



**Determinación de la contaminación acústica a través de sensores de bajo
costo en la comuna 14 el Poblado (Medellín)**

Sebastián Quiñones Cano

Informe de práctica para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Asesor

Yésica María Gómez Jaramillo, Magister en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería, Escuela Ambiental
Ingeniería Ambiental
Medellín
2024

Cita	(Quiñones, 2024)
Referencia	Quiñones Cano, S. (2024). <i>Determinación de la contaminación acústica a través de sensores de bajo costo en la comuna 14 el Poblado (Medellín)</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio Cesar Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Lina María Berrouet Cadavid.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a la memoria de mi querido abuelo, quien, aunque ya no está físicamente con nosotros, me acompaña y apoya desde el cielo. Sé que estaría orgulloso de mis logros y de la persona en la que me he convertido. Su amor, sabiduría y ejemplo de vida siguen siendo una guía y una fuente de inspiración para mí cada día.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, especialmente a mi mamá, cuyo amor y apoyo incondicional han sido la fuerza motriz detrás de mi esfuerzo y perseverancia. A mis dos hermanas, gracias por ser mis compañeras de vida, por sus palabras de aliento y por creer en mí en cada paso de este camino.

A la Universidad de Antioquia, mi más profundo agradecimiento por brindarme la oportunidad de formarme académicamente y por ser el escenario donde pude adquirir conocimientos invaluable. Gracias también por permitirme conocer a personas excepcionales que hoy en día considero grandes amigos y que han enriquecido mi experiencia universitaria de maneras indescriptibles.

Asimismo, quiero extender mi gratitud a la Alcaldía de Medellín, especialmente a la Secretaría de Medio Ambiente, por abrirme las puertas y ofrecerme la oportunidad de ganar experiencia práctica. Su apoyo me ha permitido aplicar los conocimientos adquiridos en la universidad y ganar nuevos que contribuyeron de manera significativa en mi primera experiencia laboral.

Tabla de contenido

Dedicatoria	3
Agradecimientos.....	3
Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
1 Objetivos	15
1.1 Objetivo general	15
1.2 Objetivos específicos.....	15
2 Marco teórico	15
2.1 Ruido como contaminante.....	15
2.2 Secretaría de Medio Ambiente de Medellín.....	17
2.3 Marco normativo	18
2.4 Modelo de Gestión Integral del Ruido de Medellín (MGIR).....	19
2.5 Zonificación Acuática	20
2.6 Mapas de Ruido.....	21
2.7 Zonas acústicamente Saturada -ZAS y Zonas de Vigilancia Acústica -ZVA.....	22
2.8 Efecto del Ruido en la Salud	25
2.9 Efecto del ruido en la fauna	27
2.10 Monitoreo ambiental del ruido en el Valle de Aburrá	28
2.11 Sensores de bajo costo.....	29
3 Metodología	31
3.1 Planteamiento metodológico	32
3.2 Análisis de los datos	34
3.2.1 Unidad de estudio	34

3.2.2 Ajustes K.....	34
3.2.3 Visualización de los datos.....	35
4 Resultados y análisis	37
5 Conclusiones	49
Anexos.....	51
Código para hacer gráfico de barras.....	51
Visitas Prueba piloto Provenza 2024	52
Sitios y lugares de instalación de los sensores	54
Referencias	57

Lista de tablas

Tabla 1. Efectos en la salud de la contaminación acústica.	25
Tabla 2. Direcciones de los participantes de la prueba piloto.	33
Tabla 3. Dirección de locales comerciales que participaron en la prueba piloto.	54

Lista de figuras

Figura 1. Curvas de ponderación A, B y C.	16
Figura 2. Escala de ruido según actividades, aparatos, situaciones y ambientes.	17
Figura 3. Fases y estructura del modelo.	20
Figura 4. Mapa de ruido total diurno a 4 metros de altura para 2023.	22
Figura 5. Criterios cumplidos para la definición de ZAS y ZVA.	23
Figura 6. Diagrama para determinación de ZAS y ZVA.	24
Figura 7. ZAS identificadas en el distrito de Medellín.	25
Figura 8. Sistema de monitoreo del ruido en Valle de Aburrá, a través del SIATA.	29
Figura 9. Sensor IoT utilizados en la prueba piloto.	29
Figura 10. Estructura y partes del sensor de bajo costo.	31
Figura 11. Ubicación de los dos lugares que participaron de la prueba piloto.	31
Figura 12. Código para crear un DataFrame de una hoja específica de Excel.	36
Figura 13. Código para convertir columnas específicas de un DataFrame en un DateTime.	36
Figura 14. Porcentaje de datos faltantes para los dos sitios de medición.	37
Figura 15. Gráfico de serie de tiempo para el hotel durante el periodo 11 al 31 de diciembre del 2023.	38
Figura 16. Gráfico de serie de tiempo para la casa durante el periodo 11 al 31 de diciembre del 2023.	39
Figura 17. Serie de tiempo para la semana 1.	40
Figura 18. Serie de tiempo para la semana 3.	40
Figura 19. Serie de tiempo para el fin de semana 1.	41
Figura 20. Serie de tiempo para el fin de semana 3.	42
Figura 21. Gráfico de dispersión por hora para el hotel.	42
Figura 22. Gráfico de dispersión por hora para la casa.	43

Figura 23. Promedios diurnos y nocturnos por día del hotel comparados con los totales para la semana entre el 25 y 31 de diciembre del 2023.	44
Figura 24. Promedios diurnos y nocturnos por día de la casa comparados con los totales para la semana entre el 25 y 31 de diciembre del 2023.	45
Figura 25. Valores promedio ponderados diurnos para cada día del pedido de medición para la casa y e hotel.	46
Figura 26. Valores promedio ponderados nocturnos para cada día del pedido de medición para la casa y e hotel.	46
Figura 27. Comparación de los valores promedio ponderados diurnos y nocturnos totales para el hotel y la casa en los diferentes periodos de medición.	48
Figura 28. Código para Realizar un diagrama de barras.	51
Figura 29. Visita previa a la instalación de los sensores.	53
Figura 30. Lugar de instalación Hotel ACQUA.	55
Figura 31. Posibles lugares de instalación Bar INSTINTO.	56

Siglas, acrónimos y abreviaturas

OMS	Organización Mundial de la Salud
MGIR	Modelo de Gestión Integral de Ruido de Medellín
ZAS	Zonas Acústicamente Saturadas
ZVA	Zonas de Vigilancia Acústica
ZA	Zonificación Acústica
SMA	Secretaría de Medio Ambiente
AMVA	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
PQRSD	Peticiones, Quejas, Reclamos, Sugerencias y Denuncias
%PUAR	Porcentaje de Población Urbana Afectada por Ruido
POT	Planes de Ordenamiento Territorial
PAU	Protocolos Ambientales y Urbanísticos
IoT	Sistema de Internet de las Cosas
dB	Decibel
Pa	Pascal
Hz	Hertz
GB	Gigabyte

Resumen

La contaminación acústica representa una creciente preocupación en las grandes ciudades, afectando la calidad de vida de sus habitantes. En el caso de Medellín, específicamente en la comuna 14 Poblado, se identificó como una Zona Acústicamente Saturada, con niveles de ruido que superan los límites permitidos por la normativa colombiana. Esta situación ha generado molestias tanto en residentes como en visitantes, impactando negativamente en la industria hotelera y en la convivencia ciudadana. Para abordar esta problemática, se desarrolló una prueba piloto de monitoreo de ruido en el sector mencionado. El objetivo de este estudio fue evaluar la contaminación acústica con la implementación de esta prueba, para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y control del ruido. Se seleccionaron dos sitios (un hotel y una casa residencial) para la instalación de sensores de bajo costo que midieron los niveles de ruido en decibeles. Estos sensores registraron datos durante 20 días en diciembre del año 2023, para luego almacenar los datos y posteriormente hacer un análisis de estos utilizando herramientas estadísticas y de visualización para los dos sitios seleccionados. Este enfoque integral busca cumplir con los lineamientos establecidos en el Modelo de Gestión Integral del Ruido de Medellín y en el Plan de Acción para la Prevención y Control de la Contaminación por Ruido del Valle de Aburrá. Los resultados de esta prueba piloto proporcionaran información valiosa para la formulación de políticas y estrategias de gestión del ruido a nivel local y regional, que contribuyan así a mejorar la calidad de vida de los habitantes de Medellín.

Palabras clave: monitoreo, sensores de bajo costo, ruido, contaminación acústica y mapas de ruido.

Abstract

Noise pollution is a growing concern in large cities, affecting the quality of life of their inhabitants. In the case of Medellín, specifically in the Poblado district, it was identified as an Acoustically Saturated Zone, with noise levels that exceed the limits allowed by Colombian regulations. This situation has generated annoyance in both residents and visitors, negatively impacting the hotel industry and citizen coexistence. To address this problem, a pilot noise monitoring test was developed in the aforementioned sector. The objective of this study was to evaluate noise pollution with the implementation of this test, in order to develop effective noise mitigation and control strategies. Two sites (a hotel and a residential house) were selected for the installation of low-cost sensors that measured noise levels in decibels. These sensors recorded data for 20 days in December 2023, and then stored the data for later analysis using statistical and visualization tools for the two selected sites. This integrated approach seeks to comply with the guidelines established in Medellín's Integrated Noise Management Model and in the Action Plan for the Prevention and Control of Noise Pollution in the Aburrá Valley. The results of this pilot test will provide valuable information for the formulation of noise management policies and strategies at the local and regional levels, thus contributing to improve the quality of life of the inhabitants of Medellín.

Keywords: monitoring, low-cost sensors, noise, noise pollution and noise maps.

Introducción

Actualmente las grandes metrópolis tienen un problema con la contaminación del aire, ya sea por la emisión de gases contaminantes o por el ruido. La contaminación acústica o contaminación por ruido se refiere a la presencia de ruido o vibraciones en el ambiente que tienen efecto negativo en la salud de las personas causado por actividades antrópicas como el tráfico, aviones, barcos, locales comerciales y la industria (AMVA & Universidad San Buenaventura, 2019). Es un tipo de contaminación física que, a diferencia del material particulado o los gases de efecto invernadero, no tiene efecto acumulativo en el aire sino, que se mantiene mientras la emisión se esté dando; sin embargo, no genera residuos dado que cesa cuando se apaga la fuente.

A pesar de que el ruido no tiene efectos acumulativos en el medio ambiente, si lo tiene en la salud de las personas y los animales expuestos a niveles altos durante periodos prolongados de tiempo, la frecuencia de este y el nivel de presión sonora que ejerce sobre el receptor (AMVA & Universidad San Buenaventura, 2019). Es considerado un factor medioambiental importante en las grandes ciudades del mundo ya que interviene en la calidad de vida de la población y en muchos casos no solo trae problemas para la salud, sino, que también trae problemáticas que afectan la convivencia entre las personas de un lugar en particular (C&T, 2006).

Dado la última actualización de mapas de ruido realizada por el AMVA el año 2023, el %PUAR aumento del 9.2% en el 2018 al 10.7% en el 2022 para el municipio de Medellín (AMVA, 2023). Lo anterior se debe principalmente al aumento de la población de la ciudad en las últimas décadas, lo que ha tenido un efecto indirecto del aumento del parque automotor, el cual es el principal contaminante acústico en la ciudad (AMVA, 2024).

Sin embargo, en los últimos años Medellín se ha convertido en un atractivo turístico muy grande en Latinoamérica con más de 1.3 millones de turistas en el año 2022 lo que impuso un 49% más que el año 2019 (Secretaría Desarrollo Económico, 2023), por tal motivo la ciudad ha tenido la posibilidad de albergar grandes eventos masivos como conciertos y eventos deportivos con mucha más frecuencia ocasionado una mayor ocupación hotelera teniendo temporadas con todas las habitaciones de los hoteles reservadas. Lo anterior expuesto ha provocado que la economía de la ciudad dependa mucho del turismo y esto a su vez ha conllevado a que aumenten los lugares de

entretenimiento como discotecas, bares, restaurantes y *rooftop* para satisfacer la demanda de turistas que llegan a la ciudad (Gobernación de Antioquia, 2023).

Las quejas de la población por ruido aumentaron con respecto a años anteriores (Arango, 2018), sobre todo por locales comerciales cerca de zonas residenciales, que en las noches emiten ruido por encima de los niveles recomendados por la OMS que afectan a la población aledaña de donde está esta fuente. La problemática con la contaminación por ruido en el Valle está entre los primeros tres aspectos de insatisfacción relacionados con problemáticas ambientales, principalmente por el aumento de locales comerciales como discotecas o bares en barrios donde predomina la zona residencial (AMVA, 2024).

En Medellín, se identificaron áreas como ZAS las cuales sobrepasan los niveles de ruido ambiental permitidos en la resolución 627 de 2006 (AMVA, 2024), especialmente durante la noche debido a la actividad de locales comerciales como bares y discotecas (Peláez, 2022). El Poblado es una de estas zonas identificadas, y se ha observado que la calle Provenza, el Parque Leras y el Parque Poblado son uno de los principales focos de esta problemática en la comuna. En estos sitios, pero más en Provenza y Lleras se concentran numerosos bares, discotecas y restaurantes, además de establecimientos hoteleros y viviendas residenciales (Arango, 2018). Esta concentración ha generado un conflicto en la zona, ya que los turistas, al consultar las recomendaciones en las páginas web de los hoteles, se están encontrando con malas recomendaciones debido a la alta contaminación acústica durante las horas nocturnas en el sector que perturban el tranquilo descanso de las personas.

Lo anterior, es generado tanto por las discotecas como por las fiestas que algunos turistas realizan en sus habitaciones, lo que ocasiona molestias a los demás huéspedes durante su descanso. La población residencial subyacente a la zona se vió altamente afectada, lo que hizo que muchas familias de allí hayan decidido vender sus casas o migrar a otros lugares sin importar que fueran casas de tradición familiar, debido a que la situación en este sector no tenía mejora.

Este acontecimiento provocó una pérdida considerable de ingresos para los hoteles y un aumento en PQRSD tanto de los hoteles como de la población residencial del sector, que también se ve afectada. Por esta razón, en este estudio se llevó a cabo una prueba piloto con el objetivo de

evaluar la contaminación acústica de esta área, además, con el propósito de sensibilizar y educar a la población que comparte este territorio y que estos datos sirvan como base para mejorar la gestión a la problemática tanto en la zona como en el distrito, con la meta de reducir el ruido y prevenir futuros conflictos y problemas de salud en la comunidad.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar la contaminación acústica en el sector Poblado, identificado como Zona Acústicamente Saturada (ZAS), mediante el análisis de una prueba piloto de monitoreo.

1.2 Objetivos específicos

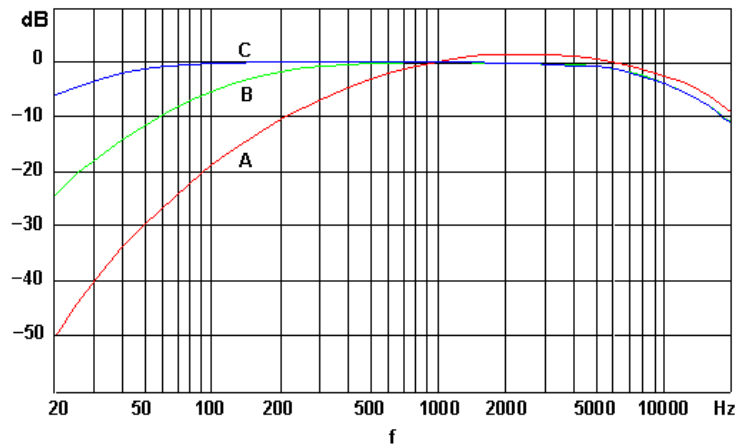
- Definir una metodología para el análisis de los datos de la prueba piloto en el sector Poblado.
- Realizar un análisis de los datos obtenidos de los sensores durante la prueba piloto desarrollada en diciembre del 2023.

2 Marco teórico

2.1 Ruido como contaminante

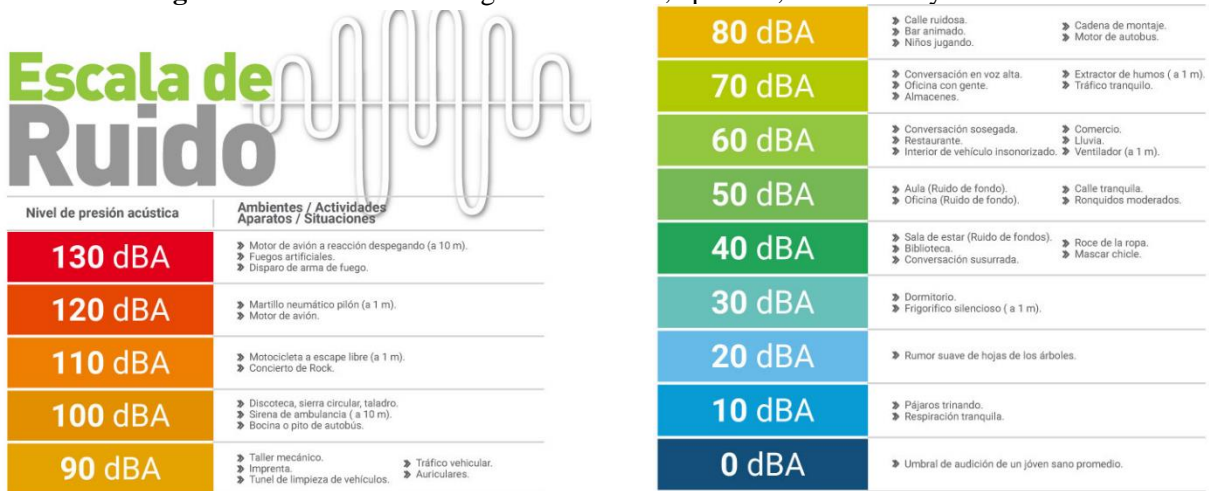
El ruido como contaminante es conocido como contaminación acústica definido como cualquier sonido que genera alguna molestia. No obstante, no todo sonido es considerado contaminación sonora, porque según la OMS esta se define como cualquier sonido superior a los 65 dB. El ruido se considera que es un tipo de contaminación del aire porque genera efectos nocivos en la salud de las personas y en los animales si la exposición es prolongada y dependiendo de su frecuencia; pero no es un contaminante atmosférico debido a que no genera residuos en la atmósfera y no tiene efectos acumulativos en esta (C&T, 2006).

La intensidad del sonido se mide en decibelios (dB), sin embargo, para obtener mediciones más precisas que reflejen cómo percibe el oído humano diferentes frecuencias, se emplea la ponderación de frecuencia A, expresada como dB(A). Esta forma de medir el nivel de sonido tiene en cuenta la sensibilidad del oído humano a distintas frecuencias, ya que no todas son percibidas de la misma manera. Por ejemplo, para escuchar tonos graves se necesita más volumen que para tonos agudos (Cirrus, s.f.).

Figura 1. Curvas de ponderación A, B y C.

La ponderación A, ajusta las mediciones del nivel de sonido especialmente para sonidos de bajo nivel, para reflejar con mayor precisión la percepción auditiva humana. Esta medida es crucial ya que está correlacionada con el daño auditivo y la incomodidad que puede causar el ruido en las personas. Es una herramienta objetiva que facilita la evaluación del ruido y la toma de decisiones relacionadas con él, especialmente en contextos legales y de salud pública donde se requiere precisión y objetividad en la medición del ruido. Aunque no es perfecta, la ponderación A resulta útil para abordar eficazmente problemas de ruido.

La contaminación acústica surge como resultado de diversas actividades, entre las cuales destacan el tráfico vehicular, siendo este el principal generador de ruido ambiental en la mayoría de las ciudades. Además, el tráfico aéreo contribuye significativamente, llegando a alcanzar niveles de presión sonora de hasta 130 dB(A) (**Figura 2**). La industria también juega un papel importante, afectando tanto a la población urbana como a los trabajadores. El comercio, especialmente establecimientos como discotecas y bares, así como actividades lúdicas como eventos deportivos y conciertos, son otras fuentes destacadas de ruido ambiental. Asimismo, la construcción de obras civiles, con el uso de maquinaria pesada, y el perifoneo realizado por vendedores ambulantes, como es el caso en Medellín, también contribuyen significativamente a la contaminación acústica en la ciudad (AMVA, 2024).

Figura 2. Escala de ruido según actividades, aparatos, situaciones y ambientes.

2.2 Secretaría de Medio Ambiente de Medellín

Es una dependencia de nivel central que tiene como responsabilidad la de definir e implementar políticas ambientales, planeación, diseño, ejecución, coordinación y ejecución de estrategias que tengan que ver con la recuperación, protección y conservación de los recursos naturales renovables y la sostenibilidad ambiental (SMA, 2024).

La SMA no es una autoridad ambiental, por lo que está dentro de sus funciones esta dirigir y coordinar con las demás dependencias la formulación e implementación del plan de mitigación y adaptación al cambio climático, teniendo en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), así como la de liderar la implementación de políticas de ámbito ambiental con el fin de implementar estrategias para la conservación de los recursos naturales.

Está conformada por un despacho de la SMA y tres subsecretarías (Gestión Ambiental, Protección Animal y Recursos Naturales Renovables). Dentro de la Subsecretaría de Gestión Ambiental hay un equipo de profesionales conformado llamado “Unidad de Buenas prácticas Ambientales” la cual se encarga de los temas de calidad del aire y residuos sólidos y una de sus funciones es tanto evaluar cómo hacer seguimiento a la calidad acústica de las ZAS por medio de sensores de bajo costo (SMA, 2024).

2.3 Marco normativo

- **Decreto 1076 de 2015:** que compila las disposiciones reglamentarias del sector ambiente, regula el control de emisiones de ruidos, el ruido en sectores de silencio y tranquilidad, las prohibiciones, horarios de ruido permisible, de maquinaria industrial, establecimientos industriales y comerciales ruidosos, el ruido de plantas eléctricas, áreas de amortiguación de ruido, restricción de ruido en zonas residenciales, aeropuertos, sirenas y alarmas.
- **Resolución 627 de 2006:** Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. En esta resolución se establecen las unidades de medida y parámetros, estándares máximos permisibles de emisión de ruido en los diferentes sectores (A, B, C y D), estándares máximos permisibles del ruido ambiental en los diferentes sectores (A, B, C y D), equipos de medida y las mediciones, condiciones meteorológicas para realizar las mediciones, condiciones y requisitos que se debe cumplir en la elaboración de mapas de ruido.
- **Resolución 8321 de 1983:** Por la cual se dictan normas sobre protección y conservación de la salud auditiva y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos. En esta resolución se establece los niveles máximos sonoros dependiendo de la zona (residencial, comercial, industrial y de tranquilidad) para el periodo diurno y nocturno. También medición de niveles de presión sonora dentro de habitaciones, normas de emisión del ruido para fuentes emisoras y protección y conservación de la audición por la emisión de ruido en los lugares de trabajo.
- **Ley 1801 de 2016:** código nacional de seguridad y convivencia. En el Artículo 33 se habla de los comportamientos que afectan la tranquilidad y relaciones respetuosas de las personas en el que están los sonidos o ruidos en actividades, fiestas, reuniones o eventos similares que afecten la convivencia del vecindario.
- **Acuerdo Metropolitano 24 de 2019:** Por el cual se adopta el Plan de acción para la prevención y control de la contaminación por ruido del Valle de Aburrá y se toman otras determinaciones. En este se indica que el AMVA será la responsable de la coordinación e implementación del Plan de Acción para la Prevención y Control de la Contaminación por Ruido, así como los municipios deberán de conformar el Comité de Gestión de Ruido para integrar las diferentes dependencias y liderar acciones que conlleven a una gestión efectiva

en el tema de ruido desde los componentes de planificación, gestión de quejas, monitoreo y seguimiento, educación y cultura.

- **Concepto 02 de 2019 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá:** En este concepto se refiere a las competencias de las diferentes autoridades administrativas en materia de atención de denuncias por presuntas afectaciones derivadas del funcionamiento de establecimientos de comercio.
- **Decreto 883 de 2015 modificado por el Decreto 863 de 2020:** Por el cual se adecúa la Estructura de la Administración Municipal del Distrito de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, las funciones de sus organismos, dependencias y entidades descentralizadas, se modifican unas entidades. El decreto se le asigna a la Subsecretaría de Gestión Ambiental de la SMA, diseñar y coordinar estrategias de mejora de la calidad del aire y la prevención y corrección de la contaminación auditiva, visual y electromagnética, y establecer redes de monitoreo respectivos para controlar la calidad del aire.

2.4 Modelo de Gestión Integral del Ruido de Medellín (MGIR)

Se concibió para responder y solucionar las necesidades de la población del distrito de Medellín en cuanto a ruido ambiental. Su estructuración se basa en el estándar internacional ISO 14001 y el modelo se define como el eje central en el liderazgo de la SMA como articulador para la gestión del ruido ambiental en el territorio. El objetivo del modelo es articular de manera óptima la gestión del ruido con el fin de disminuir la contaminación acústica y cumplir con los objetivos estipulados en el Plan de Acción de Prevención y Control de la Contaminación por Ruido, adoptado por el Acuerdo Metropolitano N° 24 de 2019.

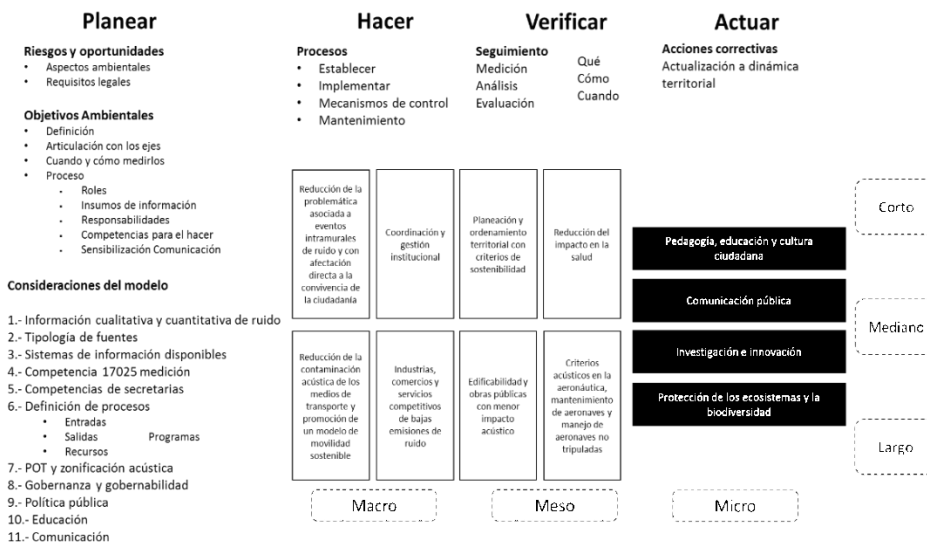
En él se plantean los lineamientos u hoja de ruta para una óptima gestión del ruido por lo que se orienta en accionar a macroescala, mesoescala y microescala, mediante siete programas:

- ZA y Definición de Objetivos de Calidad Acústica.
- Movilidad Sostenible y Disminución del Ruido.
- Gestión de PQRSD Asociadas con Ruido.
- ZAS y ZVA.
- Instrumentos y Herramientas Tecnológicas e Innovadoras para la Intervención en Ruido.

- Acreditación Ante el IDEAM de los Requisitos para Emisión de Ruido, Ruido Ambiental y Ruido Intradomiciliario.
- Pedagogía, Educación y Cultura Ciudadana: Estrategias para la Prevención y Conocimiento sobre la Contaminación Acústica.

Con estos programas se planean unos objetivos y se dan las funciones a las diferentes Secretarías con el fin de cumplir unas metas que ayuden a reducir la contaminación acústica de la ciudad de Medellín a mediano y largo plazo.

Figura 3.Fases y estructura del modelo.



2.5 Zonificación Acuática

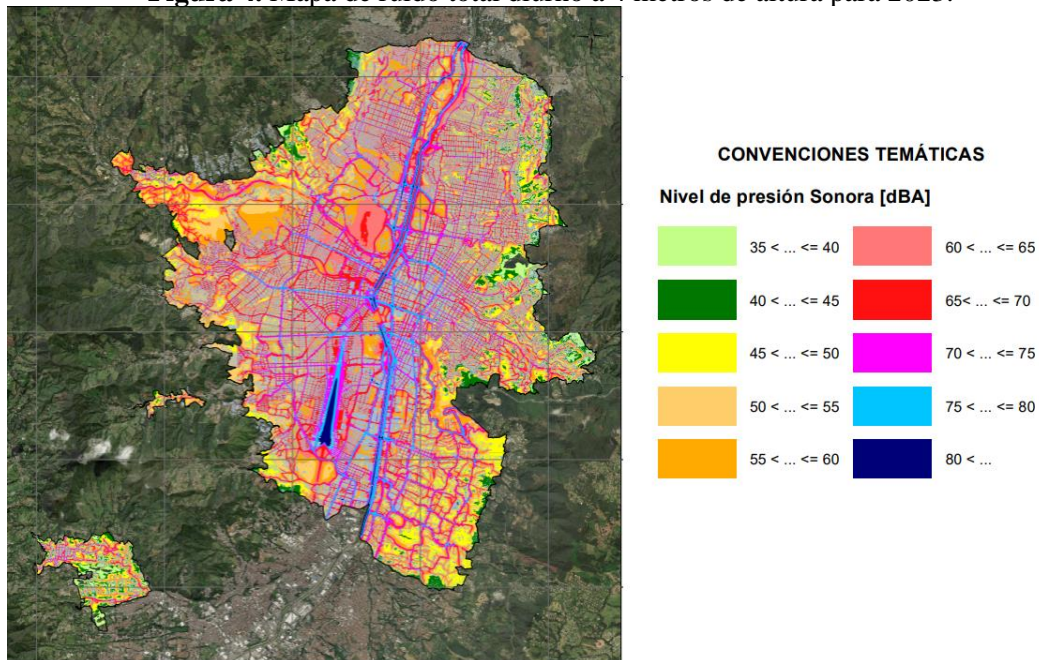
Desempeña un papel esencial en la gestión y planificación del uso del suelo en un área, al considerar la contaminación sonora y su impacto en el entorno. Esta herramienta facilita la identificación de acciones específicas para mitigar o gestionar el ruido de acuerdo con las necesidades territoriales, abordando aspectos como la estructura urbana, el espacio público y las áreas verdes. Además, ofrece apoyo para armonizar los usos del suelo con las particularidades de las actividades realizadas en esas áreas. Las zonas acústicas sirven como conexión entre la gestión acústica y las unidades de tratamiento que deben definirse en el marco del ordenamiento territorial municipal (Indias, s.f.).

En el Valle de Aburrá la problemática del ruido no se ha tenido en cuenta o planteado el ordenamiento del territorio, por lo que ha contribuido a la creciente insatisfacción de la comunidad y el decaimiento de la calidad de vida en muchos sectores de la ciudad (AMVA, 2024; Torres, 2022), debido que no se tienen en cuenta en los POT la contaminación acústica, lo que causa que en un lugar muy reducido convivan deferentes sectores (zonas de alta mixtura) que no deberían estar ocupando la misma zona. Por esta razón la SMA dentro de su Plan de Desarrollo ha establecido un indicador que busca abordar la problemática de contaminación por ruido integrándola en los POT a través de la ZA y los Objetivos de Calidad Acústica.

Los criterios de planificación territorial deben considerar cuidadosamente aspectos de calidad acústica en las zonas urbanas, especialmente aquellas con alta diversidad de usos del suelo. Al establecer una ZA, se definen áreas geográficas específicas dentro del territorio que se orientan hacia la consecución de objetivos comunes de calidad acústica.

2.6 Mapas de Ruido

Son una herramienta indispensable para gestionar el ruido permitiendo identificar los puntos más críticos de la ciudad (que exceden los valores límites) y generar estrategias de prevención, mitigación, control y seguimiento para mejorar estos lugares afectados en la toma de decisiones en cuanto a la organización del territorio, la implementación de políticas y normas ambientales con la problemática del ruido (Murillo et al., 2012). Estos mapas son representaciones de los niveles de presión sonora expresados en decibeles (dB) ya existentes o pronosticados en función de un indicador de ruido y para un periodo de referencia. Según la normativa (Resolución 627 de 2006) estos mapas se deben de realizar por la autoridad ambiental que en el caso de Medellín es el AMVA cada cuatro años en municipios con más de 100.000 habitantes.

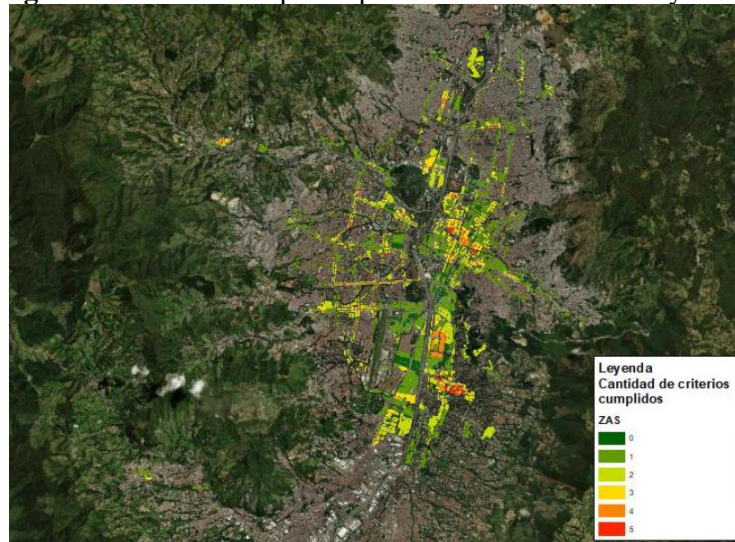
Figura 4. Mapa de ruido total diurno a 4 metros de altura para 2023.

2.7 Zonas acústicamente Saturada -ZAS y Zonas de Vigilancia Acústica -ZVA

Se definen como regiones con altos niveles de ruido, generado por la presencia de diversas actividades recreativas, eventos públicos y establecimientos, así como por la actividad de las personas que participan en ellas, el ruido del tráfico circundante y cualquier otra actividad que contribuya a la saturación del nivel de sonoro en una zona. Estas zonas son áreas donde los niveles del ruido ambiental exceden los valores recomendados por la OMS y los niveles máximos permisibles establecidos por la normativa colombiana (CORANTIOQUIA, 2018).

La designación de una ZAS se realiza cada cuatro años junto con la elaboración de los Mapas de Ruido y la metodología Planteada por el distrito para la aplicación de una ZAS y una ZVA en el Marco de PAU los cuales según el acuerdo 48 de 2014 POT, el capítulo 3 introduce los PAU para el control de actividades económicas. Estos protocolos son herramientas de gestión diseñadas para facilitar la localización de actividades económicas que podrían tener un impacto negativo en áreas residenciales. Su objetivo es abordar las condiciones operativas de las actividades en relación con sus efectos ambientales y urbanísticos, a fin de mantener una adecuada calidad ambiental urbana.

Figura 5. Criterios cumplidos para la definición de ZAS y ZVA.

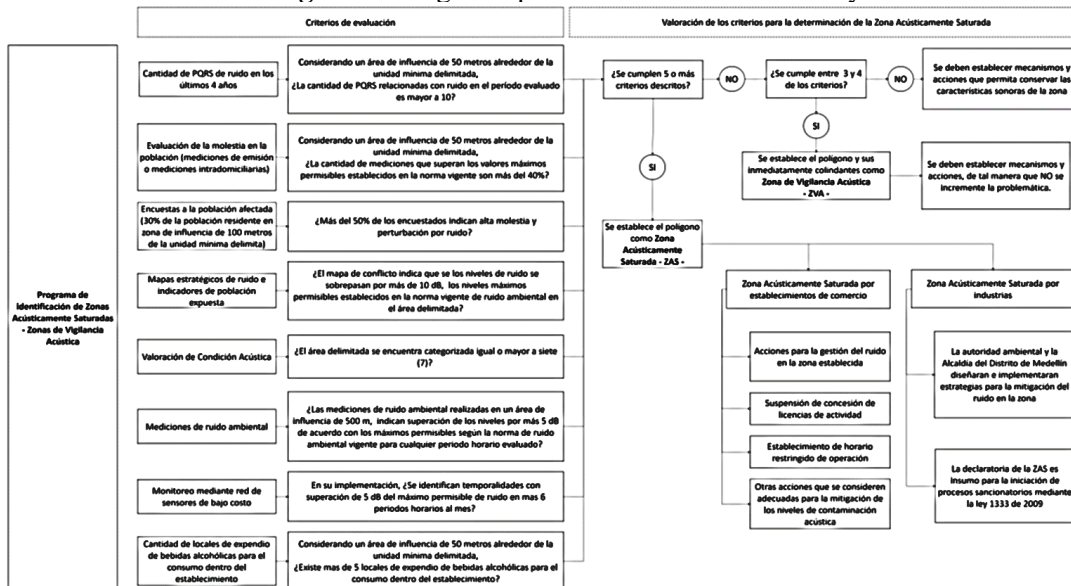


Estas áreas se identifican mediante la evaluación de siete criterios:

- Cantidad de PQRS de ruido en los últimos cuatro años.
- Evaluación de la molestia en la población (mediciones de emisión o mediciones intradomiciliarias).
- Encuestas a la población afectada (30% de la población residente en zona de influencia de 100 metros de la unidad mínima delimita).
- Mapas estratégicos de ruido e indicadores de población expuesta.
- Valoración de Condición Acústica.
- Mediciones de ruido ambiental.
- Monitoreo mediante red de sensores de bajo costo
- Cantidad de locales de expendio de bebidas alcohólicas para el consumo dentro del establecimiento.

La declaración de una ZAS ocurre cuando se cumplen cinco o más de estos criterios (**Figura 6**). En caso de cumplirse entre tres y cuatro, se designa ZVA. En las ZVA, se implementan acciones para evitar un aumento en la contaminación acústica y prevenir su transformación en ZAS, lo cual contribuiría a mitigar los problemas relacionados con el ruido en la ciudad (SMA, n.d.).

Figura 6. Diagrama para determinación de ZAS y ZVA.



Con esta metodología y con ayuda de los mapas de ruido realizado por el AMVA cada cuatro años según la normativa colombiana, se identificaron tres ZAS y 15 posibles ZVA que según la Figura 7, están en los siguientes barrios, comunas o zonas: Castilla, Aranjuez, Chagualo, Centro de Medellín, Caribe, la avenida 80 (barrio floresta), carrera 70, avenida 33, y barrio Colombia.

Los ZAS identificados según la metodología son los siguientes:

- **Sector Poblado:** Polígonos que comprenden al sector demarcado por el Parque Lleras y Provenza. Además, se logran evidenciar los siguientes polígonos en la misma zona: polígono demarcado por la calle 10 entre la carrera 40 y carrera 37, polígono demarcado por carrera 43A entre la calle 8 y la calle 9, polígono demarcado por la calle 10 entre la carrera 43F y la carrera 43D.
- **Sector Laureles:** polígono demarcado por la carrera 70 entre la transversal 42 y la circular 5.
- **Sector Centro:** Polígonos demarcados por la avenida de Greiff entre la carrera 53 con la calle 54. Además, se logra evidenciar otro polígono demarcado por la avenida La Playa entre la Avenida Oriental y la carrera 43.

Figura 7. ZAS identificadas en el distrito de Medellín.

2.8 Efecto del Ruido en la Salud

La contaminación acústica en el Valle de Aburrá sigue aumentando a medida que transcurren los años y se ha convertido en una problemática de trascendencia social dada las implicaciones que tiene sobre la calidad de vida de la población (AMVA, 2023). Su impacto en la salud es cada vez más preocupante dado que en los entornos urbanos la contaminación de ruido debido al tráfico, por ejemplo, altera el sueño; estas alteraciones traen consigo efectos graves en la salud de las personas ya que exposiciones a ruidos a largo plazo puede provocar enfermedades cardiovasculares por aumento del ritmo cardiaco (Frei et al., 2014).

Los efectos adversos se refieren a cambios en la estructura y funcionamiento de un organismo que resultan en la ruptura de su capacidad funcional o en la incapacidad para hacer frente al estrés adicional. En el caso del ruido, estos efectos adversos abarcan no solo alteraciones en el sistema auditivo, sino también cambios en la morfología y fisiología de otros órganos y sistemas que no están directamente vinculados al proceso de audición (ISCIII, 2016).

Hay dos tipos de efectos en la salud que puede ocasionar el ruido, los auditivos y los no auditivos (**Tabla 1**).

Tabla 1. Efectos en la salud de la contaminación acústica.

Efectos Auditivos	
Pérdida de audición	Este fenómeno se produce cuando hay un incremento en el umbral de audición de una persona, resultado de cambios en la estructura de las células ciliadas internas de la cóclea, las cuales están conectadas al nervio auditivo (Basner et al., 2014).

Acúfenos	Efectos sonoros o sonidos que se generan en el oído interno, debido a largas exposiciones al ruido. Esto suele causar interrupciones en el sueño y la capacidad de mantener la atención.
Reclutamiento auditivo	Hay una distorsión en la precepción de los niveles sonoros, por lo que el oído a un determinado umbral oye más de lo normal, provocando una determinada sensación sonora mayor que la de un oído sano.
Efectos no Auditivos	
Malestar	Es uno de los efectos más comunes que causa el ruido en las personas y la mayoría de las quejas en cuanto a este es por la generación de malestar. Cuando se habla de malestar se presentan síntomas como: rabia, intranquilidad, ansiedad, estrés, inquietud (C&T, 2006). El nivel de malestar que presentan las personas no varía dependiendo de que tanto sea de intenso el ruido, sino, de factores como miedos asociados a diferentes ruidos (ISCIll, 2016).
Trastornos del sueño	El ruido puede afectar el sueño de tres formas principales: interferir con su inicio, alterar su calidad y provocar interrupciones. Estos efectos se llaman alteraciones primarias del sueño. Además, pueden surgir efectos nerviosos durante el sueño, como aumento de la presión arterial y del ritmo cardíaco. Las consecuencias secundarias incluyen una sensación de sueño menos reparador, fatiga y cambios en el comportamiento. A largo plazo, la exposición continua al ruido durante el sueño podría contribuir al desarrollo de enfermedades crónicas (Basner et al., 2014).
Perdida de atención, concentración y rendimiento	Cuando una tarea requiere señales de sonido, el ruido de fondo puede ocultar esas señales o dificultar su percepción. Los ruidos repentinos pueden distraer y reducir el rendimiento en trabajos que requieren concentración, lo que puede llevar a errores y disminuir la calidad del trabajo (ISCIll, 2016). Estas distracciones también pueden causar accidentes laborales o de tráfico y en algunos casos, como en la educación de los niños, la exposición prolongada al ruido puede afectar negativamente el aprendizaje de habilidades como la lectura, causando dificultades y un menor dominio en esa área (El Yamlahi Chahdi et al., 2024). En aulas de clase ubicadas cerca de vías de alto tráfico vehicular, aeropuertos, o zonas industriales se ha evidenciado un retraso del aprendizaje de los estudiantes en cuanto a la lectura (C&T, 2006).

Estrés fisiológico	La exposición al ruido puede generar estrés en el cuerpo, manifestado principalmente a través de aumento de la presión arterial, cambios en la frecuencia cardíaca y estrechamiento de los vasos sanguíneos. Estos efectos están vinculados a una sobreactivación del sistema nervioso autónomo y endocrino, pudiendo a largo plazo contribuir al desarrollo de hipertensión arterial y enfermedades cardiovasculares. El ruido nocturno parece tener un impacto mayor que el diurno, posiblemente debido a la dificultad de adaptación del cuerpo durante el sueño, además, la exposición prolongada a niveles elevados de ruido puede aumentar la viscosidad de la sangre y los niveles de lípidos y glucosa, los cuales son factores que pueden aumentar el riesgo de desarrollar arteriosclerosis y diabetes (Basner et al., 2014).
---------------------------	---

2.9 Efecto del ruido en la fauna

La contaminación acústica representa una amenaza importante para la fauna, tanto en entornos urbanos como naturales. Por ejemplo, las aves dependen en gran medida de su capacidad auditiva para comunicarse, encontrar pareja y detectar posibles peligros. Sin embargo, el ruido constante generado por actividades humanas, como el tráfico o la construcción, puede interferir en estas funciones vitales. Estudios han demostrado que niveles elevados de ruido pueden disminuir la tasa de reproducción de algunas especies de aves, lo que a largo plazo puede afectar negativamente a sus poblaciones (Abou-Zeid et al., 2024).

Además, los murciélagos, que se guían principalmente por el eco del sonido para ubicar a sus presas durante la caza nocturna, pueden ver obstaculizada su capacidad de encontrar alimento debido al ruido ambiental. Esto no solo afecta a los murciélagos directamente, sino que también puede tener repercusiones en la cadena alimentaria y en el equilibrio de los ecosistemas (Carreño Contreras, 2023).

La presencia de contaminación acústica también puede afectar a las interacciones entre depredadores y presas. Por un lado, los depredadores pueden verse obligados a abandonar áreas con altos niveles de ruido en busca de lugares más tranquilos, lo que podría alterar la dinámica de las poblaciones de presas y afectar la vegetación circundante.

Los eventos masivos, como conciertos o festivales al aire libre, también contribuyen a la contaminación acústica. El ruido intenso y repentino generado por estos eventos puede causar

estrés en las aves, llevándolas a abandonar sus áreas de reproducción y migrar hacia entornos más silenciosos. Esta migración puede exponerlas a riesgos adicionales, como la depredación, especialmente durante la noche (Battisti, 2024).

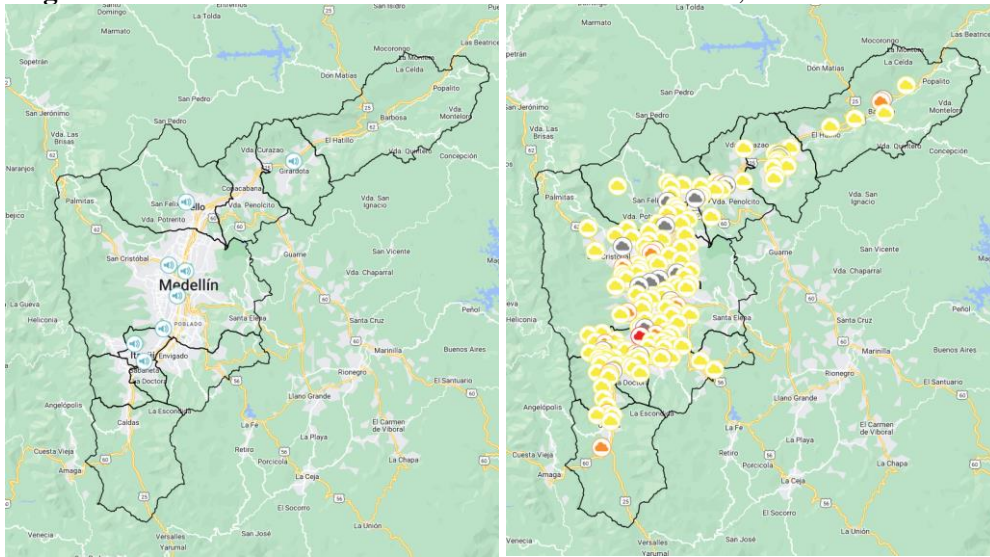
En cuanto a los animales domésticos, como perros y gatos, una problemática que se vive en la ciudad de Medellín durante finales de año, especialmente en noviembre y diciembre, es la pirotecnia lanzada durante las celebraciones. La tradición de lanzar fuegos artificiales y pólvora durante la "alborada" del 1 de diciembre, desde las épocas del narcotráfico en Medellín, afecta no solo la calidad del aire de la ciudad, sino también a la fauna que habita en ella o cerca de ella. Los animales domésticos, debido a su aguda sensibilidad auditiva, pueden experimentar desorientación, miedo, fobias y estrés postraumático debido a los sonidos causados por la pirotecnia durante estas épocas del año (Tatiana & Bernal, 2023).

2.10 Monitoreo ambiental del ruido en el Valle de Aburrá

El monitoreo del ruido en el Valle de Aburrá se hace a través del proyecto Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá-SIATA, con una red de monitoreo de ruido ambiental de 8 estaciones de ruido repartidas en cinco municipios (Medellín, Sabaneta, Itagüí, Bello y Girardota). Estas estaciones están ubicadas estratégicamente en lugares donde la influencia del tráfico vehicular, los locales comerciales y la industria son significativamente influyentes. El principal objetivo de la red de monitoreo es proporcionar la información necesaria para la formulación y desarrollo de políticas y estrategias para la gestión del ruido y la mejora de la calidad acústica de los municipios del Valle de Aburrá.

La iniciativa ciudadanos científicos del SIATA el cual es un programa de ciencia, educación y tecnología con recursos del AMVA mediante el cual los ciudadanos ofrecieron voluntariamente sus hogares para la instalación de un sensor de bajo costo para la medición de la calidad acústica. Esta iniciativa a la hora de realizar este estudio cuenta con 233 sensores de bajo costo para el monitoreo ambiental y la idea es aumentar este número hasta alcanzar la totalidad de sensores disponibles.

Figura 8. Sistema de monitoreo del ruido en Valle de Aburrá, a través del SIATA.



2.11 Sensores de bajo costo

Estos sensores son similares a los utilizados por el SIATA para su programa de ciudadanos científicos y se denominan IoT; para la medición de ruido es una solución tecnológica que permite capturar, transmitir y almacenar datos sobre los niveles de ruido en tiempo real. El sistema está compuesto por una variedad de componentes de hardware y software diseñados para trabajar en conjunto y brindar información precisa y detallada sobre el nivel de ruido en un entorno determinado.

Figura 9. Sensor IoT utilizados en la prueba piloto.



El sistema utiliza un sensor de nivel de ruido, *el Sound Level Meter V1.0*, para medir los niveles de sonido en decibeles (dB). Este sensor está conectado a una *Raspberry Pi 4*, un dispositivo de cómputo compacto y potente que se encarga de coordinar la recolección y

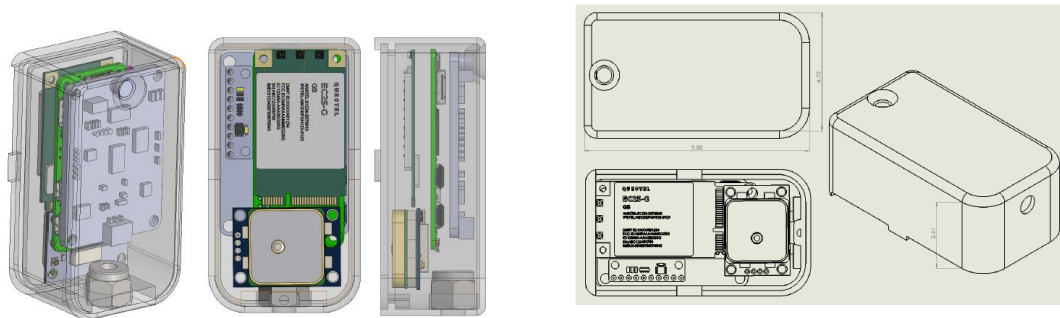
transmisión de datos. La Raspberry Pi procesa los datos y los envía a la nube mediante un módulo de comunicación 4G, el EC25-AFX, que permite la conexión a una red celular de alta velocidad.

Una vez en la nube, los datos se almacenan en una base de datos SQL, lo que permite su acceso para su análisis y visualización en tiempo real. Los datos pueden ser visualizados en paneles de control desarrollados en plataformas como Power BI o Tableau, proporcionando una visión clara y concisa de los niveles de ruido en diferentes ubicaciones y momentos.

El sistema utiliza el protocolo MQTT para la transmisión de datos entre los dispositivos IoT y la nube, lo que facilita la comunicación y garantiza una transferencia de datos rápida y eficiente. Además, el sistema está equipado con un módulo GNSS, el L76X, que ofrece posicionamiento rápido y preciso (GPS) del dispositivo IoT, y un convertidor análogo-digital, el ADC-ADS1115, que convierte las señales analógicas a digitales para su procesamiento. Este dispositivo IoT ofrece varias ventajas, incluyendo un bajo costo que permite una implementación accesible para diversos presupuestos, facilidad de uso que no requiere conocimientos técnicos especializados, datos en tiempo real disponibles instantáneamente para su análisis y toma de decisiones, visualización clara a través de paneles y cuadros de mando, y escalabilidad que permite ampliar el sistema agregando más dispositivos a la red para cubrir áreas más extensas.

Las aplicaciones de este dispositivo IoT son diversas e incluyen el monitoreo ambiental para evaluar el impacto del ruido en áreas residenciales, comerciales e industriales, la gestión del tráfico para optimizar la señalización, reducir la congestión y mejorar la seguridad vial, y la protección de la salud en el lugar de trabajo para proteger la salud auditiva de los trabajadores y cumplir con las regulaciones de seguridad.

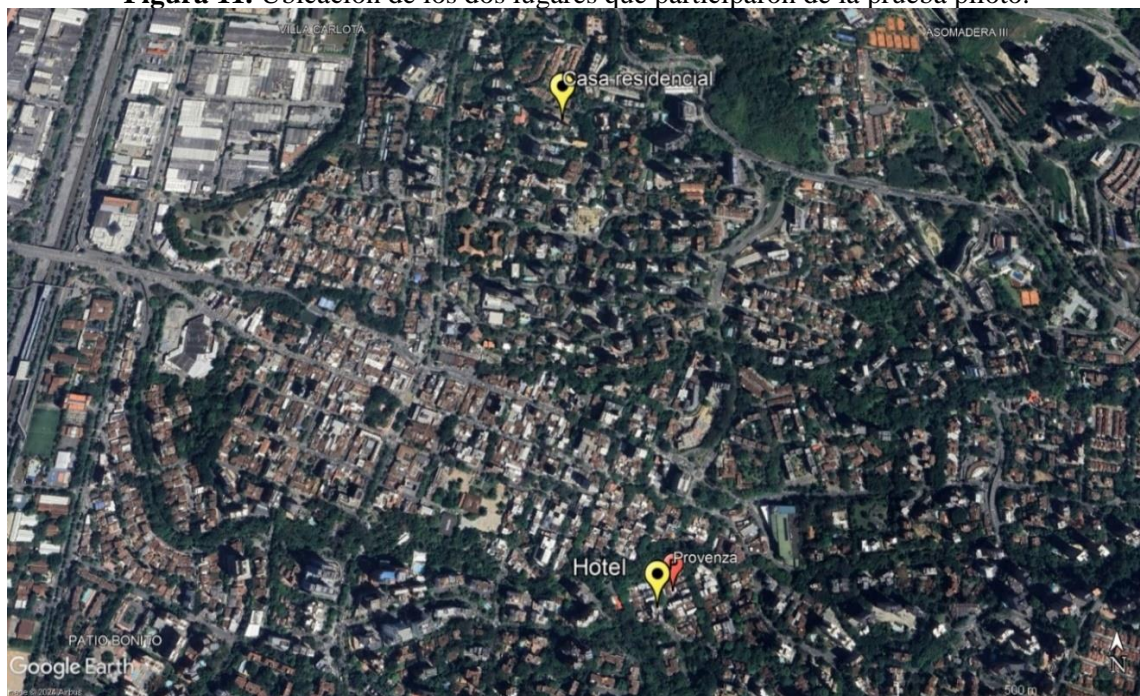
Figura 10. Estructura y partes del sensor de bajo costo.



3 Metodología

La prueba piloto se realizó en la comuna 14 en el barrio El Poblado (Provenza entre la calle 7 con carrera 35 y en Manila poblado), en el mes de diciembre del año 2023. Esta zona se caracteriza por ser una de los sitios más turísticos de la ciudad y con mucha actividad de comercio por sus numerosos restaurantes, bares y hoteles, lo que la hace una zona rosa en el distrito, muy concurrida y visitada por los turistas (Torres, 2022).

Figura 11. Ubicación de los dos lugares que participaron de la prueba piloto.



Dicho esto y, dada la problemática actual que vivía el sector por la contaminación acústica, la SMA por medio de la Subsecretaría de Gestión Ambiental adquirió cinco sensores de bajo costo que miden el nivel sonoro en dB, para hacer una prueba piloto de monitoreo del ruido con el fin de

reducir la contaminación acústica de la zona y cumplir con lo estipulado en el MGIR de Reducir al 50% para 2031 de la cantidad de ZAS en el Distrito así como también con lo estipulado en el Plan para la Prevención y Control de la Contaminación por Ruido del Valle de Aburrá.

A continuación, se presentan las etapas necesarias para el cumplimiento de los objetivos:

3.1 Planteamiento metodológico

Selección de sitios de instalación de sensores: Se realizaron visitas previas para informar a los dueños o administradores de los locales comerciales sobre el proyecto de la prueba piloto, con el fin de que se animaran a participar. Lamentablemente, durante este periodo, ningún local comercial mostró interés en participar y no se dispone de un documento que explique las razones de esta decisión.

Se seleccionaron dos sitios específicos para la instalación de los sensores, tomando en cuenta factores como la protección contra la lluvia, la sombra para evitar la radiación solar directa y áreas con baja incidencia de viento. Se priorizó la accesibilidad para el mantenimiento y la calibración, la seguridad del sensor y del personal, así como la visibilidad del área a ser monitoreada.

Planificación de la prueba piloto: La prueba piloto tuvo una duración de aproximadamente 20 días, del 11 al 31 de diciembre. En un principio, los sensores transmitían datos cada minuto, pero se decidió programarlos para que transmitieran datos cada cinco minutos con el fin de reducir el volumen de datos y no saturar la plataforma receptora.

Estos sensores, como ya se explicó en el marco teórico, utilizan datos móviles para la transmisión. Por esta razón, se adquirieron cinco SIM *cards* de la empresa Claro Colombia, las cuales incluían un paquete de 20 GB para asegurar que los datos fueran suficientes durante todo el mes, dado que los sensores estuvieron conectados a la corriente eléctrica las 24 horas. Este paquete de datos tuvo un costo de 35,000 pesos por SIM *card*, lo que suma un total de 175,000 pesos colombianos para todos los sensores.

La iniciativa de este proyecto estaba diseñada para funcionar durante al menos seis meses, pero debido a que la prueba se realizó en diciembre de 2023, coincidió con el cambio de administración, lo cual provocó que muchos proyectos se detuvieran por la finalización de

contratos de contratistas y convenios con universidades, en este caso, la Universidad de San Buenaventura. La iniciativa se retomó en marzo de 2024 cuando se decidió por parte de la nueva administración retomar con a prueba piloto, pero esta vez específicamente en Provenza-Poblado, con el fin de estudiar la problemática desde una escala más puntual y no tan general como lo es el Poblado, el cual es un barrio grande con unos focos muy específicos de contaminación acústica (**Anexos**).

Para realizar la prueba piloto, se instalaron dos sensores: uno en un hotel y otro en una casa familiar. De los tres sensores restantes, uno no pudo establecer conexión con la base de datos para transmitir, por lo que se envió a la Universidad de San Buenaventura para que los ingenieros de sonido pudieran determinar la falla. Los dos sensores restantes se instalaron en la oficina de la SMA, ubicada en el séptimo piso del edificio Plaza de la Libertad, en el sector Alpujarra, ya que no fue posible encontrar más locales comerciales interesados en participar en ese periodo. Los sensores instalados en las instalaciones de la SMA no serán tenidos en cuenta para el análisis de los resultados ya que no se encuentran en el sector del Poblado.

Tabla 2. Direcciones de los participantes de la prueba piloto.

Nombre local comercial	Dirección	Tipo de comercio /uso
Hotel	Carrera 35 con calle 7	Hotel
Casa familiar	Calle 17 #40b-76	Residencial
Ed Plaza de la Libertad	Carrera 53a # 42a - 101	Público

Recolección de los datos: Los datos recolectados por los sensores se almacenaron en la nube por medio de la plataforma FIWARE la cual es una iniciativa de código abierto que ofrece una infraestructura para el desarrollo de servicios y aplicaciones inteligentes, con especial enfoque en áreas como ciudades inteligentes para la monitorización del tráfico en tiempo real o en la gestión de residuos sólidos en la optimización de rutas para la recolección de basuras, en IoT por medio de dispositivos que miden en tiempo real y transmiten datos cada cierto tiempo, para en control y la gestión tal y como se hizo en esta prueba piloto.

3.2 Análisis de los datos

3.2.1 Unidad de estudio

Para llevar a cabo el análisis de los datos, es fundamental entender primero la unidad de medida de este estudio: el decibelio (dB). Los decibelios se expresan en una escala logarítmica, por lo que, para realizar operaciones aritméticas como sumas, restas, multiplicaciones, divisiones, promedios, entre otras, es necesario transformar estos valores a su escala lineal, que es en Pascales.

Para lograr esta transformación, se deben convertir los valores en dB de cada dato recolectado a su estado lineal de la siguiente manera:

$$Pa^2 = 10^{\left(\frac{dB}{10}\right)} \quad (1)$$

Con el fin de realizar operaciones aritméticas se utiliza un modelo de transición logarítmica lineal que en pocas palabras es la ecuación para transformar Pa^2 a dB, mediante un modelo ya simplificado, y es expresado por medio de la ecuación (2):

$$dB = 10 * \log_{10}(Pa^2) \quad (2)$$

Como el objetivo principal de este trabajo es realizar promedios ponderados para evaluar cómo se comporta el ruido en periodos diurnos y nocturnos la ecuación que se utilizó para obtener los promedios es:

$$dB = 10 * \log_{10}\left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{Pa^2}{n}\right)\right) \quad (3)$$

Con esta ecuación se obtuvieron los promedios necesarios para realizar el análisis. Sin embargo, es importante destacar que estos no son promedios normales, sino promedios ponderados de nivel de ruido debido a la naturaleza de este. Por esta razón, en temas relacionados con el ruido, siempre se habla de ponderaciones.

3.2.2 Ajustes K

Según la Resolución 627 de 2006, se deben hacer ajustes K a los niveles de presión sonora ponderados mediante correcciones por impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipos de fuentes y receptores para obtener niveles corregidos. Para entender mejor si se necesitan hacer estos ajustes, hay que tener presente que los datos que tenemos son datos generales de ruido en un punto específico, que se generalizan como ruido ambiental, ya que provienen de

muchas fuentes sonoras. Estos datos se denominan decibeles de banda ancha, ya que abarcan todo el espectro de frecuencias de 20 a 20,000 Hz (**Figura 1**), que representa el espectro audible. No hay un filtrado en rangos dentro de ese espectro audible debido a que el dispositivo de medición es de bajo costo y, como es un sistema de monitoreo continuo, no tiene la capacidad de realizar ese filtrado frecuencial, algo que sí pueden hacer los sonómetros, que son mucho más caros.

El filtrado frecuencial es necesario solo si se van a hacer ajustes K tonales (kT). Dado que los datos que tenemos son niveles de presión sonora instantáneos, obtenidos por la suma de toda la banda ancha explicada anteriormente, no se realiza este tipo de ajuste.

Con respecto a los ajustes por impulsividad (K_i), no se realizan debido a que el sistema de medición solo capta datos en intervalos de tiempo específicos, por lo que no tiene la capacidad de medir datos de ruido en los primeros 0.5 segundos, 1 segundo o 100 milisegundos. Este representa el lapso nervioso que emula un sonómetro, y sin este, no se puede determinar si el sonido capturado es impulsivo o, en otras palabras, muy rápido debido a que el sensor no cuenta con esta capacidad. Por esta razón, no se hace este tipo de ajuste.

En cuanto al ajuste por baja frecuencia (K_s), no se realiza porque durante el monitoreo no hubo evidencia de la presencia de turbinas, ventiladores, ductos u otros elementos que, por su naturaleza, generan sonidos de muy baja frecuencia.

3.2.3 Visualización de los datos

Para llevar a cabo la visualización de los datos, se empleó el lenguaje de programación *Python* a través de *Jupyter Notebook*. En primer lugar, se realizó una verificación para identificar la presencia de datos faltantes y calcular su porcentaje. En la literatura no hay un porcentaje absoluto mínimo de datos faltantes que se considere aceptable para que el análisis tenga validez, ya que esto puede variar dependiendo del contexto. Sin embargo, se considera que cuando los datos faltantes están por debajo del 5%, el impacto sobre los resultados será mínimo. Cuando se encuentran entre el 5% y el 20%, pueden tener un impacto moderado, mientras que si superan el 20%, existe un riesgo significativo de sesgo y pérdida de poder estadístico (Enders, 2023; Schafer & Graham, 2002).

Posteriormente, la información recolectada en un archivo Excel se transformó de dB(A) a Pa^2 tal y como se planteó en la primera parte de la metodología para analizar los datos. Esto se

hizo con el fin de realizar el cálculo aritmético de los promedios ponderados de nivel sonoro diarios, tanto diurnos como nocturnos, y también de los promedios ponderados totales diurnos y nocturnos para la semana (de lunes a viernes) y para los fines de semana (sábado y domingo).

Luego, para realizar las diferentes gráficas, se utilizaron las bibliotecas *NumPy*, *Pandas* y *Matplotlib*. *NumPy* se basa principalmente en el procesamiento numérico y científico de los datos, con la capacidad de almacenar y manipular una gran cantidad de conjuntos de datos numéricos. *Pandas*, basada en *NumPy*, permite trabajar con datos estructurados en forma de tablas llamadas *DataFrames*, lo que facilita la manipulación de los datos en este estudio. *Pandas* ofrece una amplia gama de herramientas para el análisis de datos, como el filtrado, la agrupación y los cálculos estadísticos, que fueron esenciales para la realización de las gráficas presentadas en los resultados de este estudio. *Matplotlib* es crucial para la visualización de los datos mediante gráficos. Se leyeron los datos y se procedió a crear los *DataFrame* de esta manera:

Figura 12. Código para crear un *DataFrame* de una hoja específica de Excel.

```
# Leer una hoja específica en un DataFrame
df_CSem1 = pd.read_excel(archivo_excel, sheet_name='Sem1')
df_CSem2 = pd.read_excel(archivo_excel, sheet_name='Sem2')
df_CSem3 = pd.read_excel(archivo_excel, sheet_name='Sem3')
df_CFs1 = pd.read_excel(archivo_excel, sheet_name='Fs1')
df_CFs2 = pd.read_excel(archivo_excel, sheet_name='Fs2')
df_CFs3 = pd.read_excel(archivo_excel, sheet_name='Fs3')
```

Con este código se crearon los *DataFrame* y se le dio un nombre específico a cada uno con el fin de facilitar el proceso de graficado.

Figura 13. Código para convertir columnas específicas de un *DataFrame* en un *DateTime*.

```
#Ahora intenta convertir la columna 'Dia' a datetime
df_CSem1['Dia'] = pd.to_datetime(df_CSem1['Dia'])
df_CSem2['Dia'] = pd.to_datetime(df_CSem2['Dia'])
df_CSem3['Dia'] = pd.to_datetime(df_CSem3['Dia'])
df_CFs1['Dia'] = pd.to_datetime(df_CFs1['Dia'])
df_CFs2['Dia'] = pd.to_datetime(df_CFs2['Dia'])
df_CFs3['Dia'] = pd.to_datetime(df_CFs3['Dia'])
```

Este paso de convertir la columna *Dia* en *DateTime* se hace con el propósito de hacer manipulación de las fechas al realizar operaciones específicas con estas como extracción de días, meses o años, también, filtrar o agrupar en un rango de fechas para realizar operaciones como promedio o sumatorias y para realizar un ordenamiento y visualización de los datos por medio de gráficos.

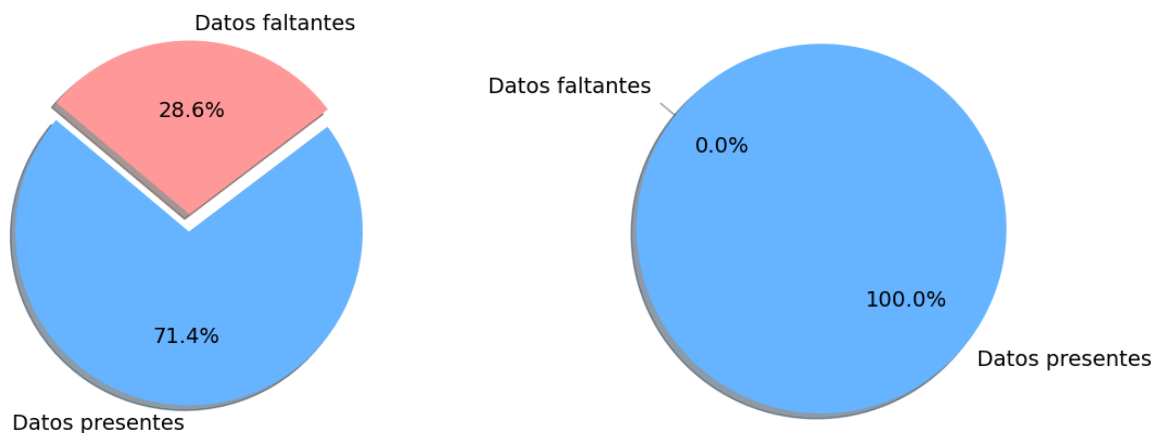
Dentro de los gráficos realizados se hicieron series de tiempo, gráficos de dispersión, porcentaje de datos faltantes, gráficos de barras con los valores promedio ponderado tanto diurno como nocturno como lo estipula la normativa colombiana en la Resolución 627 de 2006. Los datos de niveles de ruido se compararon con los valores estándares permisibles según la normativa colombiana y la OMS por medio de análisis cruzado de variables muy sencillo, el cual básicamente se trata de en una misma gráfica visualizar los datos obtenidos con la normativa colombiana.

4 Resultados y análisis

Los sensores estuvieron conectados desde el 11 hasta el 31 de diciembre. Los dos dispositivos que fueron conectados en el edificio Plaza de la Libertad donde se encuentran las instalaciones de la SMA, transmitieron datos solo un día y cuatro días respectivamente, por lo que no es posible hacer un análisis de estos datos; además, estos sensores fueron ubicados fuera del área de estudio donde se quiere evaluar la problemática (el Poblado). Por tal motivo estos datos no fueron tomados en cuenta para la realización del análisis de los datos que se realizaron en este ítem.

Por lo expuesto anteriormente para el análisis de los datos solo se tomó datos recolectados para el Hotel ubicado en Provenza y la casa residencial, ubicados ambos en el barrio el Poblado en Medellín.

Figura 14. Porcentaje de datos faltantes para los dos sitios de medición.



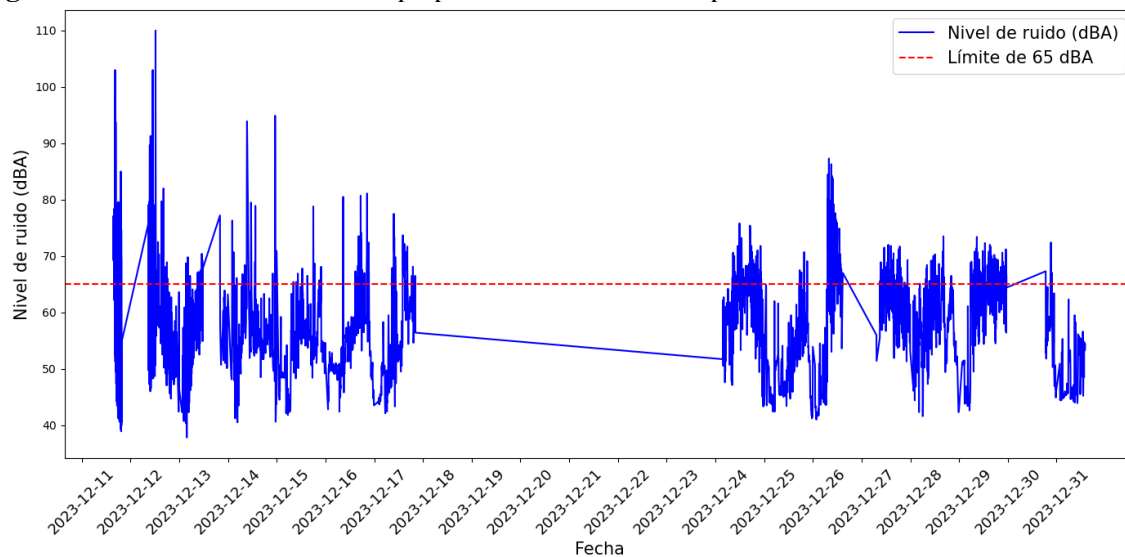
En la **Figura 14** se puede observar que durante el periodo de medición en el hotel se obtuvo un 28.6% de datos faltantes, debido a que no se recolectaron datos entre los días 18 y 23 (**Figura 15**). Esto puede suceder porque en esos días el sensor pudo haber sido desconectado de la fuente

de energía, o el GPS del sensor no logró conectarse y transmitir datos a la plataforma. Otra posibilidad es que durante ese periodo no hubo suministro de energía eléctrica en el hotel o en esa parte específica del hotel. Aunque es poco probable, ya que este periodo hay buena actividad turística y los cortes de luz por inactividad o fallas en el suministro son raros, pero no se debe descartar esta posibilidad.

Para el sensor ubicado en la casa residencial, no hay datos faltantes con respecto a los días en que se realizaron las mediciones, ya que durante todo el periodo de medición se lograron recolectar datos diariamente.

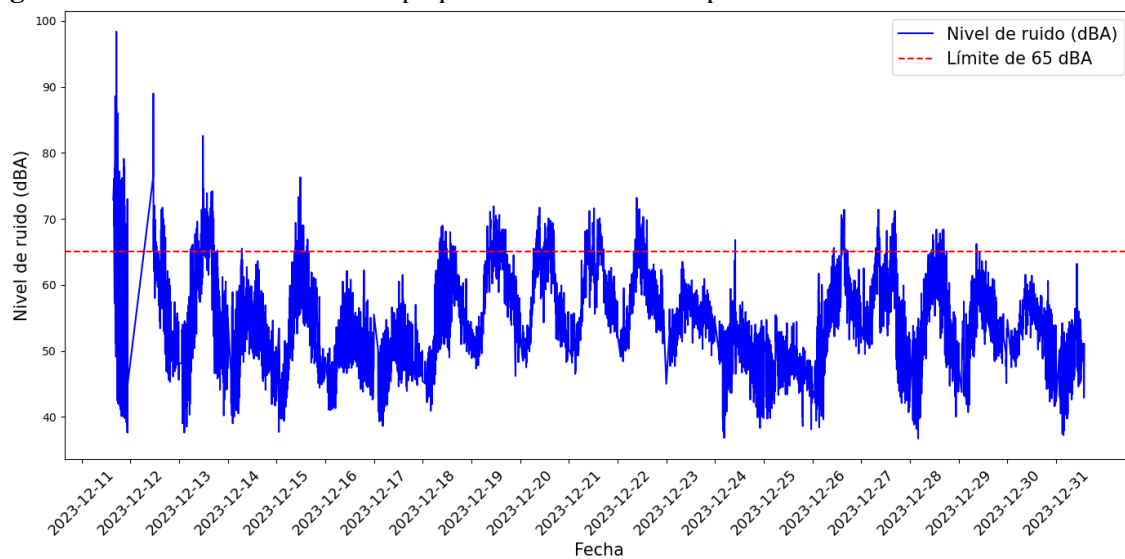
A pesar de que el porcentaje de datos faltantes es de moderado a alto, es posible, mediante métodos estadísticos, completar estos vacíos siempre y cuando no sean muy grandes, como por ejemplo una hora de datos o 100 datos. Se pueden aplicar interpolaciones mediante métodos de suavizado, usando medianas móviles, ventanas de Gauss, entre otros (Schafer & Graham, 2002). Existen muchas maneras de “llenar” estos vacíos, pero cuando se tiene una brecha de 6 días consecutivos no es posible realizar estos procedimientos, lo que convierte esos datos en material difícil de analizar. Por esta razón, en la mayoría de los gráficos se analizaron la semana 1 y la semana 3, las cuales contenían datos para ambos sitios.

Figura 15. Gráfico de serie de tiempo para el hotel durante el periodo 11 al 31 de diciembre del 2023.



Los datos se compararon con el límite sonoro de 65 dB(A), el nivel a partir del cual, según la OMS, comienzan a presentarse afectaciones en la salud de las personas. Dado que la gran cantidad de datos dificulta observar un patrón claro del ruido, se realizaron gráficos de dispersión para los días de la semana entre martes y jueves, y para los días de fin de semana entre sábado y domingo, con el fin de determinar cómo se comportaban los datos en distintos periodos de la semana. Se decidió no tomar los lunes para realizar estos gráficos debido que en este mes hubo dos lunes festivos.

Figura 16. Gráfico de serie de tiempo para la casa durante el periodo 11 al 31 de diciembre del 2023.



En la **Figura 17** y **Figura 18** representan las series de tiempo para los días de la semana 1 y 3 respectivamente. Se tomaron los datos de martes a jueves para tener una representación de cómo es el comportamiento sonoro durante días que no son festivos o no hay tanta actividad nocturna en la zona. El gráfico azul son los datos medidos en el hotel, mientras que el gráfico naranja son los datos medidos en la casa residencial.

De las dos gráficas se puede evidenciar que presentan un comportamiento muy similar durante las dos semanas evaluadas y se nota que hay mayor actividad durante las horas diurnas que es donde se encuentran los picos de ambos sitios estudiados mientras que en la noche es donde ocurre los bajones de niveles de ruido. Esto es de esperarse dado que este sector la vida nocturna empieza desde la noche del día jueves hasta la noche del domingo normalmente, por lo que el comportamiento en estas dos semanas es algo esperado.

Se puede evidenciar que en ambas graficas para los valores recolectados por el hotel hay varios vacíos debido a la falta de datos en algunas horas de varios días, esto es debido a lo que se explicó anteriormente, y por lo cual se notó que no se les hizo seguimiento a los sensores de manera diaria para determinar si estaban llegando los datos correctamente.

Figura 17. Serie de tiempo para la semana 1.

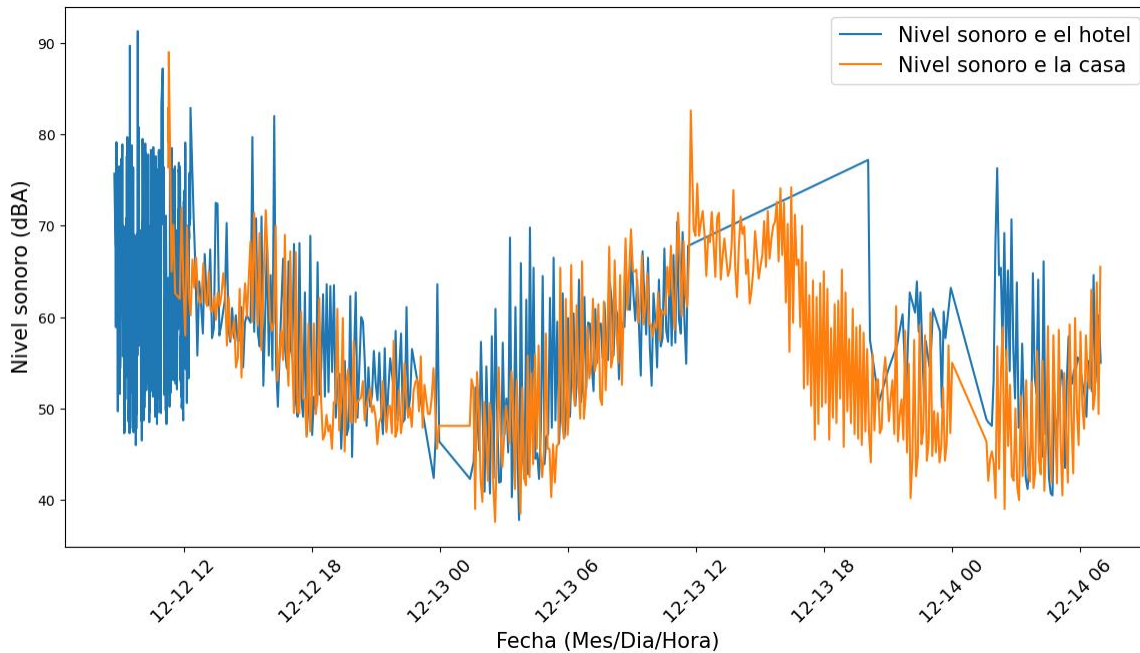
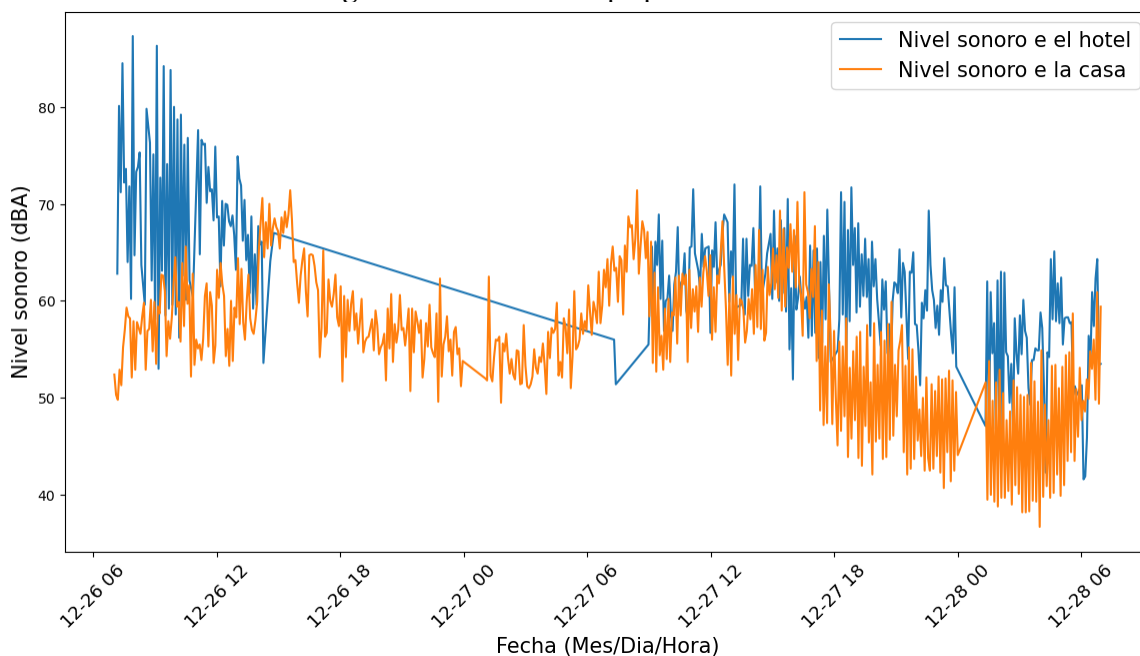


Figura 18. Serie de tiempo para la semana 3.



Las **Figura 19** y **Figura 20** muestran la serie de tiempo para los fines de semana 1 y 3, abarcando los días sábado y domingo. Se puede evidenciar que para el fin de semana 1 los niveles sonoros en el hotel son mayores que los de la casa. Esto se puede explicar ya que durante estos días de la semana hay mayor actividad nocturna. El hotel está ubicado en la calle Provenza, que alberga una gran cantidad de locales comerciales como bares, restaurantes y discotecas a su alrededor, lo que contribuye a que los niveles sonoros sean más altos en este lugar. En contraste, la casa está más alejada de esta actividad comercial.

Figura 19. Serie de tiempo para el fin de semana 1.

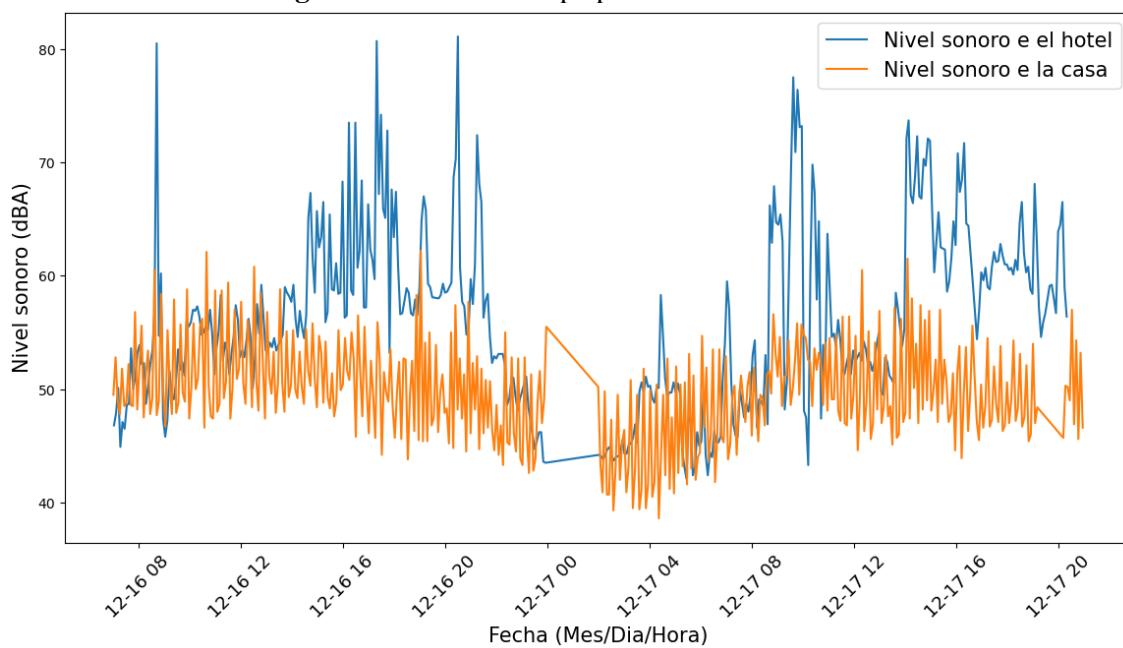


Figura 20. Serie de tiempo para el fin de semana 3.

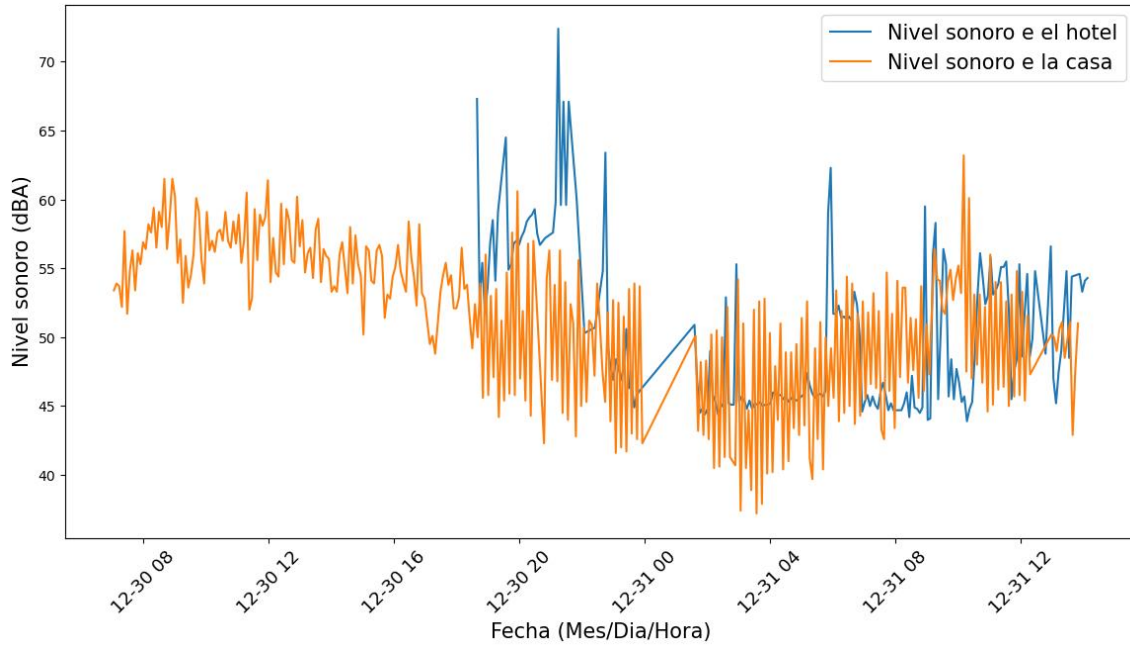


Figura 21. Gráfico de dispersión por hora para el hotel.

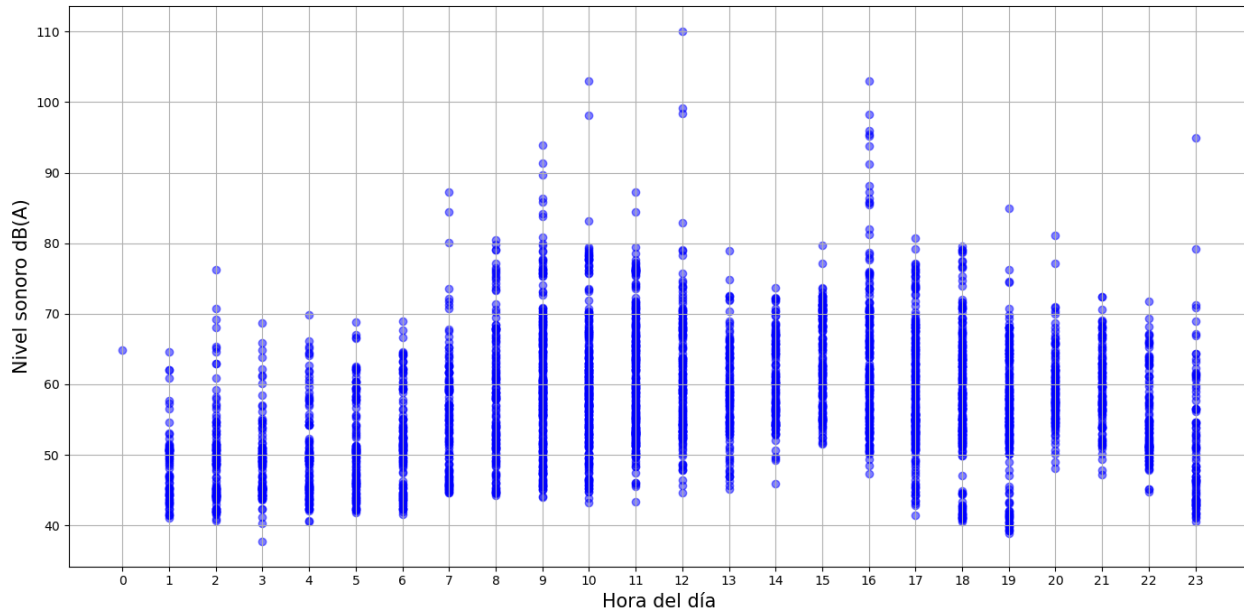
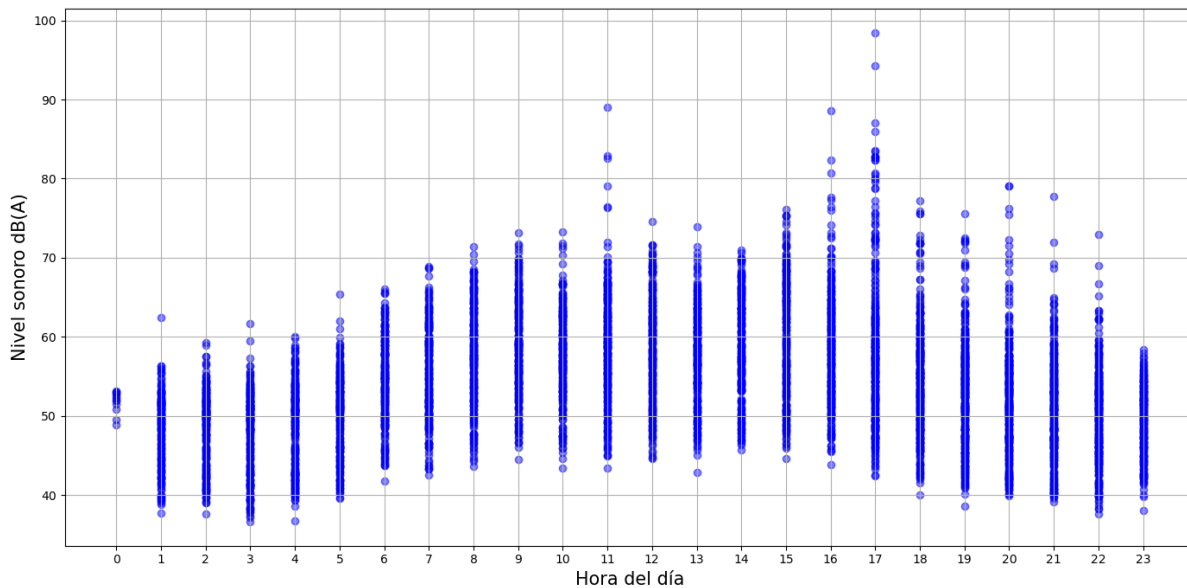


Figura 22. Gráfico de dispersión por hora para la casa.

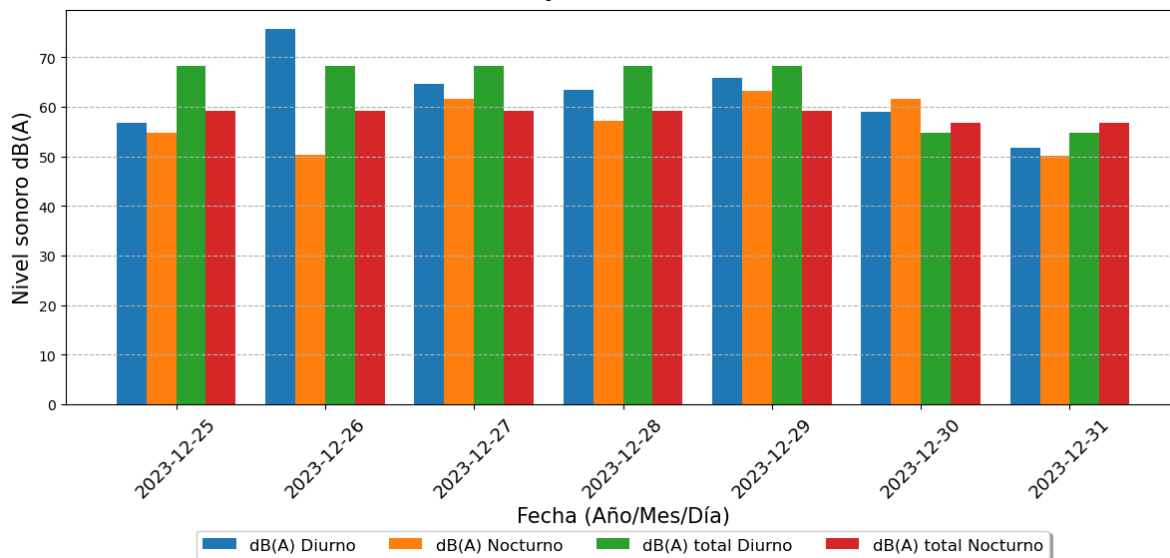
Las **Figura 21** y **Figura 22** presentan gráficos de dispersión para un periodo de 24 horas, comparando el ruido en el hotel y en la casa. Este gráfico es de suma importancia ya que muestra el comportamiento horario del ruido en los dos lugares estudiados. Cabe resaltar que, para realizar este tipo de gráfico, como se mencionó en la metodología, no se eliminaron los datos atípicos, a diferencia de las demás gráficas, con el fin de explicar esta decisión.

Al igual que con los gráficos de series de tiempo, el comportamiento de ambas gráficas es muy similar, con picos mayores entre las 9:00 a.m. y las 11:00 a.m. y entre las 4:00 p.m. y las 5:00 p.m., y niveles más bajos durante las horas de la noche y la madrugada. Esto se debe a que durante el día hay mayor actividad en estos dos lugares, tanto por la concurrencia de clientes en el hotel como por la actividad de personas en la casa. Es importante mencionar que, al estar midiendo el ruido ambiental, el tráfico y las actividades que ocurren alrededor de estos sitios aumentan los niveles sonoros durante el día. En el caso del hotel, justo al lado se está construyendo otro hotel y el ruido de la maquinaria utilizada podría incidir en estos niveles.

En ambas gráficas se observa una disminución de niveles entre el mediodía y las 2:00 p.m. Esto podría deberse a que, durante esas horas, las personas suelen ir a almorzar, suspendiendo sus actividades temporalmente. Los picos observados en la gráfica, con valores entre 93 dB(A) y 110 dB(A), son muy inusuales en estos lugares, ya que son valores extremadamente altos. Estos valores

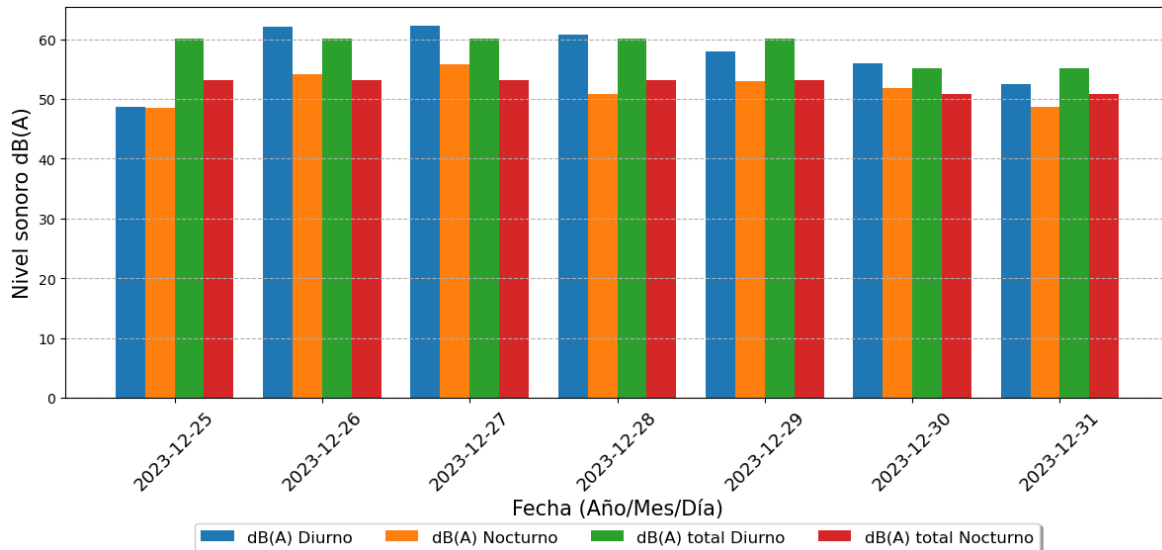
suelen aparecer por perturbaciones en los sensores, lo cual puede ocurrir si se toca o golpea un sensor accidentalmente, como durante las labores de limpieza o si se habla muy cerca del sensor. Los valores atípicos en la casa también pueden atribuirse al ladrido del perro, siempre y cuando estos hayan ocurrido cerca del sensor, generando una saturación y, por ende, esos valores tan elevados de niveles de ruido.

Figura 23. Promedios diarios y nocturnos por día del hotel comparados con los totales para la semana entre el 25 y 31 de diciembre del 2023.



En la **Figura 23** se muestran los promedios diarios y nocturnos para el hotel durante los días de la semana y los fines de semana, comparándose con los valores promedio totales diurnos y nocturnos de lunes a viernes (días 25 al 29) y de sábado a domingo (días 30 y 31). Por este motivo, para los días de lunes a viernes, las barras verdes y rojas que representan los dB(A) diurnos y nocturnos totales serán las mismas para todos los días, ya que son los valores promedio de toda la semana para cada periodo. De manera similar, esto ocurre para los días sábado y domingo, pero con los promedios totales para cada ciclo de esos dos días. La **Figura 24** presenta la misma representación.

Figura 24. Promedios diurnos y nocturnos por día de la casa comparados con los totales para la semana entre el 25 y 31 de diciembre del 2023.



En ambas figuras, los valores promedio tanto diarios como totales son muy parecidos, sin una variación abrupta. En la gráfica del hotel, el valor promedio del ciclo diurno del martes 26 de diciembre es el más alto de la semana, y para el fin de semana, el sábado 30 de diciembre muestra el mayor valor. Los promedios nocturnos diarios fueron aumentando a medida que se acercaba el fin de semana debido a la mayor actividad comercial en estos días.

Comparando los días sábado y domingo en la gráfica del hotel, se observa una disminución en los dB respecto a la semana, especialmente el 31 de diciembre. Esto se debe a que muchos locales comerciales alrededor del hotel no abren sus puertas en ese día, ya que es una época más familiar y la actividad se traslada a los hogares y barrios de la ciudad.

En contraste, en la casa, los valores del sábado y domingo se mantienen más estables en comparación con los valores de la semana. Esto puede deberse a que el 31 de diciembre se celebró en familia en ese hogar, por lo que los dB no cayeron como en el hotel. También es importante tener en cuenta que, además del tráfico, el ruido de equipos de sonido, y personas hablando, en esta época del año en la ciudad de Medellín y en todo el Valle de Aburrá, existe la tradición de tirar fuegos pirotécnicos, lo cual genera una gran cantidad de ruido. Esto también debería considerarse dentro del ruido captado por el sensor.

Figura 25. Valores promedio ponderados diurnos para cada día del periodo de medición para la casa y el hotel.

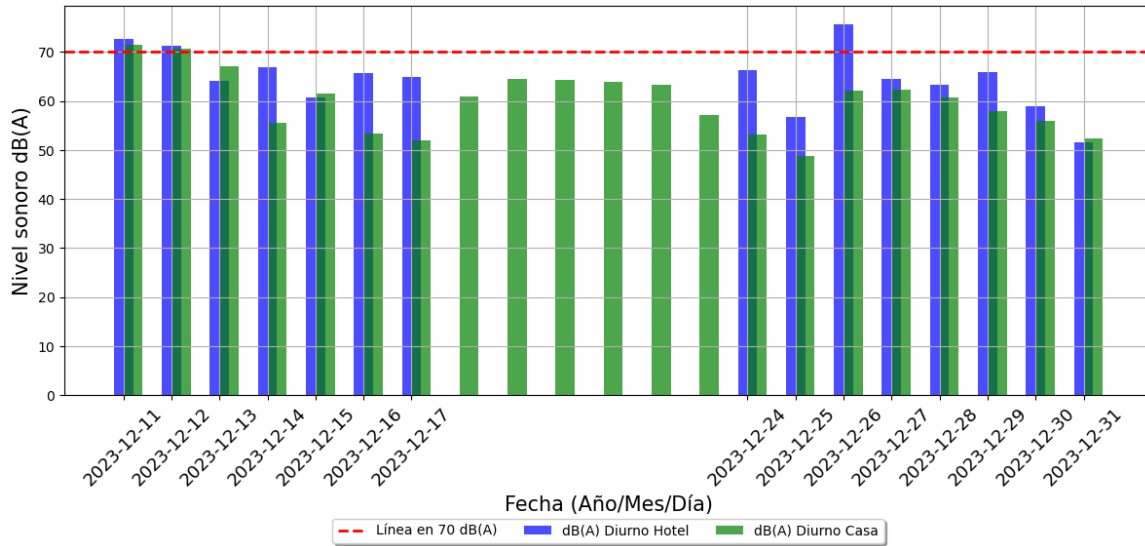
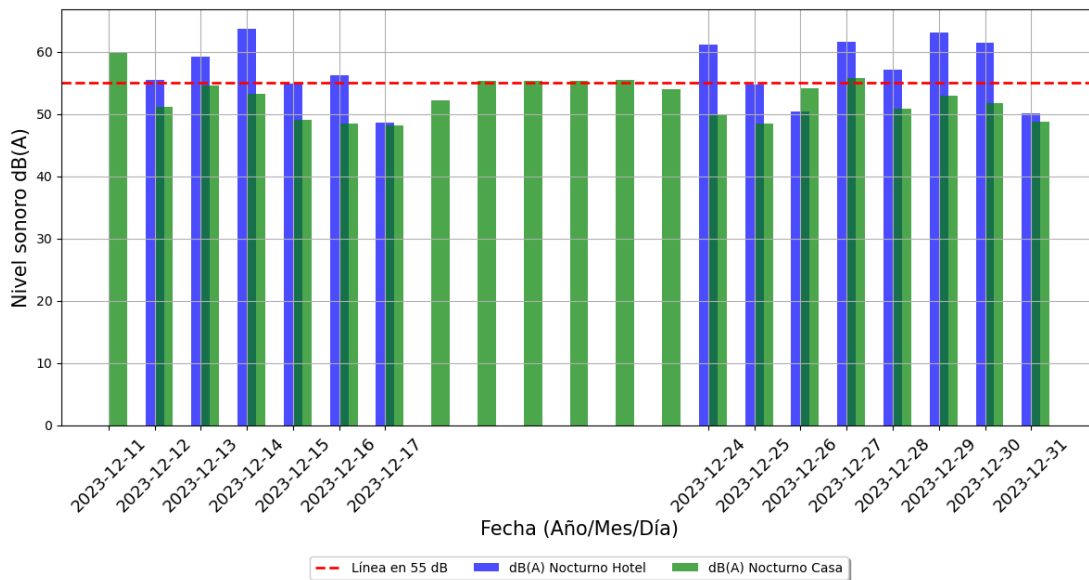


Figura 26. Valores promedio ponderados nocturnos para cada día del periodo de medición para la casa y el hotel.



Las **Figura 25** y **Figura 26** comparan los valores promedio diarios diurnos y nocturnos de los dos sitios. En las gráficas, hay una línea horizontal roja que atraviesa toda la gráfica; esta línea representa los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental establecidos en el Artículo 17 de la Resolución 627 de 2006 para el sector C (ruido intermedio restringido), específicamente en el subsector C2, donde los estándares máximos permisibles son 70 dB(A) para el día y 55 dB(A) para la noche.

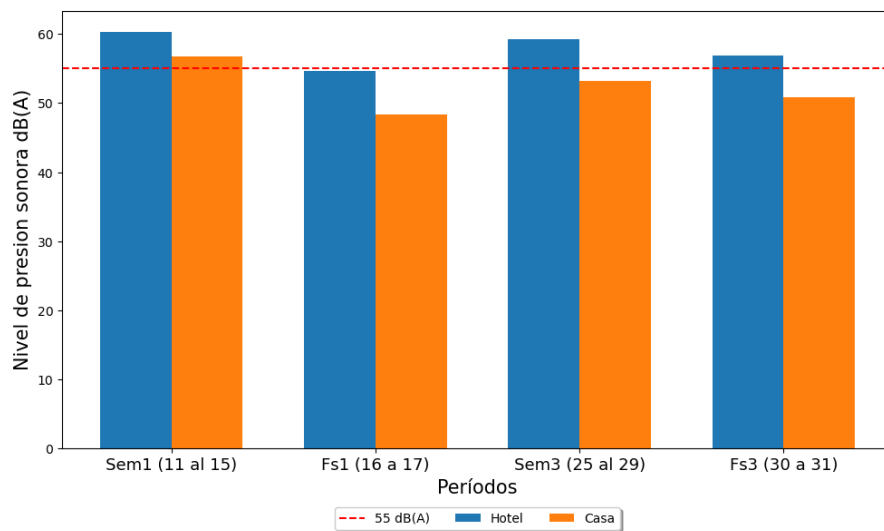
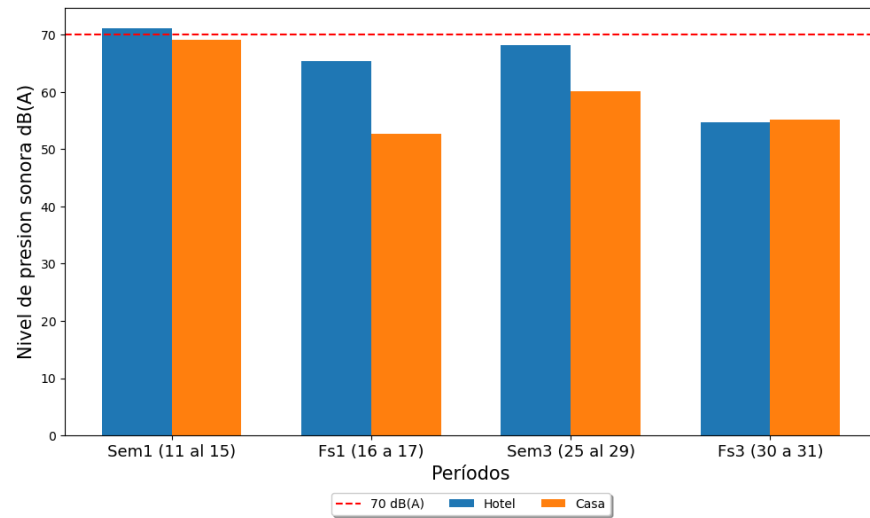
En general, tanto en el ciclo diurno como en el nocturno, el nivel sonoro es mayor en el hotel. Comparando estos niveles con el estándar máximo de ruido ambiental según la normativa, durante el periodo diurno solo se sobrepasó en tres días (11, 12 y 26), todos días de semana. Mientras que en el periodo nocturno, se superó en aproximadamente 16 días, mayormente en el hotel. Esto es congruente con la ubicación del hotel en una zona de alta contaminación sonora como Provenza, y como se evidenció en las visitas realizadas en 2024 (**Anexos**), hay una gran problemática en el sector, concluyendo que en muchos casos el ruido es tan alto que ni se entiende la música debido a la saturación.

En la **Figura 27** se presenta la comparativa de los valores promedio ponderados diurnos (gráfico de arriba) y nocturnos (gráfico de abajo) para las semanas 1 y 3, que incluyen días festivos y no festivos. Estos valores se comparan con el límite máximo de ruido ambiental según la normativa colombiana.

Se puede observar que en el promedio ponderado diurno solo se sobrepasó la normativa en la semana 1 para el hotel, mientras que en el promedio ponderado nocturno se superó el límite máximo en tres ocasiones para el hotel y una para la casa. Esto se debe a que, como ya se mencionó anteriormente, debido a la ubicación del hotel, hay una mayor proximidad a la actividad comercial, que es principalmente nocturna.

Los valores nocturnos son un poco más homogéneos que los diurnos. Comparando la Semana 1 con la Semana 3 para el periodo diurno, se puede notar que durante el fin de semana del 31 de diciembre hubo menos niveles de ruido. Esto se puede atribuir a que el 31 de diciembre es una época más familiar, por lo que la actividad comercial de discotecas y bares no se realiza ese día, lo que podría haber causado esa disminución en los niveles de ruido. Por el contrario, en la gráfica de valores nocturnos, los niveles de ruido son más estables entre la Semana 1 y la Semana 3. Sin embargo, tanto para la casa como para el hotel, los niveles de ruido aumentan durante el fin de semana del 31 de diciembre. Esto se atribuye principalmente a la pirotecnia, una tradición muy común en esos días del año en la ciudad, dado que la actividad comercial es mínima, especialmente para el hotel.

Figura 27. Comparación de los valores promedio ponderados diurnos y nocturnos totales para el hotel y la casa en los diferentes periodos de medición.



5 Conclusiones

Con los diagramas de barras y series de tiempo donde se compara el comportamiento del nivel sonoro del hotel y la casa, se puede evidenciar que en los días en que hay picos en un lugar, también hay picos en el otro. Esto sugiere que hay una correlación en el sector que afecta a ambos puntos de monitoreo. Por lo tanto, se puede concluir que, a pesar de las actividades realizadas dentro de la casa y la actividad económica en el hotel, posiblemente hay uno o varios elementos que abarcan ambos en cuanto a ruido ambiental, tráfico rodado, pirotecnia y el comercio aglomerado de este sector.

Los resultados recolectados por el sensor fueron configurados para transmitir cada 5 minutos. Estos datos, debido a la capacidad del sensor, son de presión sonora instantánea, es decir, cada 5 minutos tomaba datos y los transmitía, pero el valor tomado es instantáneo, no el promedio ponderado de esos 5 minutos. Esto puede limitar mucho los análisis temporales. Por lo tanto, se concluye que para la prueba piloto que se realizará en el sector Provenza-Poblado en el segundo semestre de 2024, se recomienda reprogramar el sensor para que envíe datos al menos cada 1 minuto para obtener un promedio ponderado de los datos mucho más preciso.

Con este estudio se comprobó que no necesariamente los mayores niveles sonoros de dB(A) ocurren durante el día. En la **Figura 25**, en comparación con la **Figura 26**, se pudo ver que los días 29 y 30 de diciembre los resultados fueron al revés, ya que el máximo ponderado fue en la noche. Por lo tanto, se puede concluir que la proximidad de días festivos genera aumentos en los niveles medios de ruido ponderados nocturnos, debido a la alta actividad comercial presente en el Poblado.

Respecto a la metodología planteada en la prueba piloto del año 2023 para el monitoreo continuo remoto de los sensores, se debe replantear, dado que, como se pudo evidenciar en los datos recolectados en el hotel, hubo un vacío de casi una semana de datos. Por lo tanto, se concluye que, para la prueba piloto de 2024, se debe incluir en la metodología la aplicación de protocolos de revisión y supervisión de los sensores en cuanto al registro de los datos. A su vez, aunque estos datos se almacenen en la nube, se deben descargar cada semana mínimamente y guardarlos para evitar pérdidas y permitir un análisis semanal del comportamiento acústico del sector.

Con los resultados de promedios ponderados de los datos diurnos y nocturnos que se visualizaron en las gráficas, en muchos casos no hay una diferencia de más de 3 dB entre un periodo y otro. Se puede concluir que los niveles de ruido son homogéneos, lo que indica que hay una

actividad constante en los sitios estudiados durante ambos periodos, siendo un foco de contaminación acústica de manera constante.

Dado que los datos suministrados por el sensor son de banda ancha (**3 Metodología**), los resultados están limitados a un nivel de ruido general. No es posible calcular, pronosticar o proyectar parámetros acústicos de alto impacto o sensibilidad hacia un foco o punto específico, lo que limita los resultados y confirma que esta metodología con los sensores es para supervisión general, no específica. El instrumento de medición no está diseñado para hacer un diagnóstico robusto, sino más bien una supervisión general de los niveles de ruido de un foco emisor o de un receptor presuntamente vulnerable.

Para realizar un margen de contribución de ruido de un lugar hacia su exterior, dado que ambos sitios estudiados son principalmente puntos receptores, pero también pueden ser focos de emisión, es necesario calcular la pérdida por inserción (reducción del ruido hacia el exterior por aislamiento acústico) de la fachada o de la estructura que se vaya a estudiar junto con el monitoreo. Como los sensores fueron ubicados en la parte interna de los sitios, no se puede determinar su contribución al ruido exterior. Se concluye que es necesario considerar estos aspectos en la metodología para este año, con el fin de determinar principalmente en los locales comerciales cuál es el aporte de ruido al exterior.

Para mejorar el diagnóstico de los datos, es necesario tener más puntos de análisis en el mismo sector para correlacionarlos.

Anexos

Código para hacer gráfico de barras

La **Figura 28** es la representación por medio de lenguaje de programación utilizada para sacar uno de los diagramas de barras utilizados en este estudio.

Figura 28. Código para Realizar un diagrama de barras.

```
# Concatenar los DataFrames df_CSem1 y df_CFs1 en un solo DataFrame df_combined, ignorando los índices originales
df_combined = pd.concat([df_CSem1, df_CFs1], ignore_index=True)

# Crear la figura y los ejes para el gráfico de barras con un tamaño específico (12x6 pulgadas)
fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 6))

# Definir el ancho de las barras y la posición inicial para las barras en el eje x
bar_width = 0.2
x = range(len(df_combined))

# Graficar cada conjunto de datos (barras) en el gráfico

# Graficar las barras para 'dB Diurno' en la posición x
bars1 = ax.bar(x, df_combined['dB Diurno'], width=bar_width, label='dB Diurno', align='center')
# Graficar las barras para 'dB Nocturno' en la posición x + bar_width
bars2 = ax.bar([i + bar_width for i in x], df_combined['dB Nocturno'], width=bar_width, label='dB(A) Nocturno', align='center')
# Graficar las barras para 'dB total Diurno' en la posición x + 2 * bar_width
bars3 = ax.bar([i + 2 * bar_width for i in x], df_combined['dB total Diurno'], width=bar_width, label='dB(A) total Diurno', align='center')
# Graficar las barras para 'dB total Nocturno' en la posición x + 3 * bar_width
bars4 = ax.bar([i + 3 * bar_width for i in x], df_combined['dB total Nocturno'], width=bar_width, label='dB(A) total Nocturno', align='center')

# Añadir etiquetas a los ejes y un título al gráfico
ax.set_xlabel('Fecha (Año/Mes/Día)')
ax.set_ylabel('Nivel sonoro dB(A)')
ax.set_title('Nivel de presión para la semana del 11 al 17 de diciembre para la casa')

# Ajustar las posiciones de las etiquetas del eje x para que estén centradas con respecto a las barras
ax.set_xticks([i + 1.5 * bar_width for i in x])
# Formatear las etiquetas del eje x con el formato 'Año-Mes-Día' y rotarlas 45 grados para mejor legibilidad
ax.set_xticklabels(df_combined['Dia'].dt.strftime('%Y-%m-%d'), rotation=45)

# Añadir una rejilla en el eje y, con estilo de línea discontinua y asegurarse de que esté debajo de las barras
ax.grid(axis='y', linestyle='--', zorder=0)

# Añadir una leyenda fuera del gráfico, en la parte inferior central, con estilo de cuadro sombreado y con 4 columnas
ax.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.25), fancybox=True, shadow=True, ncol=4, fontsize='large')

# Ajustar el diseño del gráfico para que no se solapen elementos
plt.tight_layout()

# Mostrar el gráfico
plt.show()
```

En la primera línea del código, se concatenan dos *DataFrames*, *df_CSem1* y *df_CFs1*, en uno solo llamado *df_combined*, ignorando los índices originales para trabajar con los datos de forma unificada. Posteriormente, se crea una figura y un conjunto de ejes utilizando *subplots()* con un tamaño específico de 12x6 pulgadas para definir el espacio donde se dibujará el gráfico. Se establece el ancho de cada barra en 0.2 y se define la lista *x*, que contiene los índices del *DataFrame* combinado. Luego, se crean cuatro conjuntos de barras (*bars1*, *bars2*, *bars3* y *bars4*), cada uno con su etiqueta correspondiente y posicionados en días específicos utilizando desplazamientos calculados para evitar superposiciones. A continuación, se añaden las etiquetas para los ejes X e Y, y el título del gráfico para proporcionar contexto. Se ajustan las posiciones de las etiquetas del

eje X para que estén centradas con respecto a las barras y se formatean en el estilo Año-Mes-Día con una rotación de 45 grados para mejorar la legibilidad. Se añade una rejilla en el eje Y con estilo de línea discontinua para facilitar la visualización de las barras. También se incluye una leyenda en la parte inferior central del gráfico, con un estilo sombreado y organizada en cuatro columnas. Finalmente, se ajusta el diseño del gráfico con *tight_layout()* para evitar superposiciones y se muestra el gráfico con *plt.show()*.

Visitas Prueba piloto Provenza 2024

Para seleccionar los locales comerciales donde se instalarían los sensores, se realizó una visita previa en Provenza, específicamente en la Carrera 35 con calle 7. Durante esta visita, se explicó a los dueños o administradores el objetivo del proyecto y los beneficios de participar en la prueba.

Entre los beneficios expuestos, se destacó que, al colaborar con la Alcaldía de Medellín, los dueños y trabajadores recibirían capacitación sobre la temática del ruido y cómo prevenir problemas futuros, dado que están expuestos a niveles sonoros elevados con frecuencia debido a su actividad laboral. Además, se informó que, al finalizar la prueba piloto, se les entregaría un informe estructurado por la SMA con toda la información recolectada y su análisis previo. Este informe les servirá como insumo para futuros requerimientos o medidas que tome la Alcaldía, ahorrándoles tiempo y dinero.

Durante la charla con los administradores de los locales, se mostró el sensor, cómo funciona y los cuidados necesarios para su correcto funcionamiento y preservación. Entre los cuidados mencionados, se destacó la importancia de ubicar el sensor en un lugar seguro para evitar posibles hurtos, dado que su costo es de alrededor de cinco millones de pesos. También se señaló que el sensor no puede quedar a la intemperie, ya que debe estar protegido de factores meteorológicos como el viento, la lluvia y el sol. Por ello, se informó que el sensor debe instalarse dentro de los locales comerciales para garantizar su seguridad y buen funcionamiento.

En total, se visitaron cinco discotecas y bares, incluyendo el bar Instinto, Licopress, gastro bar Guzman y Mezcal, Belisario y Cuernavaca, así como un hotel llamado Acqua. Cabe destacar

que todos estos locales están distribuidos a lo largo de la misma calle, lo que permite abarcar de manera óptima el sector.

Figura 29. Visita previa a la instalación de los sensores.



La visita previa también se utilizó para evaluar diferentes alternativas de ubicación para los sensores, asegurándose de que cumplieran con las condiciones mencionadas anteriormente. La mayoría de los representantes de los locales comerciales expresaron su preferencia por instalar los sensores en el medio de la cuadra. Esto se debe a que, frecuentemente, algunos locales aumentan considerablemente el volumen de su música, lo que provoca que otros hagan lo mismo. Esto resulta en una mezcla de diferentes tipos de música que dificulta la comprensión, especialmente para las personas que se sientan en las mesas ubicadas en la calle, donde el objetivo principal es socializar y conversar, algo que se vuelve prácticamente imposible con niveles altos de volumen.

Desde la SMA, se les informó que los sensores utilizados en esta prueba no pueden operar bajo condiciones climáticas adversas, como la lluvia, ya que están diseñados para medir el ruido de emisión y no ambiental. No obstante, se les explicó que medir el ruido ambiental sería una buena alternativa para evaluar el impacto sonoro en el sector.

Asimismo, se les comunicó que, aunque actualmente no disponen de sensores adecuados para operar en condiciones climáticas adversas, en los meses de julio-agosto, el AMVA, junto con la Universidad San Buenaventura, proporcionará 30 sensores de bajo costo para el distrito. Estos sensores serán capaces de operar en exteriores y se utilizarán para determinar la contaminación acústica en otras ZAS y ZVA identificadas en la ciudad. Esto permitirá desarrollar un proyecto futuro para medir el ruido ambiental en todo el sector, mejorando la calidad de vida de los residentes y visitantes.

Sitios y lugares de instalación de los sensores

Después de tres visitas para mostrar el proyecto, de que trataba y de mandar información por medio de correos electrónicos a dueños y administradores con el fin de que se sumaran la prueba piloto, solo tres locales comerciales aceptaron la instalación de los sensores, debido a que muchos tenían el miedo a ser sancionados a futuro, a pesar de que nosotros como SMA no somos autoridad ambiental y no podemos realizar procesos sancionatorios, además, se les informó en varias ocasiones de forma personal en las visitas como de forma escrita que este proceso no tendría actos sancionatorios ni a corto ni a largo plazo.

Entre los lugares comerciales que participaron de la prueba piloto se encuentran dos bares y un hotel (**Tabla 3**) esto se hizo con el fin de evaluar la problemática que vive el sector en cuanto a los que emiten que son los bares y los que los receptores que en este caso son los hoteles.

Desde la SMA nos pareció muy oportuno hacerlo de esta manera debido a que con las previas visitas que tuvimos en los lugares que visitamos que no eran ni discotecas, bares y restaurantes nos expresaban que en las horas de la noche los niveles de ruido eran exageradamente altos, en el caso específico del Hotel Acqua y Stanza Hotel's Group nos expresaban que los huéspedes se quejaban mucho del ruido y en muchas ocasiones les tocaba llamar la policía. En el caso del Hotel Acqua que es el más cercano a los bares y discotecas el ruido era tan fuerte que les toco invertir en puertas y ventanas aisladas acústicamente para todo el hotel debido a que estaban teniendo pérdidas económicas por la inconformidad de los clientes y sus malas recomendaciones por temas de ruido en las redes sociales y en sitios donde se recomiendan estos lugares.

Tabla 3. Dirección de locales comerciales que participaron en la prueba piloto.

Nombre local comercial	Dirección	Tipo de comercio
Instinto	Cra. 35 #7- 38	Bar
Hotel Acqua	Cra. 35 #7 - 47	Hotel
Bar Lleritas2	Cra 35 #7 - 83	Restaurante bar

Estos lugares quedan todos en la misma calle, uno muy cerca del otro y en el mismo sentido. Justamente al frente de estos locales están los que más ruido generan según la precepción de la mayoría de las personas con las que hablamos, debido a que sacan parlantes hasta la calle y suben mucho el volumen lo que genera una mezcla de sonidos que ocasiona que se sature tanto la calle

con ruido que los clientes de los locales que se hacen en las mesas que se encuentran en toda la carrera 35 escuchen una mezcla de música que no se entiende y a su vez no se pueda tener una conversación con otras personas que es la finalidad de estas mesas por fuera de los establecimientos. A las personas de esos locales se les mostro el proyecto y se les explico todo, pero lastimosamente no quisieron participar de la prueba piloto por lo ya mencionado anteriormente.

Figura 30. Lugar de instalación Hotel ACQUA.



En la **Figura 30** y **Figura 31** se muestra para el hotel el lugar escogido para la instalación, mientras que para el bar se muestran los posibles sitios donde se pueden instalar. Para el bar lleritas para el momento de entrega de este informe no se contaba aun con el lugar de instalación.

Figura 31. Posibles lugares de instalación Bar INSTINTO.



Referencias

- Arango, R. M. (21 de 02 de 2018). EL COLOMBIANO. Obtenido de <https://www.elcolombiano.com/antioquia/siguen-quejas-por-ruido-en-el-centro-de-el-poblado-AC8224637>.
- AMVA. (2024). Herramientas para la gestión del ruido. [Diapositiva de PowerPoint]. (80 pg). Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- AMVA. (2023). *Implementación plan de acción para la prevención y control de la contaminación por ruido del Valle de Aburrá*. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/Ruido/Informes%20Junta%20Metropolitana/Informe%20anual%20Junta%20Metropolitana%20ruido%202023.pdf>
- AMVA, & Universidad San Buenaventura. (2019). Resultados Actualización Mapas de ruido del Valle de Aburrá 2019. AMVA. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/Ruido/Resultados%20Actualización%20Mapas%20de%20ruido%20del%20Valle%20de%20Aburrá%202019.pdf>
- Abou-Zeid, F., Benedetti, Y., Siretckaia, A., & Morelli, F. (2024). Urban noise slows down the antipredator reaction of Eurasian Magpies. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *12*, 1345971. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2024.1345971/BIBTEX>
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, *383*(9925), 1325–1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
- Battisti, C. (2024). Changes in bird assemblages following an outdoor music festival: A BACI (before-after-control-impact) monitoring from central Italy. *Environmental Pollution*, *344*, 123384. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2024.123384>
- Carreño Contreras, M. A. (2023). *Efecto del ruido antropogénico en los patrones de actividad de la familia Mormoopidae*. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/4072>
- CORANTIOQUIA. (n.d.). *Metodología para la delimitación y posterior declaratoria de una Zona Acústicamente Saturada (ZAS)*.
- Cirrus. (s.f.). *Guía para Terminología de Medición de Ruido*. Obtenido de <https://www.cirrusresearch.co.uk/library/documents/ebooks/guia-terminologia-medicion-ruido.pdf>
- El Yamlahi Chahdi, C., El Wahbi, B., El Madhi, Y., & Soulaymani, A. (2024). Noise pollution in school institutions: Study case at Sidi Yahya Zaer middle school in Temara, Morocco. *Social Sciences & Humanities Open*, *9*, 100877. <https://doi.org/10.1016/J.SSAHO.2024.100877>
- Enders, C. K. (2023). Missing Data: An Update on the State of the Art. *Psychological Methods*. <https://doi.org/10.1037/MET0000563>

- Frei, P., Mohler, E., & Rössli, M. (2014). Effect of nocturnal road traffic noise exposure and annoyance on objective and subjective sleep quality. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217(2–3), 188–195. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEH.2013.04.003>
- Gobernación de Antioquia. (08 de 09 de 2023). *gobernación de Antioquia*. Obtenido de Los turistas extranjeros potenciaron el turismo en Antioquia en el primer semestre de 2023: <https://antioquia.gov.co/component/k2/19281-los-turistas-extranjeros-potenciaron-el-turismo-en-antioquia-en-el-primer-semester-de-2023>
- Indias, O. A. (s.f.). Lineamientos para el establecimiento de la red de monitoreo del ruido ambiental. Cartagena, Colombia. [https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/seguimiento-y-monitoreo/lineamientos-para-la-red-de-monitoreo-del-ruido/lineamientos-para-el-establecimiento-de-la-red-de-monitoreo-del-ruido-ambiental/#:~:text=La%20zonificación%20de%20áreas%20acústicas,Foral%20de%20Bizkaia%2C%202014\).](https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/seguimiento-y-monitoreo/lineamientos-para-la-red-de-monitoreo-del-ruido/lineamientos-para-el-establecimiento-de-la-red-de-monitoreo-del-ruido-ambiental/#:~:text=La%20zonificación%20de%20áreas%20acústicas,Foral%20de%20Bizkaia%2C%202014).)
- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A., y Rendón, J. (2012). Comparación de métodos de interpolación para la generación de Mapas de Ruido en entornos urbanos. *Ingenierías USBMed*, 3(1), 62–68. <https://doi.org/10.21500/20275846.265>
- Schafer, J. L., & Graham, J. W. (2002). Missing data: Our view of the state of the art. *Psychological Methods*, 7(2), 147–177. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.7.2.147>
- SMA. (n.d.). Aplicación del concepto de Zonas Acústicamente Saturadas – ZAS.
- Secretaría Desarrollo Económico. (27 de 09 de 2023). *Alcaldía de Medellín*. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/con-una-cifra-historica-de-pasajeros-que-visitaron-medellin-en-2022-la-ciudad-vive-el-mejor-momento-turistico-de-los-ultimos-anos/#:~:text=Compartir%20en%3A-.2022%20fue%20un%20año%20histórico%20para%2>
- SMA. (27 de 06 de 2024). Funciones y composición de la Secretaría de Medio Ambiente. Obtenido de Alcaldía de Medellín. <https://www.medellin.gov.co/es/secretaria-medio-ambiente/>
- Peláez, J. B. (28 de 08 de 2022). En Medellín el ruido es cada vez más desesperante, ¿quién responde? *EL COLOMBIANO*. <https://www.elcolombiano.com/antioquia/en-medellin-el-ruido-es-cada-vez-mas-desesperante-MP18535584>.
- Tatiana, L., & Bernal, L. (2023). *Efecto de la pirotecnia a diferentes decibeles sobre la frecuencia cardiaca y respiratoria en perros*.
- Torres, D. L. (27 de 08 de 2022). *Provenza fue reconocida como una de las calles más “cool” del mundo, según la Revista Time Out*. Alcaldía de Medellín.