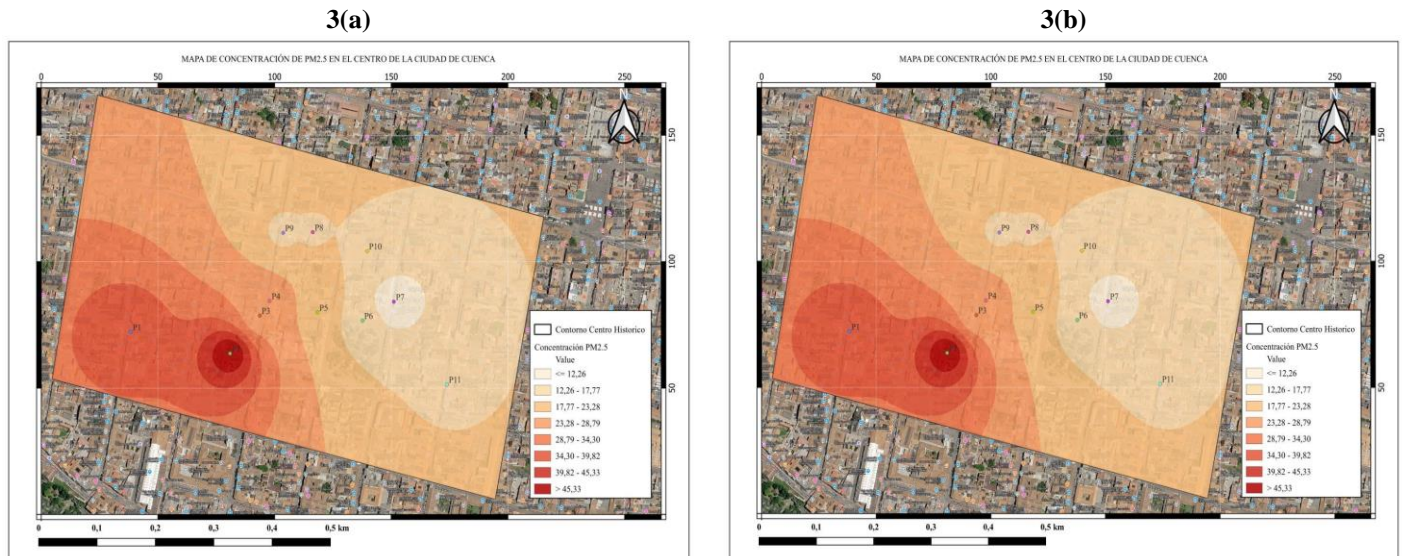


Fig. 3: Distribución de PM: (a) 2.5, (b) 10

refleja una tendencia similar a la observada en el $PM_{2.5}$, registrando las mayores concentraciones los puntos 1 y 2. Estos hallazgos coinciden con reportes en otras ciudades ecuatorianas como Quito, donde se observaron incrementos significativos en los niveles de PM_{10} durante los apagones de 2023 y 2024¹¹. De manera similar, en contextos internacionales como Santiago de Chile y Nueva Delhi, las crisis energéticas han derivado en concentraciones elevadas de material particulado, asociadas al uso intensivo de generadores eléctricos y al tráfico vehicular (Anderson et al., 2017).

Las concentraciones registradas para PM_{10} en el centro de la ciudad de Cuenca oscilaron entre $10,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $72,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 3(b)). Otra investigación reporta en el centro histórico concentraciones de $93,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para un monitoreo continuo de 24 horas (Astudillo et al., 2015), cabe resaltar que estas concentraciones no son directamente comparables por el tiempo de monitoreo.

Distribución de CO , NO_2 , SO_2 y O_3

La distribución de concentraciones de monóxido de carbono (CO) en el centro histórico, se presenta en la figura 4(a). Las mayores concentraciones se observan en los puntos: 2 (Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres) con $22912,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, punto 3 (Padre Aguirre entre Simón Bolívar y Sucre) con $15713,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$, punto 7 (Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar) con $21962,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, punto 8 (Gran Colombia entre Benigno Malo y Padre Aguirre) con $22197,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y punto 9 (Padre Aguirre y Gran Colombia) con $15821,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De acuerdo con el Anexo IV del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, la concentración máxima permisible de CO en un intervalo de una hora es de $30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No obstante, dado que el presente monitoreo se realizó durante un periodo de 30 minutos, los resultados no son directamente comparables con dicho um-

bral normativo, aunque permiten identificar puntos críticos y establecer una referencia preliminar sobre la calidad del aire en la zona durante el funcionamiento de los generadores.

El empleo del uso de generadores a diésel durante los cortes de energía eléctrica incrementó las emisiones atmosféricas a nivel global, debido a su baja eficiencia (Farquharson et al., 2018; Shakya et al., 2022). Adicionalmente, diversos estudios han señalado que el empleo de generadores a carbón y gasolina en espacios interiores representa un riesgo significativo de intoxicación por monóxido de carbono (CO). Los efectos más comunes incluyen dolor de cabeza, náuseas, vómitos, mareos, pérdida de consciencia e incluso la muerte (Casey et al., 2020; Johnson-Arbor et al., 2014).

Por otro lado, para el dióxido de nitrógeno (NO_2), en la figura 4(b) se muestran los puntos que registran las mayores concentraciones, entre ellos el punto 5 (Simón Bolívar entre Benigno Malo y Padre Aguirre) con $89,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, punto 6 (Simón Bolívar entre Benigno Malo y Luis Cordero) con $68,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y punto 7 (Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar) con $63,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En la normativa se establece que la concentración máxima en 1 hora no deberá exceder los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, si bien la comparación directa con la normativa es limitada por la duración del monitoreo, los niveles registrados evidencian una tendencia preocupante en ciertos sectores. Estudios previos realizados en 2018 en el centro histórico de Cuenca reportaron una distribución espacial de NO_2 con patrones de anillos concéntricos, registrando concentraciones (Cobos et al., 2019) entre $24,11$ y $29,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En contraste, los resultados del presente estudio evidencian un incremento significativo en los niveles de NO_2 , lo cual puede atribuirse al impacto de los cortes de energía y al uso generalizado de generadores como fuente alternativa de electricidad en la zona.

La evidencia disponible para el contexto ecuatoriano indica que, durante la crisis hidroeléctrica inducida por condiciones

climáticas en la primavera de 2024, el uso extendido de generadores de emergencia contribuyó significativamente al incremento de contaminantes atmosféricos como CO, NO₂ y SO₂, particularmente en zonas urbanas como Quito (Zalakeviciute et al., 2024). Asimismo, se destaca que el uso intensivo de generadores en mercados, comercios y actividades informales, sumado al tráfico vehicular constante, contribuye al aumento de las concentraciones de NO₂, consolidándose como uno de los contaminantes más relevantes en estos entornos (Vallejo et al., 2025).

En relación con el dióxido de azufre (SO₂), el Anexo IV del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente establece un límite máximo de 500 µg/m³ para periodos de 10 minutos. Si bien el monitoreo realizado corresponde a intervalos de 30 minutos, lo que impide una comparación directa con dicho umbral, los valores registrados permiten identificar áreas con mayor carga contaminante. En general, se registraron concentraciones elevadas en la mayoría de los puntos de monitoreo, destacándose los puntos 2 (Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres), 3 (Padre Aguirre entre Simón Bolívar y Sucre), 4 (Padre Aguirre y Simón Bolívar) y 7 (Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar) con 2620,44 µg/m³ (figura 4c). Estos valores sugieren una alta carga de SO₂ en sectores específicos del centro histórico, posi-

blemente vinculada al uso intensivo de generadores a diésel durante los cortes de energía. Estas concentraciones podrían estar relacionadas con el uso de generadores que funcionan con diésel de baja calidad, una práctica común en varios países de América Latina, especialmente en contextos de crisis energética dado que la combustión de combustibles fósiles con alto contenido de azufre es una de las principales fuentes de emisión de SO₂ (Azevedo y Olsen, 2018; Zhong et al., 2020).

Estudios realizados en Quito, Ecuador, muestran que los niveles de SO₂ tienden a incrementarse durante los periodos de crisis eléctrica, como los ocurridos entre abril de 2024 y los meses de octubre a diciembre de 2023 y 2024. Además, se ha observado que los picos matutinos habituales de concentración de SO₂ se desplazan hacia horas más tardías durante los apagones programados, lo que sugiere una alteración en los patrones de uso de energía y movilidad (Zalakeviciute et al., 2025).

Finalmente, la figura 4(d) muestra la distribución del ozono (O₃), destacándose los puntos 8 (Gran Colombia entre Benigno Malo y Padre Aguirre) con 25,14 µg/m³ y 9 (Padre Aguirre y Gran Colombia) con 24,19 µg/m³ como los de mayor concentración. La presencia de O₃ está estrechamente relacionada con los niveles de dióxido de nitrógeno (NO₂), ya que durante la crisis hidroeléctrica de 2023/2024, el incremento de NO₂ puede haber reducido las concentraciones de O₃ a través del llamado

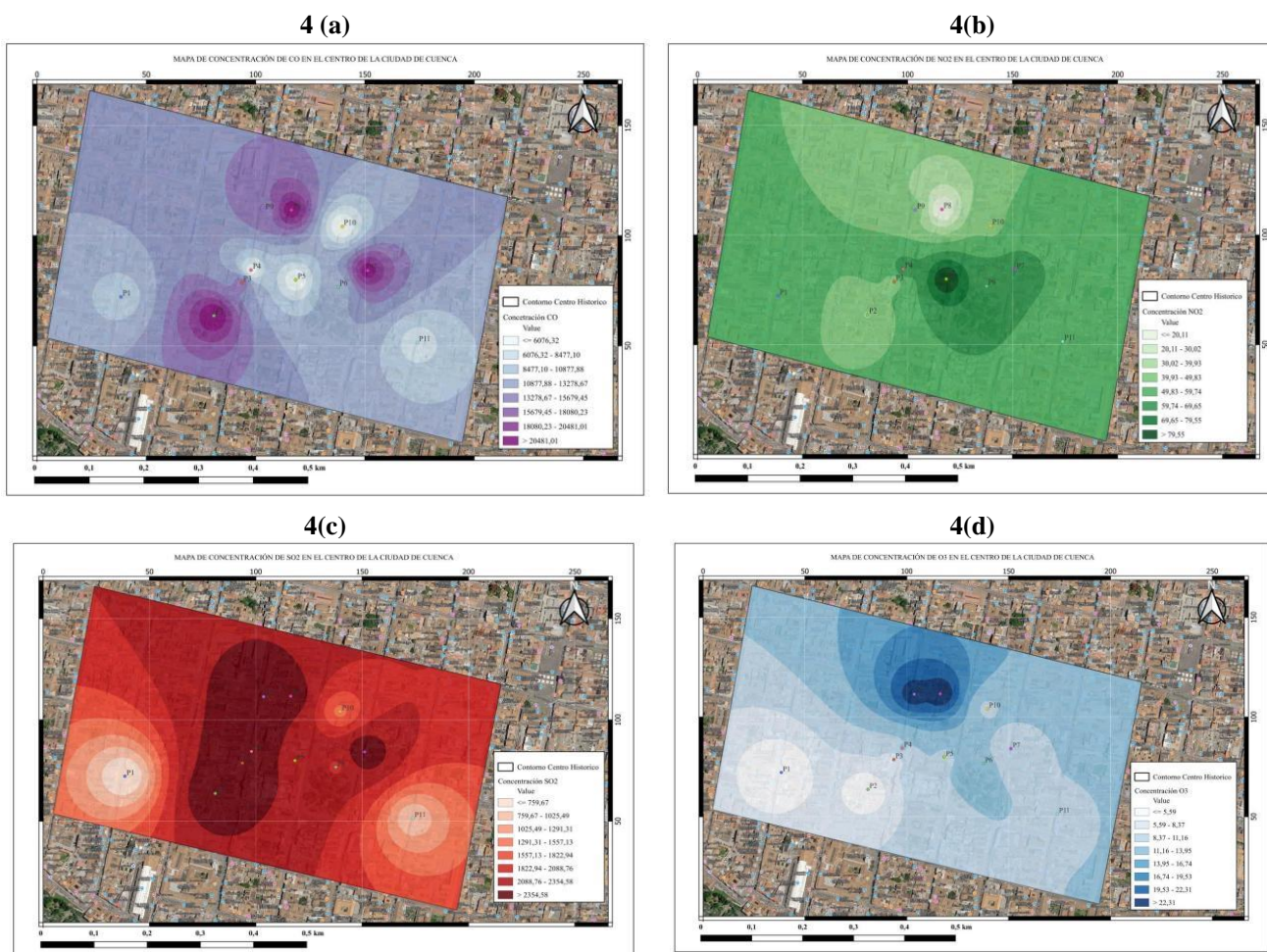


Fig. 4: Distribución de: a) CO, b) NO₂, c) SO₂, d) O₃.

“efecto de titulación”, donde el óxido nítrico (NO) reacciona con el ozono y lo neutraliza (Zalakeviciute et al., 2024). En contraste, durante la pandemia de COVID-19, la disminución del tránsito vehicular y de la actividad industrial provocó una reducción en los niveles de NO₂, lo que favoreció un incremento en las concentraciones de ozono en algunas regiones (Sokhi et al., 2021).

Los estudios llevados a cabo en entornos urbanos corroboran los efectos específicos de los equipos generadores a diésel. Su notoria ineficiencia y el mantenimiento insuficiente ocasionan emisiones considerables de CO, NO₂ y materia particulada al entorno. En épocas de escasez energética, estas emisiones representan una contribución crucial para el deterioro de la pureza atmosférica (Farquharson et al., 2018; Shakya et al., 2022; Wu et al., 2018). La amenaza se intensifica en las áreas caracterizadas por su trazado angosto y una elevada concentración de construcciones. En tales sitios, los gases del tránsito cotidiano y de los generadores funcionando de forma simultánea permanecen confinados, sin poder diluirse correctamente, generando una mezcla de contaminantes de gran peligrosidad.

Las concentraciones de gases al aire ambiente, conjuntamente con los niveles de presión sonora, se vieron acrecentados por el empleo de generadores eléctricos. Investigaciones previas a los cortes energéticos, reportaron niveles de presión entre 81,22 dB (A) y 82,72 dB (A) en la calle Honorato Vásquez, localizada en el Centro Histórico (Abad et al., 2024), para gases en el aire, se han reportado valores de 5,30 ug/m³ para PM₁₀; 2,91 ug/m³ para PM_{2,5}; 946, 12 ug/m³ para CO, 14,32 ug/m³ para O₃ y 81,47 ug/m³ para SO₂ (Benitez et al., 2026), evidenciándose que el empleo de los generadores eléctricos incrementó significativamente el nivel de presión sonora por encima de 85 dB (A), así como los gases en aire ambiente.

Por ello, resulta importante que la autoridad local promueva la elaboración de una ordenanza que regule los límites de ruido y horarios de funcionamiento de estos equipos; en torno a la circulación vehicular, investigaciones antecedentes han examinado las ventajas de adoptar vehículos de hidrógeno como un método para disminuir la polución en este sector (Cevallos et al., 2022). Coincidiendo con esta perspectiva, el Municipio de Cuenca ha sugerido acciones auxiliares como la reducción de tributos, la disminución en el costo del mantenimiento de vehículos y la puesta en marcha de áreas de estacionamiento prioritario (Gómez et al., 2017).

Conclusiones

La crisis energética de 2024 evidenció la vulnerabilidad de los centros urbanos patrimoniales frente a interrupciones prolongadas del suministro eléctrico. En el centro histórico de Cuenca, el uso intensivo de generadores eléctricos, como medida de respuesta a los apagones, generó impactos ambientales significativos. Los resultados obtenidos muestran un aumento considerable en los niveles de ruido y en la concentración de contaminantes atmosféricos, particularmente PM_{2,5}, PM₁₀, CO, SO₂ y NO₂, durante los horarios de funcionamiento de los generadores.

Estos resultados evidencian que, si bien los generadores ofrecieron una solución temporal para la continuidad operativa de comercios y servicios, su uso masivo y desregulado en zonas densamente pobladas y patrimoniales puede comprometer la calidad ambiental y la salud pública. Además, la falta de normativa específica sobre emisiones y niveles permitidos de ruido en contextos de emergencia agrava los efectos negativos sobre el entorno urbano.

Es imperante incorporar consideraciones ambientales en los planes de gestión de crisis energética, especialmente en áreas históricas. Esto implica promover alternativas energéticas más limpias, establecer lineamientos para el uso de generadores en zonas patrimoniales, y fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental urbano.

Declaración de intereses concurrentes

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimiento

El presente trabajo se ha desarrollado en el contexto del Proyecto: “Uso de Epífitos como indicadores de la contaminación atmosférica urbana en el cantón Cuenca”, ganador del XIX concurso de proyectos del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Cuenca, financiado por el mismo. Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad de Cuenca, Vicerrectorado de Investigación (VIUC), Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca, por el respaldo institucional prestado en esta investigación, la cual genera conciencia sobre los problemas de contaminación del aire en la comunidad.

Referencias

1. Campozano, L., Ballari, D., Montenegro, M., & Avilés, A. (2020). Future meteorological droughts in Ecuador: Decreasing trends and associated spatio-temporal features derived from CMIP5 models. *Frontiers in Earth Science*, 8, 17. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00017>
2. Carvajal, P. E., & Li, F. G. (2019). Challenges for hydropower-based nationally determined contributions: A case study for Ecuador. *Climate Policy*, 19(8), 974–987. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1617667>
3. Oxford Analytica. (2024). Power cuts loom as Ecuador’s energy crisis continues. *Emerald Expert Briefings*. <https://doi.org/10.1108/OXAN-DB289348>
4. Zalakeviciute, R., Diaz, V., & Rybarczyk, Y. (2024). Impact of city-wide diesel generator use on air quality in Quito, Ecuador, during a nationwide electricity crisis. *Atmosphere*, 15(10), 1192. <https://doi.org/10.3390/atmos15101192>
5. Zalakeviciute, R., Lopez-Villada, J., Ochoa, A., Moreno, V., Byun, A., Proaño, E., Mejía, D., Bonilla-Bedoya, S., Rybarczyk, Y., & Vallejo, F. (2025). Urban Air Pollution in the Global South: A Never-Ending Crisis? *Atmosphere*, 16(5), 487. <https://doi.org/10.3390/atmos16050487>
6. Al-Hallak, M., Kurdieh, A. A., Yassine, A., El Hage, R., & Saliba, N. (2024). When do science recommendations stop being effective? The case of the sprawl of diesel electricity generators in Bei-

- rut. *PLoS ONE*, 19(12), e0313341. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313341>
7. Jack, J., & Jack, B. (2022). Nigeria's energy crisis and the sustainability question. *Social Health Sciences*, 20(1–2). <https://doi.org/10.25159/2957-3645/11449>
 8. Terrapon, J., Ortiz, W., Viebahn, P., Kynast, E., & Flörke, M. (2020). Water demand scenarios for electricity generation at the global and regional levels. *Water*, 12(9), 2482. <https://doi.org/10.3390/w12092482>
 9. Farquharson, D., Jaramillo, P., & Samaras, C. (2018). Sustainability implications of electricity outages in sub-Saharan Africa. *Nature Sustainability*, 1(10), 589–597. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0151-8>
 10. Husain, M. M. (2024). An experimental study on electricity generator emissions and their environmental impact in Kirkuk city. *Advances in Mechanical and Materials Engineering*, 41(1), 113–123. <https://doi.org/10.7862/rm.2024.11>
 11. Vallejo, F., Villacrés, P., Yáñez, D., Espinoza, L., Bodero-Poveda, E., Díaz-Robles, L. A., Oyaneder, M., Campos, V., Palmay, P., Cordovilla-Pérez, A., Díaz, V., Leiva-González, J., & Alejandro-Martin, S. (2025). Prolonged Power Outages and Air Quality: Insights from Quito's 2023–2024 Energy Crisis. *Atmosphere*, 16(3), 274. <https://doi.org/10.3390/atmos16030274>
 12. Giwa, S. O., Nwaokocho, C. N., & Adeyemi, H. O. (2019). Noise and emission characterization of off-grid diesel-powered generators in Nigeria. *Management of Environmental Quality*, 30(4), 783–802. <https://doi.org/10.1108/MEQ-07-2018-0120>
 13. Nwabueze, O. D., Chijioko, O. V., & Blessed, N. S. (2024). Assessment of noise pollution from petrol generators in Nigeria: An analysis of distance, capacity and age variables. *Journal of Engineering Research and Reports*, 26(12), 1–10. <https://doi.org/10.9734/jerr/2024/v26i121335>
 14. World Bank & IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation). (2016). *The cost of air pollution: Strengthening the economic case for action*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/25013>
 15. Casey, J. A., Fukurai, M., Hernández, D., Balsari, S., & Kiang, M. V. (2020). Power outages and community health: A narrative review. *Current Environmental Health Reports*, 7(4), 371–383. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00295-0>
 16. Oguntoko, O., & Adeyemi, A. A. (2017). Degradation of urban environment and human health by emissions from fossil fuel combusting electricity generators in Abeokuta metropolis, Nigeria. *Indoor and Built Environment*, 26(4), 538–550. <https://doi.org/10.1177/1420326X16629818>
 17. Giwa, S. O., Nwaokocho, C. N., & Layeni, A. T. (2021). Experimental investigation of noise footprints of gasoline-fueled backup generators. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1107(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1107/1/012020>
 18. Karki, T. B., Manandhar, R. B., Neupane, D., Mahat, D., & Ban, P. (2024). Critical analysis of noise pollution and its effect on human health. *International Journal of Educational and Life Sciences*, 2(2), 161–176. <https://doi.org/10.59890/ijels.v2i2.1372>
 19. Mohammed, M. I., & Rabeea, M. A. (2021). Effects of noise pollution from electric backup generators on the operators' health. *Pakistan Journal of Scientific and Technological Research*, 29(4). <https://doi.org/10.47836/pjst.29.4.24>
 20. Tacuri, C. F., Calderón, F. S., & Sellers, C. A. (2016). Modelación del ruido por tráfico vehicular en la calle Mariscal Lamar en la ciudad de Cuenca. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 8(14), 111–117. <https://doi.org/10.18272/aci.v8i14.303>
 21. Barcos, J. G., Marin, A. G., & Valencia, A. P. (2022). Comparación del ruido generado por generadores eléctricos y su impacto en la salud en las avenidas Quito y 9 de Octubre, Guayaquil. *Revista Internacional de Investigación y Desarrollo Global*, 1(1), 15–34. <https://doi.org/10.64041/riidg.v1i1.2>
 22. Azodo, A. P., Omokaro, I., & Ft, M. T. (2018). Evaluation and analysis of environmental noise from petrol fuelled portable power generators used in commercial areas. *Journal of Experimental Research*, 6(1), 8–13. http://er-journal.com/papers/Azodo%20A_March_2018_8-13.pdf
 23. Austin, W., Heutel, G., & Kreisman, D. (2019). School bus emissions, student health and academic performance. *Economics of Education Review*, 70, 109–126. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2019.03.002>
 24. Cacciottolo, M., Wang, X., Driscoll, I., Woodward, N., Saffari, A., Reyes, J., Serre, M., Vizuete, W., Sioutas, C., Morgan, T. E., Gatz, M., Chui, H. C., Shumaker, S. A., Resnick, S. M., Espeland, M. A., Finch, C. E., & Chen, J. C. (2017). Particulate air pollutants, APOE alleles and their contributions to cognitive impairment in older women and to amyloidogenesis in experimental models. *Translational Psychiatry*, 7(1), e1022. <https://doi.org/10.1038/tp.2016.280>
 25. García, N. B., Astudillo, A. L., Moscoso, D. L., Mejía, J. D., Narváez, M. A., & Vázquez, C. P. (2018). Niveles de material particulado en la zona urbana de Cuenca-Ecuador y su relación con el tráfico vehicular. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 9(20), 41–55. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstreams/ed083f31-1961-4bd7-8509-4e1322c821f9/download>
 26. Narváez, M. A., Astudillo, A. L., García, N. B., Moscoso, D. L., Mejía, J. D., Vásquez, P. E., & Bailón, N. (2020). Efecto genotóxico del material particulado PM2.5 recolectado en la zona urbana de Cuenca-Ecuador sobre la línea celular de ovario de hámster chino CHO-K1. *Revista de Toxicología*, 37(2), 118–124. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstreams/00d1b41d-8716-4166-b417-2d1a22cbd853/download>
 27. Anderson, K., Laws, N., Marr, S., Lisell, L., Jimenez, T., Case, T., Li, X., Lohmann, D., & Cutler, D. (2018). Quantifying and monetizing renewable energy resiliency. *Sustainability*, 10(4), 933. <https://doi.org/10.3390/su10040933>
 28. Astudillo, A. L., Ramírez, M. I., García, N. B., González, G. J., Gutiérrez, I. A., & Bailón, N. C. (2015). Caracterización química del material particulado PM10 de la zona urbana de Cuenca-Ecuador e investigación de su genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549. *Revista de Toxicología*, 32(2), 121–126. <https://rev.aetox.es/wp/wp-content/uploads/hemeroteca/vol32-2/vol%2032-2-121-126.pdf>
 29. Shakya, S. R., Bajracharya, I., Vaidya, R. A., Bhave, P., Sharma, A., Rupakheti, M., & Bajracharya, T. R. (2022). Estimation of air

- pollutant emissions from captive diesel generators and its mitigation potential through microgrid and solar energy. *Energy Reports*, 8, 3251–3262. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.084>
30. Johnson-Arbor, K. K., Quental, A. S., & Li, D. (2014). A comparison of carbon monoxide exposures after snowstorms and power outages. *American Journal of Preventive Medicine*, 46(5), 481–486. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2014.01.006>
31. Cobos, S., Espinosa, E., Aguirre, M., & Reyes, D. (2019). Urban image analysis based on nitrogen dioxide (NO₂) as a polluting agent: Case study of the historical center of the city of Cuenca. In *Proceedings of the 8th International Conference on Building Resilience* (ISBN 978-989-20-8992-8). Lisbon, Portugal. <http://id.bnportugal.gov.pt/bib/bibnacional/202938>
32. Azevedo, K., & Olsen, D. B. (2018). System engineering risk analysis of diesel engine durability in Latin America. *Systems Engineering*, 21(4), 345–357. <https://doi.org/10.1002/sys.21440>
33. Zhong, Q., Shen, H., Yun, X., Chen, Y., Ren, Y., Xu, H., Shen, G., Du, W., Meng, J., Li, W., Ma, J., & Tao, S. (2020). Global sulfur dioxide emissions and the driving forces. *Environmental Science & Technology*, 54(11), 6508–6517. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07696>
34. Sokhi, R. S., Singh, V., Querol, X., Finardi, S., Targino, A. C., Andrade, M. F., Pavlovic, R., Garland, R. M., Massagué, J., Kong, S., Baklanov, A., Ren, L., Tarasova, O., Carmichael, G., Peuch, V.-H., Anand, V., Arbilla, G., Badali, K., Beig, G., ... Zavala, M. (2021). A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions. *Environment International*, 157, 106818. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106818>
35. Wu, X., Vu, T. V., Shi, Z., Harrison, R. M., Liu, D., & Cen, K. (2018). Characterization and source apportionment of carbonaceous PM_{2.5} particles in China: A review. *Atmospheric Environment*, 189, 187–212. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.025>
36. Abad, P., Ramírez, D., & Astudillo, A. L. (2024). Calidad del Aire Ambiente en Entornos Escolares con Intervenciones de Urbanismo Táctico en Cuenca, Ecuador. *Revista Politécnica*, 54(2), 65-74.
37. Benítez, Á., Yangua, E., Calva, J., Astudillo, A., Moscoso, D., & Aragón, G. (2026). Decline in epiphytic diversity (lichens and bryophytes) in response to air pollution in a high-altitude city. *Atmospheric Pollution Research* <https://doi.org/10.1016/j.apr.2026.103030>
38. Cevallos, A. M., Barragán, B. E., Zalamea, E., & Serrano, X. (2022). Hydrogen capacity for use in public transportation using the excess electricity generated by photovoltaics from rooftops in the urban area of Cuenca, Ecuador. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 20(1), 49–54. <https://doi.org/10.24084/repqj20.215>
39. Gomez, J. R., Gonzalez, L. G., Vide, P. C., Gameiro, N. S., & Guerron, G. (2017). Impact of electric vehicle charging on the distribution system in Cuenca, Ecuador. In *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference – Latin America (ISGT Latin America)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2017.8126756>