

**MODELO MATEMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CONCENTRACIÓN  
DE RUIDO EN ZONAS URBANAS**  
**MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE NOISE CONCENTRATION POINT IN  
URBAN AREAS**

**Autores: <sup>1</sup>Wilson Oswaldo Sánchez Macías, <sup>2</sup>Wilson Fernando Rivera Burgos, <sup>3</sup>Daniela Elizabeth Sánchez Orozco y <sup>4</sup>Darley Jhosue Burgos Angulo.**

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3003-1279>

<sup>2</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3715-5459>

<sup>3</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8242-2239>

<sup>4</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9971-0197>

<sup>1</sup>E-mail de contacto: [wsanchezm2@unemi.edu.ec](mailto:wsanchezm2@unemi.edu.ec)

<sup>2</sup>E-mail de contacto: [wfrb30560@gmail.com](mailto:wfrb30560@gmail.com)

<sup>3</sup>E-mail de contacto: [dansoroz@espol.edu.ec](mailto:dansoroz@espol.edu.ec)

<sup>4</sup>E-mail de contacto: [darleyburgos1996@gmail.com](mailto:darleyburgos1996@gmail.com)

Afiliación: <sup>1\*</sup>Universidad Estatal de Milagro <sup>2\*</sup>Ministerio de Educación <sup>3\*</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral

<sup>4\*</sup>Universidad Estatal de Milagro (Ecuador)

Artículo recibido: 27 de Mayo del 2024

Artículo revisado: 29 de Junio del 2024

Artículo aprobado: 3 de Julio del 2024

<sup>1</sup>Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica, egresado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Ecuador). Magíster en Gerencia Educativa, egresado de la Universidad Central del Ecuador (Ecuador). Magíster en Matemática mención en Modelación Matemática, egresado de la Universidad Estatal de Milagro (Ecuador).

<sup>2</sup>Licenciado en Ciencias de la Educación especialización Informática, egresado de la Universidad de Guayaquil (Ecuador). Magíster en Matemática mención en Modelación Matemática, egresado de la Universidad Estatal de Milagro (Ecuador).

<sup>3</sup>Ingeniera en Mecatrónica, egresada de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Ecuador).

<sup>4</sup>Licenciado en Cultura Física graduado de la Universidad de Guayaquil (Ecuador). Posee un magister en Educación Física y Deportes otorgado por la Universidad de Guayaquil (Ecuador).

### **Resumen**

La contaminación acústica representa un fenómeno ambiental muy común en la actualidad. Sus efectos a la salud humana pueden abarcar problemas de audición, afecciones cardiacas, disminución de la calidad de sueño, dolores de cabeza, estrés, entre otras. La preocupación alrededor de esta problemática ha incentivado la realización de diversos estudios para monitorear el ruido en zonas urbanas. En función de esto, surgen diversos modelos matemáticos para describir los niveles de ruido. No obstante, la mayoría de estos modelos se basa en la magnitud de las mediciones realizadas mediante sonómetros, sin identificar las fuentes de ruido. En consecuencia, se desconoce la cercanía del punto de concentración de ruido, y por ende la verdadera intensidad de ruido percibida por las personas presentes en la zona. En este estudio, se propone un nuevo modelo para triangular los niveles de sonido a partir de tres sonómetros

distribuidos de forma equidistante en el área de interés. El muestreo se realizó en la zona comercial del centro de la ciudad de Babahoyo, Ecuador, en distintos horarios entre las 07:00 y 18:00. Los resultados obtenidos demostraron que el ruido equivalente percibido por los individuos presentes se encuentra alrededor de los 120 dB, y es significativamente mayor al detectado por los sonómetros individualmente. En consecuencia, se demuestra que los niveles de ruidos presentes en la zona sobrepasan los valores permitidos por la OMS, representando amenazas a la salud humana. Por tanto, se resalta la necesidad de implementar medidas y regulaciones para amortiguar el ruido generado o mitigar sus efectos.

**Palabras clave: Contaminación acústica, Ruido, Nivel de sonido equivalente, Concentración de ruido, Sonómetros.**

### **Abstract**

Noise pollution represents a very common environmental phenomenon today. Its effects

on human health can include hearing problems, heart conditions, decreased sleep quality, headaches, stress, among others. Concern about this problem has encouraged the carrying out of various studies to monitor noise in urban areas. Based on this, various mathematical models emerge to describe noise levels. However, most of these models are based on the magnitude of measurements made using sound level meters, without identifying the noise sources. Consequently, the proximity of the noise concentration point is unknown, and therefore the true intensity of noise perceived by people present in the area. In this study, a new model is proposed to triangulate sound levels from three sound level meters equidistantly distributed in the area of interest. Sampling was carried out in the commercial area of the city center of Babahoyo, Ecuador, at different times between 07:00 and 18:00. The results obtained demonstrated that the equivalent noise perceived by the individuals present is around 120 dB, and is significantly higher than that detected by the sound level meters individually. Consequently, it is demonstrated that the noise levels present in the area exceed the values permitted by the WHO, representing threats to human health. Therefore, the need to implement measures and regulations to dampen the noise generated or mitigate its effects is highlighted.

**Keywords:** **Acoustic pollution, Noise, Equivalent sound level, Noise concentration, Sound level meters.**

### **Sumário**

A poluição sonora representa um fenômeno ambiental muito comum atualmente. Seus efeitos na saúde humana podem incluir problemas auditivos, cardíacos, diminuição da qualidade do sono, dores de cabeça, estresse, entre outros. A preocupação com esta problemática tem incentivado a realização de diversos estudos de monitorização do ruído em áreas urbanas. Com base nisso, vários modelos matemáticos surgem para descrever os níveis de ruído. Porém, a maioria desses modelos baseia-se na magnitude das medições feitas com medidores de nível sonoro, sem identificar as

fontes de ruído. Consequentemente, desconhece-se a proximidade do ponto de concentração do ruído e, portanto, a verdadeira intensidade do ruído percebido pelas pessoas presentes na área. Neste estudo é proposto um novo modelo para triangular níveis sonoros a partir de três medidores de nível sonoro distribuídos equidistantemente na área de interesse. A amostragem foi realizada na área comercial do centro da cidade de Babahoyo, Equador, em diferentes horários entre 07h00 e 18h00. Os resultados obtidos demonstraram que o ruído equivalente percebido pelos indivíduos presentes gira em torno de 120 dB, sendo significativamente superior ao detectado pelos medidores de nível sonoro individualmente. Consequentemente, fica demonstrado que os níveis de ruído presentes na área ultrapassam os valores permitidos pela OMS, representando ameaças à saúde humana. Destaca-se, portanto, a necessidade de implementação de medidas e regulamentações para amortecer o ruído gerado ou mitigar os seus efeitos.

**Palavras-chave:** **Poluição acústica, Ruído, Nível sonoro equivalente, Concentração sonora, Medidores de nível sonoro.**

### **Introducción**

El ruido se define como cualquier sonido indeseado o que genere malestar. En 1972 la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoció al ruido como un contaminante ambiental. Se clasifica como contaminación acústica a cualquier sonido superior a los 65dB, siendo este el límite recomendado para percibirse por los seres humanos. El ruido superior a 75dB es considerado perjudicial para la salud, mientras que al exceder los 120dB este se clasifica como doloroso (APHA, 2021). En zonas urbanas, el ruido proviene principalmente de fuentes antropomórficas. Entre estas, los vehículos de transporte principalmente terrestre, maquinaria industrial, actividades de construcción, alarmas, parlantes para publicidades en la vía pública, etc. (Chandrappa & Das, 2021).

La exposición frecuente a ruidos que sobrepasan los niveles mencionados tiene múltiples consecuencias sobre la salud humana. La más evidente de estas corresponde a la hipoacusia o pérdida de audición inducida por ruido (NIHL por sus siglas en inglés). La exposición a niveles de ruido superiores a los 75dB durante largos periodos de tiempo puede generar daños irreversibles en las células de la cóclea, deteriorando gradualmente la capacidad de percibir sonido. Casos más extremos pueden producir daños neuronales que degradan la habilidad de entender o interpretar los sonidos receptados. Como efectos secundarios, los individuos experimentan dolores de cabeza, fatiga, depresión, y dificultades para desenvolverse socialmente. En el caso de los niños, los problemas auditivos representan un obstáculo en su desarrollo intelectual, social y emocional (Hammer et al., 2014).

Los problemas de salud causados por el ruido no se limitan a la audición. Se ha encontrado evidencia que la exposición a altos niveles de sonido tiene influencia en enfermedades cardiovasculares. El cuerpo responde a estas condiciones elevando la presión arterial, que puede desencadenar otros problemas cardíacos. Además, esto perjudica al ciclo circadiano, afectando la calidad y cantidad de sueño. A nivel cognitivo, la exposición continua al ruido puede afectar a funciones como la memoria, aprendizaje, atención, lenguaje, razonamiento, etc. Estudios han demostrado que existe una alta correlación entre los niveles de exposición al ruido y la probabilidad de desarrollar discapacidades mentales en adultos mayores a 45 años. Se ha encontrado también evidencia moderada de la influencia del ruido en el aprendizaje de la lectura y lenguaje en niños. Adicionalmente, existen consecuencias a la salud mental al incrementar los niveles de estrés o ansiedad (Thompson et al., 2022).

Existen múltiples estrategias para mitigar los efectos de la contaminación acústica. Por ejemplo, durante la construcción de espacios urbanos se pueden tener consideraciones como el material de las paredes, estructuras para recubrir maquinaria o equipos ruidosos, e incluir árboles o arbustos que ayudan a amortiguar las ondas sonoras (Chandrappa & Das, 2021). Para promover la implementación de estas medidas, los gobiernos establecen políticas que definan los niveles de ruido permisibles en distintos contextos y las acciones a tomar para proteger a los individuos. Estudios comparativos demuestran que Oceanía es el continente con menor contaminación acústica a nivel mundial, seguido de Europa. Por otro lado, América es el continente que presenta rangos de exposición al ruido más amplios, menos regulaciones, y un cumplimiento insuficiente de las mismas (Perna et al., 2021). Específicamente en América Latina, el 27% de los países no ha establecido regulaciones para los niveles de sonido permisibles en zonas urbanas ni industriales. Entre los países que sí poseen políticas al respecto en esta región, el 81%, incluyendo a Ecuador, define un nivel de exposición de ruido máximo de 85 dB (Arenas & Suter, 2014).

La preocupación alrededor de esta problemática ha incentivado múltiples estudios para determinar la intensidad sonora a la cual se expone la población. Algunos análisis permiten la construcción de mapas de ruido, que resaltan las zonas donde los niveles de exposición son más altos. En China, se lograron construir mapas de ruido durante periodos de 24 horas en distintas zonas urbanas. Los resultados mostraron la evolución de los niveles de sonido durante las diferentes horas del día, permitiendo relacionarlas con las actividades desarrolladas en dichos horarios, así como con la ubicación geográfica (Fiedler & Zannin, 2015). Estudios

similares se han realizado en América Latina para construir mapas de ruidos. Estos permitieron identificar el estado de zonas sensibles al ruido como hospitales, escuelas, etc., y en función de esto establecer medidas regulatorias (Fiedler & Zannin, 2015). Un estudio de campo realizado en Nicaragua se enfocó en la cuantificación de la contaminación acústica en escuelas y colegios, y las consecuencias de estos. El estudio demostró que los niveles de ruido excedían los niveles recomendados por la OMS. Estos resultados presentaron una alta correlación con afecciones a los niños y jóvenes como dolores de cabeza, insomnio, estrés, y cansancio (Guadalupe et al., 2020).

Uno de los contribuyentes más grandes al ruido en zonas urbanas es el tráfico. En India, se realizó un estudio para conocer la contribución del flujo vehicular a la contaminación acústica. Esta se relacionó con otros factores como la temperatura del pavimento, la humedad relativa, y la cantidad y velocidad de los vehículos que circulan en la zona (Subramani et al., 2012). En Panamá se desarrolló un análisis considerando factores adicionales como el tipo de vía, el material del suelo, la pendiente de la vía, tipo de vehículos (livianos, medianos o pesados), etc. En dicho proyecto, se utilizó el concepto de nivel de ruido equivalente ( $L_{eq}$ ) para representar la energía sonora generada por el ruido variable en un período de tiempo definido (T) (Quintero et al., 2018). De esta forma, es posible describir el estado de sonido de una franja de tiempo a través de un único valor en función de la presión sonora medida ( $p_A$ ) y la presión de referencia ( $p_0 = 20\mu Pa$ ) como se muestra en la ecuación (1). O mediante la forma discreta de esta expresión que considera mediciones n mediciones puntuales de ruido constante ( $L_{eq_i}$ ) durante pequeños

instantes  $t_i$  como se muestra en la ecuación (2) (Guarnaccia et al., 2014)

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (1)$$

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{\sum t_i} \sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{L_{eq_i}}{10}} t_i \right) \right] \quad (2)$$

En la actualidad, se proponen constantemente nuevos modelos matemáticos para adaptar esta ecuación general a diferentes contextos. De esta forma, se pretende obtener resultados más exactos en función de factores adicionales como si se trata de un espacio interior o exterior, fuente del ruido (maquinaria, tráfico, transeúntes, etc.), si se trata de una zona con semáforos o de tráfico continuo, límite de velocidad de la zona, entre otros. Para conocer la contaminación por ruido generada (NPL) en unidades de decibelios (dB), se puede aplicar la fórmula (3). En esta,  $L_{10}$  y  $L_{90}$  representan el nivel de ruido excedido durante el 10% y 90% del tiempo de medición, respectivamente. Nótese que por lo tanto  $L_{10} > L_{90}$ . La constante  $\alpha$  puede variar según las condiciones del entorno descritas anteriormente (Ibili et al., 2022).

$$NPL = L_{eq} + \alpha(L_{10} - L_{90}) \quad (3)$$

Además de calcular el nivel de sonido en tiempo real, estas ecuaciones permiten el desarrollo de modelos predictivos de contaminación por ruido. Esto permite a las autoridades conocer con antelación los efectos acústicos que se provocarán en ciertos horarios, al realizarse algún cambio en la zona urbana, al programarse un evento, etc. Y de esta forma poder tomar medidas cautelares para evitar afecciones a la población. Para esto, se proponen estrategias de inteligencia artificial, entrenando redes neuronales a partir de un amplio conjunto de datos tomados in situ que permitan conocer los niveles de ruidos y las condiciones del entorno

relacionadas (Thakre et al., 2020). A partir de estas propuestas, surgen nuevas innovaciones como la aplicación de herramientas de IoT (internet de las cosas) para tratar esta problemática. Esto permite la comunicación con sensores en tiempo real para la medición constante del ruido, la implementación de modelos predictivos, y la automatización de ciertas medidas regulatorias según los niveles de sonido detectados.

Los muestreos de los niveles de ruido realizados en la mayoría de los proyectos mencionados y afines emplean sonómetros como instrumentos de medición. Estos aparatos registran la intensidad de ruido a su alrededor, en unidades de decibelios (dB). No obstante, en áreas muy amplias es complicado determinar la veracidad de la información registrada por estos componentes. Esto debido a que los sonómetros no registran un mapeo tridimensional de la zona analizada. Es decir, no se puede conocer la cercanía de la fuente de ruido (Indrayani et al., 2020). En consecuencia, no es posible determinar si la intensidad registrada proviene de un punto muy cercano, presentando lecturas muy altas a pesar de no percibirse de la misma forma por los individuos en la zona. O por el contrario, si la lectura es muy baja debido a la lejanía de la fuente generadora de ruido. Este último escenario resulta más preocupante al aparentar niveles de ruido seguro de manera errónea. Debido a esto, este proyecto plantea la necesidad de un modelo matemático que permita conocer la intensidad de sonido en el punto de concentración total de ruido. Brindando información más veraz sobre la experiencia acústica de los individuos presentes.

### **Materiales y Métodos**

Se realizó un estudio para determinar el nivel de ruido al que se exponen las personas en zonas

urbanas. El sitio de muestreo seleccionado fue un área de 200m x 200m del casco comercial de la ciudad de Babahoyo. Para realizar las mediciones, se determinaron tres puntos estratégicos en las calles que rodean dicha zona. Se utilizaron tres sonómetros para tomar la lectura del sonido en decibelios (dB) en los puntos seleccionados. Se aseguró que estos cumplan con la norma técnica ecuatoriana NTE INEM 2665 (2013-10), referente a las características de los instrumentos de medición acústica. Todos los sonómetros fueron calibrados a 114 dB. Las características técnicas de estos elementos se pueden apreciar en la Tabla 1.

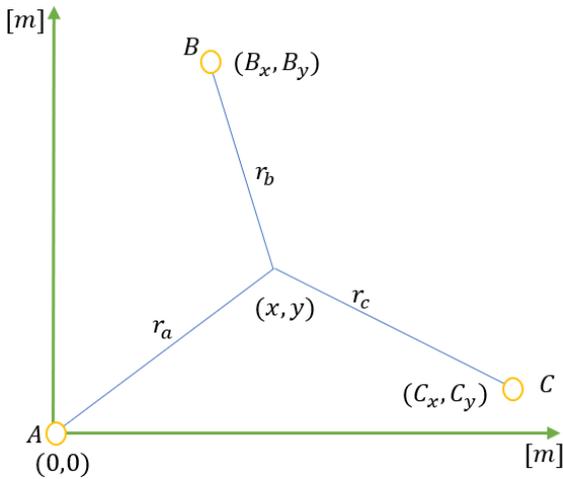
**Tabla 1.** Características Sonómetro

<b>Marca / Modelo</b>	<b>Amprobe / SM-20A</b>
Rango de medición	A: 30-130 dB
	C: 35-130 dB
Precisión	±1.5 dB
Rango de frecuencias	31.5 Hz – 8 kHz
Rango dinámico	50 dB

*Fuente: (Amprobe, 2009)*

El levantamiento de datos se realizó entre los meses de agosto y septiembre de 2022. Se seleccionaron seis horarios en las horas pico de la zona, entre las 07:00 y 18:00. Dentro de cada horario, se realizaron mediciones durante períodos separados por 15 minutos. En cada turno de medición, se utilizó la ecuación (1) para determinar el nivel sonoro equivalente provisto por cada sonómetro. Se observó que cada día la variación del ruido durante las diferentes horas tenía un comportamiento bastante similar. Por lo tanto, se realizó un promedio de las mediciones tomadas en el mismo turno durante diferentes días, siendo posible representar el estado de un día común.

Se planteó un modelo matemático que permitió representar el ruido de la zona en función de su concentración equivalente y la localización de la fuente principal del mismo. Para esto, se realizó una triangulación de cada conjunto de mediciones tomadas simultáneamente en los 3 nodos.



**Figura 1:** Esquema de Mediciones

**Tabla 2** Variables utilizadas

$(A, B, C)$	Mediciones en dB de los puntos A, B, C
$(B_x, B_y)$	Coordenadas del punto B
$r_a, r_b, r_c$	Distancia entre los puntos A, B, C y el punto de concentración de ruido.
$(x, y)$	Coordenadas del punto de concentración de ruido.
$I_o$	$10^{-12}$ mínima intensidad audible
$I_a, I_b, I_c$	Intensidad sonora en los puntos A, B, C.
$I$	Intensidad sonora en el punto de concentración.

La intensidad sonora en cada punto de medición se puede definir en función de la intensidad mínima audible y las mediciones en decibelios realizadas. Adicionalmente, esta puede relacionarse con la intensidad sonora en el punto de concentración, obteniéndose ecuaciones de la siguiente forma para cada punto A, B, C.

$$I_a = I_o * 10^{\left(\frac{A}{10}\right)} = \frac{I}{r_a^2} \quad (5)$$

Las distancias  $r_a, r_b, r_c$  pueden expresarse según las relaciones geométricas entre los puntos de medición y el punto de concentración de ruido. Se procede a igualar las intensidades sonoras de la siguiente forma:  $I_a = I_b$  e  $I_b = I_c$ . De esta forma, se define el sistema de ecuaciones (1).

$$\begin{cases} f_1(x, y) = S_1x^2 + 2A_x x + 2A_y y - (I) \\ f_2(x, y) = S_1x^2 + S_2y^2 + 2S_3x + 2S_4 \end{cases}$$

Los cambios de variables realizados para simplificar la expresión se definen en las ecuaciones (2) - (7).

$$S_1 = \frac{I_a}{I_b} - 1 \quad (2)$$

$$K_1 = B_x^2 + B_y^2 \quad (3)$$

$$S_2 = \left(\frac{I}{I_c} - 1\right) \quad (4)$$

$$K_2 = \frac{I_b}{I_c} (B_x^2 + B_y^2) - C_x^2 - C_y^2 \quad (5)$$

$$S_3 = C_x - \frac{I_b}{I_c} B_x \quad (6)$$

$$S_4 = C_y - \frac{I_b}{I_c} B_y \quad (7)$$

Para resolver este sistema de ecuaciones se aplicó el método de Newton-Raphson. Se muestra la representación matricial, donde J corresponde al jacobiano del sistema.

$$X_{k+1} = X_k - J^{-1}F(X_k) \quad (8)$$

$$J = 2 \begin{pmatrix} S_1x + B_x & S_1y + B_y \\ S_2x + S_3 & S_2y + S_4 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Este método numérico requiere determinar una condición inicial para garantizar la convergencia a la solución. En este caso, se escogió el punto  $(x, y) = (0, 0)$ , para evaluar el jacobiano en la primera iteración.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 2B_x & 2B_y \\ 2S_3 & 2S_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

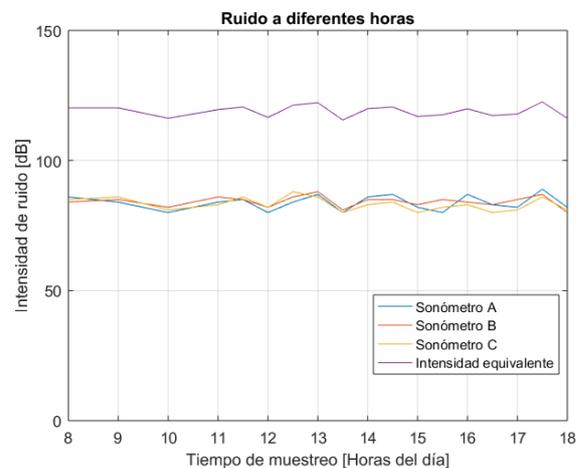
Para realizar las iteraciones posteriores hasta converger a la solución final, se utilizó un código desarrollado en Matlab 2016b. De esta manera, se obtuvieron las curvas de intensidad de sonido y las ubicaciones de las concentraciones de ruido.

### Resultados y Discusión

Se graficaron en Matlab las curvas que representan la variación del ruido equivalente a través del tiempo. Se puede observar en la Figura 1 cómo el ruido en el punto de concentración es mucho mayor a la intensidad registrada por cada sonómetro individualmente. Las mediciones de cada sonómetro indican valores alrededor del límite recomendado por la OMS. Sin embargo, la triangulación permitió determinar que el ruido equivalente en el punto de concentración es significativamente mayor, manteniéndose alrededor de los 120dB durante todos los horarios de muestreo. Estos niveles de sonido se consideran alarmantes, y por ende representan una preocupación para la administración de la zona urbana.

Durante las diferentes horas, el ruido presenta variaciones muy pequeñas. Esto debido a que se trata de una zona comercial muy transitada, donde la aglomeración y el tráfico son constantes durante todo el día. Esto puede suponer un alto riesgo para las personas que laboran en la zona, pues se encuentran expuestos a altos niveles de ruido durante toda la jornada. La falta de horarios de descanso puede suponer graves afecciones al oído de

estos individuos, y otros efectos colaterales como dolores de cabeza y complicaciones cardiovasculares a largo plazo. Además, puede implicar consecuencias psicológicas y cognitivas como se mencionó anteriormente, incluyendo estrés, insomnio, falta de concentración, etc. Todos estos hechos impactan negativamente al complicar la comunicación, disminuir la calidad del servicio al cliente, y generar un ambiente irritable.

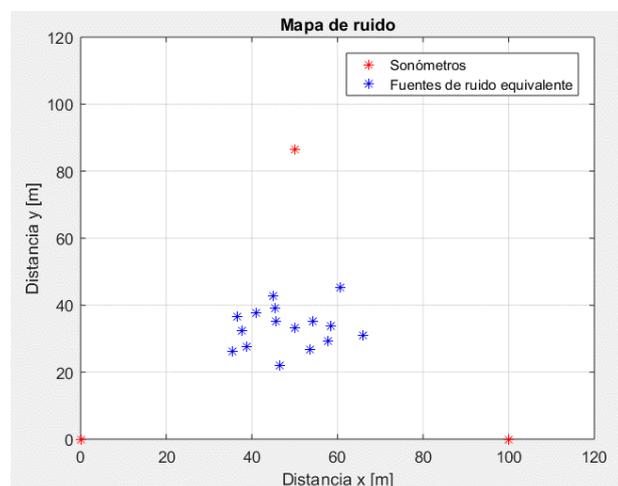


**Figura 1:** Curvas de Intensidad de Ruido vs Tiempo.

Se logró además identificar las ubicaciones de los puntos de concentración de ruido en los diferentes turnos de muestreo como se muestra en la Figura 3. Se puede asumir que el ruido detectado proviene de una fuente que genera la intensidad calculada desde el punto de concentración, o en su defecto, que existen tres fuentes de ruido cercanas a los sonómetros que al superponerse generan los efectos de un ruido equivalente concentrado en los puntos mostrados.

Todos los sonómetros registraron magnitudes de sonido similares en todos los turnos de medición. En consecuencia, se puede asumir una distribución relativamente uniforme del ruido, implicando que el punto de concentración

es equidistante a las posiciones de los sonómetros.



**Figura 2:** Coordenadas de los puntos de concentración de ruido.

Esto es congruente con los resultados obtenidos donde los puntos de concentración del ruido poseen posiciones similares entre sí, siempre manteniéndose en la zona central del área muestreada. Esto indica que las personas que se ubican en esta zona central perciben un ruido de magnitudes más altas, y por lo tanto sufren efectos mayores.

### Conclusiones

Los niveles de sonido registrados por los sonómetros en puntos específicos no permiten conocer directamente el ruido experimentado en un área amplia. Esto debido a su incapacidad de detectar la cercanía de la fuente de ruido. En consecuencia, el modelo matemático aplicado permite aplicar técnicas de triangulación para determinar la ubicación y magnitud de una fuente de ruido equivalente a la distribución de ruido muestreada. De esta forma, se pudo detectar los niveles de sonido reales que perciben los individuos que transitan la zona. Estos valores son los que deben ser considerados por las autoridades al establecer políticas y medidas regulatorias. Entre estas se

recomienda la ubicación de arbustos o árboles que amortigüen el ruido, establecer normas de tránsito para disminuir la frecuencia del uso de la bocina de los autos, proponer horarios de descanso a los trabajadores de la zona en los cuales puedan descansar en interiores para aislarse momentáneamente del ruido, entre otras. Adicionalmente, se incentiva la realización de estudios para medir los niveles de ruido experimentados dentro de los locales de la zona. De esta forma se esperaría determinar estrategias para mitigar la influencia del ruido exterior dentro de las instalaciones de la zona.

### Referencias Bibliográficas

- Amprobe. (2009). SM-20-A Sound Meter Data Sheet. Amprobe Test Tools. [www.Amprobe.com](http://www.Amprobe.com)
- APHA. (2021, October 26). Noise as a Public Health Hazard. American Public Health Association. <https://apha.org/policies-and-advocacy/public-health-policy-statements/policy-database/2022/01/07/noise-as-a-public-health-hazard>
- Arenas, P., & Suter, H. (2014). Comparison of occupational noise legislation in the Americas: An overview and analysis. *Noise and Health*, 16(72), 306–319. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.140511>
- Chandrappa, R., & Das, D. B. (2021). Noise Pollution. *Environmental Health - Theory and Practice*, 141–148. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64484-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64484-0_7)
- Fiedler, K., & Zannin, T. (2015). Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs—Noise maps and measurements. *Environmental Impact Assessment Review*, 51, 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2014.09.014>
- Guadalupe, W., Matus, G., Mayli Díaz Hernández, D., Veruska, T., Acevedo, R., & Flores-Pacheco, J. A. (2020). Evaluación de la contaminación acústica en dos centros de educación inicial en la ciudad de bluefields. *Nexo Scientific Journal*, 33(02), 795–807. <https://doi.org/10.5377/nexo.v33i02.10810>

- Guarnaccia, C., Quartieri, J., & Tepedino, C. (2014). Acoustical noise analysis and prediction by means of multiple seasonality time series model. Article in International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. <https://www.researchgate.net/publication/285765557>
- Hammer, S., Swinburn, K., & Neitzel, L. (2014). Environmental noise pollution in the United States: Developing an effective public health response. *Environmental Health Perspectives*, 122(2), 115–119. <https://doi.org/10.1289/EHP.1307272/ASSET/88598AFA-DC26-4FA0-BCEA-17A8767E5FB3/ASSETS/GRAPHIC/EHP.1307272.G001.JPG>
- Ibili, F., Adanu, K., Adams, A., Andam-Akorful, A., Turay, S., & Ajayi, A. (2022). Traffic noise models and noise guidelines: A review. *Noise & Vibration Worldwide*, 53(1–2), 65–79. <https://doi.org/10.1177/09574565211052693>
- Indrayani, Asfiati, S., Riky, N., & Rajagukguk, J. (2020). Measurement and Evaluation of Sound Intensity at The Medan Railway Station Using a Sound Level Meter. *Journal of Physics: Conference Series*, 1428(1), 012063. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1428/1/012063>
- Perna, M., Padois, T., Trudeau, C., Bild, E., Laplace, J., Dupont, T., & Guastavino, C. (2021). Comparison of Road Noise Policies across Australia, Europe, and North America. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, Vol. 19, Page 173, 19(1), 173. <https://doi.org/10.3390/IJERPH19010173>
- Quintero, J., De Frias, ; Edwin, & Félix Henríquez, ; (2018). Uso de modelos matemáticos para el cálculo de ruido en las principales avenidas de Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, 4(2), 49–56. <https://doi.org/10.33412/REV-RIC.V4.2.2156>
- Subramani, T., Kavitha, M., & Sivaraj, P. (2012). Modelling Of Traffic Noise Pollution. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2, 3175–3182. [www.ijera.com](http://www.ijera.com)
- Thakre, C., Laxmi, V., Vijay, R., Killedar, J., & Kumar, R. (2020). Traffic noise prediction model of an Indian road: an increased scenario of vehicles and honking. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(30), 38311–38320. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-09923-6/FIGURES/5>
- Thompson, R., Smith, B., Bou Karim, Y., Shen, C., Drummond, K., Teng, C., & Toledano, B. (2022). Noise pollution and human cognition: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence. *Environment International*, 158, 106905. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2021.106905>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Wilson Oswaldo Sánchez-Macías, Wilson Fernando Rivera Burgos, Daniela Elizabeth Sánchez-Orozco y Darley Jhosue Burgos Angulo.

