

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
MODALIDAD PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

PROPUESTA DE PLAN DE MONITOREO Y CONTROL DE RUIDO PARA EL
CASCO CENTRAL DEL CANTÓN DE HEREDIA, HEREDIA, COSTA RICA, EN EL
PERIODO 2021-2022

Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar al grado de licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental

VALERIA LEITÓN ÁLVAREZ
MELISSA XEMENA SOLÓRZANO ARAYA

Heredia, Costa Rica

Noviembre, 2023

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, para optar al grado de licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....
Ph.D. Mónica Retamosa Izaguirre

**Representante del Decanato de la Facultad de Ciencias de
la Tierra y el Mar**

.....
M.Sc. Melissa Blandón Naranjo

**Directora de la Escuela de Ciencias
Ambientales**

.....
MAP. Karla V. Vetrani Chavarría

Tutora

.....
MAG. Sherryl V. Campos Morales

Lectora

.....
M.Sc. Christian Chaverri Ramos

Lector

.....
Valeria Leitón Álvarez

Postulante

.....
Melissa X. Solórzano Araya

Postulante

RESUMEN

La contaminación por ruido es un problema ambiental de gran magnitud en las zonas urbanas, y su impacto en la salud humana es una preocupación creciente. El aumento de la población y la urbanización han incrementado el nivel de ruido ambiental en las ciudades, lo cual puede causar trastornos fisiológicos o psíquicos en las personas, así como reducir su rendimiento y afectar su calidad de vida. El presente estudio se enfocó en investigar la contaminación por ruido en el casco urbano del cantón de Heredia, Costa Rica, en un periodo entre 2021 y 2022. Se llevaron a cabo tres fases para el desarrollo del estudio que incluyeron la elaboración de una línea base de las condiciones de ruido ambiental, la creación de mapas acústicos y el diseño de una propuesta para el control de la contaminación por ruido. Los resultados revelaron que el tráfico vehicular es la principal fuente de ruido ambiental en la zona estudiada. A pesar de que se contó con restricciones vehiculares nocturnas implementadas durante la pandemia de COVID-19, los niveles de ruido registrados exceden los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud y la reglamentación nacional, tanto en periodo diurno como nocturno. Esto puede tener un efecto negativo en el bienestar de los habitantes del casco central de este cantón a largo plazo, resaltando la necesidad de aplicar medidas para reducir la contaminación. Por tanto, se diseñó una propuesta de control, la cual incluyó medidas que van desde generar reglamentaciones en el uso de materiales de construcción e instalación de barreras acústicas en zonas de interés, hasta la promoción de educación ambiental ciudadana en cuanto a la contaminación por ruido, movilidad y transporte público sostenible. Estas medidas pueden ser de gran utilidad para la toma de decisiones en materia de planificación urbana y ambiental, así como para contribuir a la mejora de la calidad de vida de las personas que residen en el casco central de Heredia.

DEDICATORIA

A Valeria, mi colega, mi compañera y amiga, por toda la admiración que siento hacia ella, por el apoyo, la dedicación y su impecable trabajo en todo este proceso.

A mi mamá, por ser mi gran inspiración, por los sacrificios que ha hecho por mí y por su amor incondicional que me ha impulsado a ser la mujer profesional que hoy soy. A Estefany y Sebastián, mis hermanos, por su constante motivación, compañía y soporte en mi carrera universitaria. Siempre y para siempre. A mis abuelitos, Chino y Denia, por su amor y apoyo en cada etapa de mi vida académica.

A JL, por elegir acompañarme, por recordarme la importancia de ser paciente y dar gracias en todo momento. Por impulsarme a crecer como persona y a ser mi mejor versión posible.

Melissa.

A mi amiga y compañera, Melissa, por su apoyo y compañía durante todo este camino. No compartiría esta experiencia con nadie más y me alegra poder celebrar juntas este logro.

A mi mamá Kathya: su amor, apoyo y sacrificio incansable han sido fundamentales en mi vida. A mi papá Jhonny, quien siempre ha estado allí para brindarme su apoyo y orientación. A mi hermana Carolina, quien ha sido mi compañera de vida y amiga; su aliento, risas y compañía siempre han estado ahí cuando los necesitaba.

A Dylan, quien ha estado conmigo durante toda mi formación académica, por su amor, sabiduría y paciencia que ha sido un verdadero impulso para alcanzar mis metas académicas y personales.

Valeria.

AGRADECIMIENTOS

Extendemos nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas y organizaciones que han contribuido al éxito de nuestro TFG. Su apoyo, dedicación y conocimientos han sido cruciales para culminar esta etapa.

En primer lugar, agradecemos al Programa de Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología (PROCAME), de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, por su ayuda y compromiso en el proceso de investigación, facilitando el préstamo de los equipos especializados, tiempo, personal, licencias de software y programas, así como otros gastos en los que incurrió este estudio.

Expresamos nuestra gratitud a Cheiling Venegas Villalobos, promotora social y de Gestión Vial de la Municipalidad de Heredia, por su inestimable colaboración a lo largo del proyecto. Su disposición y orientación representaron una ayuda enorme en cada etapa de la investigación.

No podemos dejar de mencionar el aporte invaluable de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), cuyo trabajo arduo y colaboración en todo el proceso de colocación y rotación de las estaciones de ruido, durante los meses de medición, fueron fundamentales para el éxito de este proyecto. Gracias totales, sin ustedes no hubiera sido posible obtener los resultados.

Un agradecimiento especial para el señor Eduardo Chaverri Vargas, colaborador del PROCAME, quien, con su experiencia y colaboración, brindó un apoyo incondicional durante todo el proceso de medición, colocación y rotación de las estaciones de ruido. Gracias por todo el acompañamiento.

Por último, pero no menos importante, reconocemos y agradecemos el valioso apoyo de las personas académicas que conforman nuestro equipo asesor, quienes, con su dedicación, experiencia y conocimientos en el área, fueron claves en el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR.....	2
RESUMEN.....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Planteamiento del problema	12
1.3. Justificación	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo general	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. MARCO TEÓRICO	17
3.1. El ruido como contaminante: definición e impactos a la salud y el ambiente	17
3.1.1. Efectos en la salud	19
3.2. Contaminación por ruido	20
3.2.2. Fuentes de ruido.....	21
3.3. Mapas de ruido ambiental	22
3.4. Medición de ruido ambiental	23
3.4.1. Indicadores de ruido ambiental.....	24
3.4.1.1. Unidades de medida del nivel de sonido.	24
3.4.1.2. Potencia sonora, presión sonora e intensidad sonora.	24
3.4.1.3. Ponderación de frecuencias y tiempo.....	25
3.4.1.4. Métricas de medición de ruido.	27

3.4.1.4.1.	Nivel continuo equivalente L_{eq}	27
3.4.1.4.2.	Indicadores estadísticos: L_{10} , L_{50} , L_{90}	28
3.4.1.4.3.	Otros indicadores: $L_{día}$, L_{noche} , $L_{máx}$, $L_{mín}$, L_{peak}	28
3.5.	Legislación asociada al ruido	28
3.6.	Medidas de prevención y mitigación	31
4.	MARCO METODOLÓGICO	32
4.1.	Enfoque y diseño de la investigación	32
4.2.	Alcance de la investigación	32
4.3.	Descripción del proceso metodológico	33
4.3.1.	Fase 1. Diagnosticar las condiciones de ruido ambiental para el establecimiento de una línea base.....	33
4.3.2.	Fase 2. Elaborar el mapa acústico de la zona para la demostración gráfica de las áreas de mayor concentración de ruido.....	38
4.3.3.	Fase 3. Diseñar una propuesta para el control de contaminación por ruido	39
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
5.1.	Descripción del área de estudio	40
5.1.1.	Condiciones climáticas	41
5.1.2.	Usos del suelo y actividades desarrolladas.....	43
5.1.3.	Densidades poblacionales.....	44
5.1.4.	Densidades de comercio	45
5.1.5.	Densidades de tráfico.....	45
5.2.	Descripción de las fuentes de ruido	49
5.2.1.	Tránsito vehicular	49
5.2.2.	Actividades comerciales	50
5.2.3.	Actividades culturales y festivas	50
5.2.4.	Tránsito ferroviario.....	50

5.2.5. Otras fuentes	51
5.3. Medición de ruido	52
5.3.1. Resultados de ruido: época lluviosa	52
5.3.1.1. Ruido en periodo diurno.	52
5.3.1.2. Ruido en periodo nocturno.	57
5.3.2. Resultados de ruido: época seca	59
5.3.2.1. Ruido en periodo diurno.	60
5.3.2.2. Ruido en periodo nocturno.	61
5.3.3. Comparativa entre horarios	63
5.3.4. Niveles de ruido en el casco central de Heredia, Costa Rica	68
5.4. Mapas acústicos	79
5.5. Propuesta de mitigación	82
6. CONCLUSIONES	117
7. RECOMENDACIONES	120
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
9. ANEXOS	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Estructura del marco teórico</i>	17
Figura 2. <i>Curvas isofónicas establecidas por Fletcher y Munson en 1933</i>	25
Figura 3. <i>Curvas de ponderación frecuencial A, B y C</i>	26
Figura 4. <i>Mapa del sitio de estudio, casco central de Heredia, Heredia, Costa Rica</i>	33
Figura 5. <i>Puntos de medición en el área de estudio, casco central de Heredia, Heredia, Costa Rica, 2021-2022</i>	35
Figura 6. <i>Colocación de los equipos de monitoreo de ruido en los postes de luz, Heredia, Costa Rica</i>	36

Figura 7. Mapa uso de la tierra en el cantón de Heredia, Costa Rica	44
Figura 8. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito central de Heredia, Costa Rica.....	47
Figura 9. Tránsito promedio diario de la Estación 8 Heredia, Costa Rica, 2020.....	48
Figura 10. Tránsito promedio diario de la estación 8 Heredia, Costa Rica, 2021	48
Figura 11. Horario regular de paso de tren en la estación de Heredia según ruta 2021-2022 ...	51
Figura 12. Nivel de presión sonora continuo equivalente obtenido en periodo diurno para los puntos de medición en época lluviosa de octubre a noviembre 2021 y límite permisible según zona, Heredia, Costa Rica.....	57
Figura 13. Nivel de presión sonora continuo equivalente obtenido en periodo nocturno para los puntos de medición en época lluviosa de octubre a noviembre de 2021 y límite permisible según zona, Heredia, Costa Rica.....	59
Figura 14. Nivel de presión sonora continuo equivalente obtenido en periodo diurno para los puntos de medición en época seca de diciembre 2021 a enero 2022 y límite permisible según zona, Heredia, Costa Rica.....	61
Figura 15. Nivel de presión sonora continuo equivalente obtenido en periodo nocturno para los puntos de medición en época seca de diciembre 2021 a enero 2022 y límite permisible según zona, Heredia, Costa Rica.....	63
Figura 16. Nivel de presión sonora continuo equivalente del ruido total en época lluviosa de octubre a noviembre 2021 según el periodo de medición, Heredia, Costa Rica	65
Figura 17. Nivel de presión sonora continuo equivalente del ruido total en época seca de diciembre 2021 a enero 2022 según el periodo de medición, Heredia, Costa Rica	65
Figura 18. Caracterización del nivel de ruido ambiental en el casco central de Heredia, Costa Rica y límite permisible en periodo diurno	70
Figura 19. Caracterización del nivel de ruido ambiental en el casco central de Heredia, Costa Rica y límite permisible en periodo nocturno	71
Figura 20. Mapa ambiental de ruido en periodo diurno del casco central de Heredia, Costa Rica, 2023	81
Figura 21. Mapa ambiental de ruido en periodo nocturno del casco central de Heredia, Costa Rica, 2023.....	81
Figura 22. Modelo de superbloques aplicados en Barcelona.....	86

Figura 23. <i>Modelo de barrios de tráfico reducido en Londres.</i>	86
Figura 24. <i>Modelo de ciudad y barrio sin coches, Hamburgo y Friburgo</i>	88
Figura 25. <i>Modelo de ciudad de 15 minutos en París</i>	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Valores recomendados del ruido comunitario en entornos y fuentes específicas para el día y la noche por la Organización Mundial de la Salud</i>	29
Tabla 2. <i>Límites de niveles de sonido en dB(A) para cada fuente emisora según horario</i>	30
Tabla 3. <i>Posiciones geográficas del casco urbano de Heredia, Costa Rica</i>	41
Tabla 4. <i>Estación Meteorológica Santa Lucía (Barva, Heredia): Resumen climático</i>	42
Tabla 5. <i>Estación Meteorológica Aeropuerto Juan Santamaría: Resumen climático</i>	42
Tabla 6. <i>Modelos urbanos según el movimiento de ciudades jardín</i>	85
Tabla 7. <i>Propuesta de medidas de control de ruido para la Municipalidad de Heredia</i>	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Hoja de campo para la ubicación exacta del punto de medición y la descripción física del sitio de estudio</i>	139
Anexo 2. <i>Hoja de cálculo de ruido ambiental y ruido de fondo</i>	150
Anexo 3. <i>Restricciones sanitarias vehiculares y de comercio a lo largo de las mediciones según el mes</i>	151
Anexo 4. <i>Distribución de las mediciones para los puntos de muestreo de ruido total con las estaciones de monitoreo de ruido, en el periodo del 2021-2022, Heredia, Costa Rica</i>	154

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En la actualidad, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha informado ampliamente sobre el impacto y los efectos adversos del ruido ambiental en la salud humana (OMS, 2018). El incremento de este contaminante es producto de aspectos como el crecimiento de la población, la urbanización, la globalización de las redes de transporte, así como la expansión de las extracciones de recursos (Sordello *et al.*, 2019). Para Mishra *et al.* (2021), el ruido se considera el cuarto contaminante ambiental más importante después de la contaminación del aire, agua y suelo. Por su parte, Lachira *et al.* (2021) menciona que el término “contaminación por ruido” y sus sinónimos¹ hace referencia a un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos nocivos para una persona o grupo de personas.

Este tipo de contaminación conlleva un fuerte impacto negativo en la calidad de vida de los seres humanos y otros seres vivos, y recientemente se ha convertido en una de las mayores preocupaciones ambientales urbanas (Xu *et al.*, 2020). El estrés relacionado con el ruido puede influir tanto psicológica como fisiológicamente en quienes se exponen a él (Sakieh *et al.*, 2017). Además, los trastornos del sueño, las enfermedades cardiovasculares, el síndrome metabólico, la cardiopatía isquémica por hipertensión, el riesgo de diabetes, la obesidad y otras molestias son tan solo algunos de los efectos que genera la exposición prolongada a este contaminante (Sygna *et al.*, 2014; Begou *et al.*, 2020; Recio *et al.*, 2016; Yu *et al.*, 2020; Vienneau *et al.*, 2015; Roswall *et al.*, 2017; Roswall *et al.*, 2018; Foraster *et al.*, 2018; Licitra *et al.*, 2016).

A nivel internacional sobresalen problemáticas como la falta de normativa que regule la emisión de ruido. Es el caso de Guatemala, donde Catún (2018) determinó que la contaminación en el área urbana del municipio de Cobán superaba los niveles recomendados por la OMS (70 dB(A)). Si bien la legislación es una herramienta fundamental para el control de este contaminante, el que un país cuente con normativa no significa que esté exento del mismo. Por ejemplo, en Ecuador y Panamá se encontró contaminación por ruido en el centro histórico de Quito con valores desde 58,9 dB(A) hasta los 78,4 dB(A), mientras que en la ciudad de Panamá sobrepasaban los niveles recomendados por la OMS y por el Ministerio de Salud del país, para

¹ Se denomina también intercambiamente ‘contaminación sonora’, ‘contaminación sónica’ o ‘contaminación acústica’.

las jornadas de trabajo de 8 horas (60 dB(A)) (Mier, 2017; Henríquez y De Frías, 2019).

A nivel nacional se han realizado diferentes investigaciones en torno al ruido. Bermúdez *et al.* (2018) realizaron un estudio en el que elaboraron mapas acústicos para los cantones de Heredia, Belén y Alajuela, con el propósito de que estos funcionaran como indicadores de la contaminación sónica. Se determinaron niveles de presión sonora superiores a los que establece la legislación vigente, en horarios tanto diurnos como nocturnos. Por otra parte, Moya y Monge (2015) desarrollaron un mapa acústico para el casco central de San José, realizando muestreos en diferentes localidades para caracterizar la distribución de los niveles de presión sonora. Se obtuvo que todos los sitios muestreados presentaron promedios superiores a los que establece la legislación costarricense, evidenciando de esta manera la problemática generalizada, es decir, problemas de la salud, afectaciones a la calidad de vida y al ambiente de este centro urbano por la contaminación por ruido. Más recientemente, Leitón (2020) llevó a cabo un proyecto para el casco central del cantón de San Rafael de Heredia, con el objetivo de caracterizar la contaminación acústica mediante un mapa de ruido de la zona, para verificar si se cumplía la normativa nacional vigente. Su conclusión fue que existe contaminación por ruido en San Rafael, pese a las restricciones sanitarias que se aplicaban en el momento de la medición.

A raíz de la creciente preocupación asociada a la contaminación acústica, y teniendo en consideración lo descrito con anterioridad, el objetivo de esta investigación está dirigido al diseño de un plan de monitoreo y control para el impacto sonoro en el casco central del cantón de Heredia, mediante la propuesta y el análisis de medidas de mitigación viables, las cuales contemplen los puntos críticos evaluados en el estudio.

1.2. Planteamiento del problema

La contaminación sonora es una problemática en la actualidad y, a medida que pasa el tiempo, afecta con mayor impacto el estado físico o psicológico de las personas y el entorno (Maquera, 2018). Por tanto, la trascendencia del tema estriba en que el exceso de ruido reduce la calidad de vida de las personas expuestas.

Para Pizarro (2016), el tratamiento de la contaminación por ruido difiere considerablemente en cada país; incluso hay regiones, como Costa Rica, en donde no se le considera un gran problema. Por ejemplo, a nivel nacional, no existe todavía una metodología para la creación de mapas de ruido, así como tampoco un plan o estrategia nacional para el

control de dicho contaminante, a pesar de contar con instrumentos legales que lo regulan. Debido a esta subestimación, los niveles de ruido se han incrementado a consecuencia de actividades como el tránsito vehicular y aéreo, la industria, la construcción y actividades recreativas, el problema del ruido persiste y requiere ser tratado de forma inmediata (Pizarro, 2016).

Las ciudades están inmersas en un cúmulo de actividades de uso de suelo mixto que incluye zonas industriales, comerciales y residenciales (Berrezueta, 2017). Este panorama se presenta en el casco central del cantón de Heredia, cabecera de la provincia de Heredia, Costa Rica, el cual, según Bermúdez *et al.* (2018), está conformado por tres zonas: residencial, comercial y de tranquilidad. Dicha conformación influye en la existencia de variedad de fuentes que ocasionan y contribuyen al aumento del ruido en el área de estudio. Por su parte, Herrera *et al.* (2009) mencionan que en dicho territorio se encuentra una importante concentración de actividades comerciales e industriales, en donde, por años, ha dominado un patrón de crecimiento urbano radial, que provoca un incremento desmedido del tráfico vehicular y un deterioro considerable en la calidad del aire. Asimismo, Quesada (2020) señala que dentro de los centros de población más afectados por el congestionamiento vial se encuentra el casco central de Heredia, debido al desplazamiento de las personas por el trabajo, la realización de compras, las visitas a familiares y la asistencia a los centros de estudio.

Con respecto a los niveles de ruido en esta ciudad, en cuanto a la zona residencial (es decir, la de mayor superficie), el estudio de Bermúdez *et al.* (2018) determinó que el 91,4 % de los datos obtenidos superaba el valor de 65 dB(A), inclusive con datos que llegan hasta los 104 dB(A). La zona comercial, ubicada principalmente en el centro del casco urbano de Heredia, mostró el mismo comportamiento que el área residencial. Y la zona de tranquilidad, ubicada al sur del casco urbano (en los alrededores del hospital), exhibió unos niveles de ruido mayores a 50 dB(A), los cuales también exceden los límites establecidos en la normativa nacional. Además, se indicó que las áreas que muestran los mayores niveles de ruido se ubicaban en el sector de la Universidad Nacional y en la salida de Heredia hacia San Joaquín de Flores y Alajuela, con valores establecidos en un intervalo de 94,6 dB(A) a 104 dB(A).

Ante estos datos, cabe indicar que la OMS recomienda no superar los 55 dB(A) de exposición de las personas durante el día, pues a partir de los 75 dB(A) el ruido puede ser dañino, y en los 120 dB(A) se sitúa en el umbral que provoca dolor y daño crónico (Ayala y Chango, 2018). Es así como nace la necesidad de analizar medidas de mitigación y control para

el ruido, de manera que puedan mejorar la calidad de vida de la población en cumplimiento con los límites máximos permisibles de la reglamentación nacional; asimismo, realizar la actualización del mapa acústico de la zona permitirá visualizar eficientemente las distribuciones de ruido y los puntos con mayor afectación por este, para la evaluación de posibles medidas de mitigación.

Por lo expuesto, las preguntas orientadoras de esta investigación corresponden a: ¿Cuáles son los niveles de presión sonora existentes en el casco urbano del cantón de Heredia en la actualidad? ¿Cuáles son los factores que causan la generación de contaminación por ruido? ¿Qué medidas de mitigación son factibles de implementar en las zonas afectadas por ruido y cuáles son capaces de mantenerse en el tiempo?

1.3. Justificación

En el 2017, el Programa Estado de la Nación (PEN) realizó una encuesta de percepción con respecto a qué tan satisfecha está la población con las condiciones ambientales de su entorno. Los resultados arrojaron que, a nivel local, los principales motivos de descontento son, entre otros, los niveles de ruido. Sumado a lo anterior, la Sala Constitucional ha indicado que tramita una importante cantidad de denuncias ambientales dentro de las cuales se encuentra como causa la contaminación ruidosa (PEN, 2017).

Por su parte, el informe *Estado de la Nación* del año 2019, al analizar la problemática del ruido desde un punto de vista municipal, determinó que no existe una gestión significativa de este tipo de contaminante ambiental, pues solamente el 12 % de los gobiernos locales posee alguna reglamentación al respecto. En términos económicos, se estima que los costos derivados de problemas de transporte en la Gran Área Metropolitana (GAM) por ruido son de 112 millones de dólares anuales (PEN, 2018) que, en el Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible para el Área Metropolitana de San José [PIMUS] (2017), se indica que requieren ser tomados en cuenta como costos ambientales.

De acuerdo con Barti (2013), el ruido existe todo el tiempo; además, sus fuentes son diversas en el sentido de que pueden variar según la actividad industrial y la ubicación de los sitios, por lo que es fundamental evaluarlo para instaurar acciones preventivas que salvaguarden la salud de las personas y su entorno. En este sentido, en Costa Rica la protección del ambiente como un servicio público necesario para cumplir con el derecho humano está garantizada en la

Constitución Política (1949), la cual, en su artículo 50, establece que toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por ello, es legítimo denunciar los actos que infrinjan este derecho, y reclamar la reparación del daño causado.

Por su parte, el artículo 294 de la Ley General de la Salud N°5395 (1973) enumera los sonidos que sobrepasan las normas aceptadas internacionalmente y están declarados por el Ministerio de Salud como agente de contaminación de la atmósfera. Adicionalmente, establece en el artículo 297 que toda fábrica o establecimiento industrial o comercial tiene la obligación de evitar sonidos producto de sus actividades, cuando estas causen o contribuyan a la contaminación de la región. De igual manera, el artículo 302 viene a determinar que ningún establecimiento industrial podrá funcionar si sus labores constituyen un elemento de peligro, insalubridad o incomodidad para la vecindad. Análogamente, la Ley Orgánica del Ambiente N°7554 (1995), particularmente el artículo 60, indica que para prevenir y controlar la contaminación del ambiente se debe dar prioridad al establecimiento y operación de servicios adecuados en áreas fundamentales para la salud ambiental, como el control de la contaminación sónica.

En lo que se refiere a las emisiones de vehículos automotores, la Ley de Tránsito por Vías Públicas Terrestres y Seguridad Vial N°9078 de 2012, en su artículo 39 establece que el Poder Ejecutivo determinará, mediante reglamento, los valores límite de ruido según las características básicas del vehículo. Existe además otra normativa sobre el control del ruido enfocada a la salud ocupacional o entornos industriales, en la que se puede citar el Reglamento sobre el Control de Ruidos y Vibraciones N° 10541 (1979) y el Reglamento de Higiene Industrial N° 11492 (1980).

Por tanto, lo mencionado con anterioridad constituye un pilar fundamental para el desarrollo de este estudio, ya que se plantea brindar una solución técnica a la contaminación por ruido presente en el casco central del cantón de Heredia, de manera que se propongan medidas de mitigación viables que beneficien a los habitantes de dicha zona. Es importante dejar constancia de que el desarrollo de este estudio cuenta con condiciones de viabilidad humana, técnica y económica, ya que se cuenta con el apoyo del Programa de Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología (PROCAME) de la Universidad Nacional, en cuanto a la prestación de los equipos de monitoreo de ruido, la licencia del software a utilizar y otros gastos en que incurra el proyecto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Establecer un plan de monitoreo y control para el impacto sonoro en el casco central del cantón de Heredia, Costa Rica, a través del monitoreo de niveles de presión sonora de la zona, los cuales contribuyan a la disminución de la contaminación por ruido.

2.2. Objetivos específicos

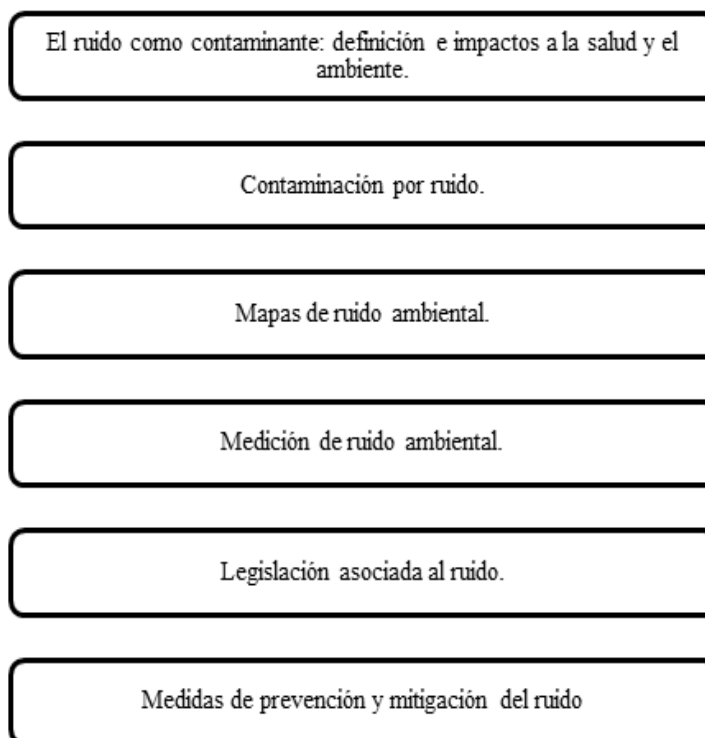
1. Diagnosticar las condiciones actuales de ruido ambiental en el casco central de Heredia, a través del monitoreo de niveles de presión sonora, para el establecimiento de una línea base del impacto por ruido.
2. Elaborar un mapa acústico de la zona según los niveles de presión sonora obtenidos del monitoreo, utilizando un software de modelación, para la evaluación de la condición acústica y demostración gráfica de las áreas de mayor concentración de ruido.
3. Diseñar una propuesta para el control de contaminación por ruido en el casco central de Heredia, mediante el análisis de medidas de mitigación viables que incluyan los puntos críticos evaluados, las cuales contribuyan a la disminución de la contaminación por ruido en la zona de estudio.

3. MARCO TEÓRICO

En este apartado se presenta una descripción detallada de cada uno de los elementos, tanto teóricos como conceptuales, más importantes para el desarrollo y sustento del proyecto, así como las relaciones más significativas existentes entre estos. Se organiza en 6 grandes temas o categorías, las cuales se subdividen posteriormente en componentes más específicos. La **figura 1** muestra la organización, orden y secuencia de este marco teórico.

Figura 1.

Estructura del marco teórico



Fuente: Elaboración propia.

3.1. El ruido como contaminante: definición e impactos a la salud y el ambiente

De acuerdo con Zafra (2018), el sonido se entiende como un fenómeno físico producto del movimiento de cualquier medio que manifiesta una fuente emisora, la cual genera una serie de ondas de presión sonora que pueden ser percibidas por el oído humano. Para medir esta velocidad se requiere del uso de la unidad de medida de frecuencia en el Sistema Internacional

de Unidades (SI) conocida como hercio (Hz), y para calcular la intensidad o el volumen de presión se utiliza una medida logarítmica llamada “decibel” o “decibelio” (dB).

Recientemente, se ha entendido por “ruido” aquel tipo de energía sonora audible perjudicial para la salud, tanto física como mental, de los seres humanos (Mohamed *et al.*, 2021). Así, en Costa Rica el Reglamento para el Control de la Contaminación por Ruido (Decreto N° 39428-S, 2015) efectivamente lo define como «sonido indeseable o perturbador que afecta física o psicológicamente al ser humano». No obstante, hay que tener claro que la interpretación de ruido es inherente a cada persona, ya que depende de variables como sus propiedades acústicas, la intensidad, la duración y la frecuencia; así como de aspectos relacionados con la ubicación, condiciones climáticas, el tiempo y hasta factores personales como la sensibilidad y vulnerabilidad al ruido (Almagro *et al.*, 2021). De lo anterior se infiere que, al ser este percibido de manera diferente por cada individuo, el grado de afectación puede variar, por lo que en estudios como el presente es fundamental conocer e identificar las características generales más importantes, físicas y socioeconómicas, del sitio de estudio, la identificación de las principales fuentes emisoras, así como la población afectada y los grupos vulnerables.

Algunos autores concuerdan en que la mayor parte del tiempo las personas no son conscientes del ruido que existe a su alrededor, lo cual conlleva en muchos casos a ignorar sus impactos en la salud. En el estudio de Stansfeld y Clark (2019) se apunta a que cuando existe una exposición aguda a este contaminante se puede presentar una serie de respuestas fisiológicas a corto plazo, tales como el aumento de la presión arterial y de la secreción endocrina, y aceleración de la frecuencia cardíaca. Cuando dicha exposición ocurre en periodos extendidos, puede ocasionar una activación considerable de dichas respuestas, las cuales acaban convirtiéndose, eventualmente, en una enfermedad.

El ruido es un contaminante extraño, intermitente o aleatorio (Hassan, 2021). Por tanto, posee distintas fuentes de generación que, a su vez, se categorizan en diferentes tipos. Catún (2018) y Coloque (2019) los describen de la siguiente manera:

- **Ambiental:** Es el ruido combinado de varias fuentes en un determinado lugar. En Costa Rica, el Reglamento para el Control de la Contaminación por Ruido también lo define bajo el término “ruido de fondo”.
- **Continuo:** Aquel que mantiene constantes sus niveles de presión sonora a lo largo del tiempo; es decir, no presenta fluctuaciones considerables mayores a 5 dB durante más de

un minuto.

- **Fluctuante:** Es aquel ruido emitido por cualquier tipo de fuente y que presenta diversas fluctuaciones, las que superan los 5 dB durante un minuto.
- **Intermitente:** Se refiere al ruido que presenta fluctuaciones repentinas de la intensidad sonora en forma periódica.
- **Impulsivo:** Presenta variaciones rápidas del nivel de presión sonora en periodos cortos de tiempo.
- **De baja frecuencia:** Corresponde al ruido que resulta más difícil de amortiguar, ya que se extiende fácilmente en todas las direcciones.

3.1.1. Efectos en la salud

Calderón y Tacuri (2016) destacan el impacto negativo del ruido en aspectos fundamentales del ser humano como lo son la calidad de vida y el bienestar de la salud en general. En este sentido, hay que tener claro que el peligro más directo del ruido corresponde al daño auditivo: los estudios han demostrado que la incidencia de sordera aumenta significativamente en entornos que superan los 90 dB (Basner *et al.*, 2014; Okokon *et al.*, 2015). Asimismo, en los trabajos de Śliwińska y Zaborowski (2017) se estudiaron los efectos directos del ruido en el sistema auditivo, los cuales provocan problemas como el tinnitus (sensación de timbre u otros ruidos en uno o en ambos oídos), discapacidad auditiva o pérdida permanente de la audición. Se ha identificado también que el ruido ocasiona daños a otros sistemas del cuerpo humano, como el desarrollo de síntomas de neurastenia (dolores de cabeza, insomnio, fatiga general y pérdida de memoria), así como hipertensión, arteriosclerosis y cardiopatía coronaria (Hammersen *et al.*, 2016; Fuks *et al.*, 2016).

Una revisión sobre la relación del ruido y la salud mental en adultos apoyó la hipótesis de que el ruido está asociado con la función neurocognitiva, el trastorno del estado de ánimo y la enfermedad neurodegenerativa en este grupo de personas, cuando fueron expuestos en el largo plazo (Tzivian *et al.*, 2015). En esta misma línea, Hahad *et al.* (2018) señalaron que este contaminante actúa como un estresante psicosocial y activa mecanismos de autorregulación que pueden conducir a efectos psicológicos como la depresión y ansiedad. Esta evidencia sugiere que, aunque el ruido es un determinante de la salud relacionado con el ambiente, también puede interactuar de manera negativa con otros factores de la salud vinculados a los estilos de vida o

comportamientos propios de cada persona.

A raíz de lo anterior, es claro que el ruido corresponde a un problema acuciante de salud pública. La influencia de diferentes fuentes de este contaminante sugiere que su exposición está ligada a diferentes enfermedades y problemas de salud mental. Es por eso que comprender cómo el ambiente influye en la salud de las personas y su entorno es esencial para lograr una vida sostenible y la posible prevención de enfermedades. Cabe mencionar que la información recopilada en investigaciones como la presente podría servir como base para crear entornos sociales y físicos que promuevan la salud integral e identificar acciones efectivas para reducir los efectos adversos del ruido, así como áreas donde se necesiten nuevas investigaciones. Esto también está asociado con la planificación de los territorios, si se aspira a ciudades más sostenibles.

3.2. Contaminación por ruido

El Reglamento para el Control de la Contaminación por Ruido (Decreto N° 39428-S, 2015) de Costa Rica define a este tipo de contaminación como «cualquier emisión de sonido que afecte adversamente la salud de los seres humanos y exceda las limitaciones establecidas en este Reglamento». No obstante, la OMS señala que, además del impacto en la salud, este tipo de contaminación incide en ámbitos socioculturales y económicos (Expósito, 2013). De acuerdo con Hassan (2021), puede clasificarse en varios tipos:

- **Contaminación crónica:** Se refiere al tipo de exposición constante a la fuente de ruido, que puede desencadenar una discapacidad auditiva sostenida.
- **Contaminación temporal con daño fisiológico:** Es la exposición a periodos limitados de fuentes de ruido, lo que conlleva posteriormente a daños internos en el oído.
- **Contaminación temporal sin daño:** Es aquella continua, durante un periodo limitado, que conduce a una discapacidad auditiva temporal, ya que el estado normal se recupera después de un periodo simple.

Por su parte, Arzroni y Najm (2013) señalan que puede segregarse también según diferentes criterios, tales como:

La génesis:

- **Ruido natural:** causado por los sonidos de la naturaleza como volcanes o explosiones.
- **Ruido humano:** causado por diversos eventos o actividades antropogénicas.

La durabilidad:

- **Ruido crónico:** cuando la exposición es permanente y persistente.
- **Ruido temporal:** durante un tiempo determinado y no constituye una situación permanente cuando se produce de forma repentina.

El rastro de salud:

- **Ruido doloroso:** cuando sus niveles superan los 120 dB, provocan daños a la salud o lesiones graves a quienes sufren la exposición.
- **Ruido medio:** niveles entre 45 dB y 80 dB, con consecuencias a la salud que duran meses o años, cuando la exposición se da por periodos prolongados.

3.2.2. Fuentes de ruido

Carranza y Tovar (2014) explican que los generadores o fuentes de ruido pueden variar en número y sus emisiones pueden cambiar con el paso del tiempo. Además, si se combinan pueden provocar mayores molestias, ya que se ha evidenciado que cuando las diferentes fuentes de este contaminante son percibidas sucesivamente afectan considerablemente a las personas. Por lo tanto, es necesario conocer dichas fuentes para entender su caracterización y los posibles efectos de situaciones de múltiples fuentes de ruido (Marquis-Favre *et al.*, 2021). En los trabajos de Hassan (2021) se describe cómo las fuentes de ruido difieren en su dirección de propagación, y se clasifican en tres grandes grupos:

- **Fuentes puntuales:** Se refieren a la ubicación de la máquina generadora de ruido o de cualquier objeto que emita ondas sonoras en todas direcciones. Las tendencias de estas ondas sonoras varían según la ubicación de la fuente.
- **Fuentes lineales:** Son un conjunto de puntos que continúan moviéndose a lo largo de una línea recta, alejándose unos de otros a una cierta distancia y a la misma distancia. Este tipo de fuente se mueve a una velocidad diferente, la cual emite ondas de sonido de medio cilindro a lo largo de su línea de movimiento. Posee una longitud limitada.
- **Fuentes de superficie:** Representan la superficie o la interfaz de un edificio que emite ondas de sonido ruidoso a través de una superficie bidimensional, como la interfaz de la

sala de máquinas, una interfaz de laboratorio o una ventana de pared.

3.3. Mapas de ruido ambiental

Los mapas de ruido o mapas acústicos son aquellos que se diseñan para la evaluación global de la exposición al ruido de una zona determinada, por la existencia de diversas fuentes contaminantes (Martínez, 2019). Existen diferentes maneras de obtenerlos: mediciones, simulaciones, predicciones o cálculos, o en forma mixta, que implica medir algunos datos y calcular otros por extrapolación e interpolación mediante modelos matemáticos o físicos (Calderón y Tacuri, 2016). Los mapas de ruido son una herramienta imprescindible para la gestión urbanística, ya que permiten determinar las zonas en las que se concentra más el ruido, simular posibles escenarios y hacer predicciones globales; de esta manera se convierten en una herramienta útil para cuantificar y establecer planes de acción para mitigar el ruido (Pizarro, 2016; Calderón y Tacuri, 2016).

El objetivo principal de un mapa acústico es estimar la exposición al ruido en zonas habitables, y con esto comparar los niveles acústicos frente a las normativas de cada país, lo que posibilita determinar medidas técnicas, económicas y legales (Mier, 2017). Según Mohamed *et al.* (2021), la mayoría de las autoridades reguladoras exige la elaboración de mapas de ruido para (1) cuantificar y caracterizar las fuentes ruidosas, (2) evaluar la naturaleza de la población sometida a dicho contaminante, (3) crear una base de datos que describa las fuentes de ruido y las zonas afectadas, y (4) poder predecir, mediante un ejercicio de modelización, futuros escenarios de diversos impactos. Para efectos de la presente investigación, los mapas constituyen un instrumento de gestión que posibilita conocer los puntos de mayor concentración de ruido en el sitio de estudio y, por ende, adoptar eventualmente planes de acción, mejoras o propuestas necesarias y acordes con los resultados obtenidos para prevenir y reducir el ruido ambiental. Asimismo, es una herramienta que puede proporcionar información útil para los proyectos de planificación, ordenamiento y gestión vial de la municipalidad de Heredia.

Ahora bien, para su elaboración se debe tener en cuenta varios aspectos como: qué lugar escoger para medir, cómo medir, el número de muestras a tomar y lo más importante: cuándo se debe medir (Berrezueta, 2017). Entre las metodologías para fijar los puntos de medición se pueden considerar las siguientes (Berrezueta, 2017; Mier, 2017; Calderón y Tacuri, 2016):

- **Metodología de la cuadrícula o rejilla:** Los puntos de medición se determinan mediante

la intercalación de una retícula sobre el plano y se realizan las medidas en los nodos de dicha rejilla; una vez hecho esto, los puntos seleccionan de manera aleatoria.

- **Metodología de viales:** Para la ubicación de puntos de medición en este caso se consideran las calles principales de una ciudad, de acuerdo con criterios ambientales y urbanísticos sobre el tráfico vehicular.
- **Metodología de zonas específicas:** Se emplea en zonas en las que se han determinado previamente los puntos de medición considerando la localización y las fuentes de ruido a estudiar.
- **Metodología aleatoria:** Los puntos escogidos para medir el ruido se determinan al azar, utilizando criterios urbanísticos, geomorfológicos, poblacionales, entre otros.
- **Metodología por modelos predictivos:** Se aplican modelaciones matemáticas que permiten predecir el nivel sonoro considerando el tipo de fuente que lo provoca; entre estos están los aeropuertos, sectores industrializados o de tráfico vehicular urbano. Se utiliza un software de modelación acústica, basado en ecuaciones de predicción del ruido según la fuente sonora. SoundPLAN, CadnaA y Mithra figuran como los más utilizados para las modelaciones.

3.4. Medición de ruido ambiental

La medición de ruido ambiental no corresponde a un punto de muestreo, como se denomina en el caso de los parámetros agua, suelo y aire, ya que estos se capturan en una muestra física (agua: muestra en un frasco según el parámetro requerido; aire: peso en partículas como PM₁₀ o PM_{2.5} del aire absorbido; y suelo: volumen requerido de un cuarteo). Considerando que el ruido no puede ser capturado de manera física, se evalúan los datos de presión sonora obtenidos por medio de un instrumento de precisión capaz de registrar la presencia del ruido (Coloque, 2019). Se trata del sonómetro, el cual permite capturar los niveles de ruido existentes en un tiempo y lugar de medición específicos; pero también se pueden emplear otros equipos, como las estaciones de monitoreo de ruido, que se dedican a monitorizarlo permanentemente.

3.4.1. Indicadores de ruido ambiental

3.4.1.1. Unidades de medida del nivel de sonido

El sonido se mide comúnmente utilizando la escala del decibelio o decibel (dB), debido a que la respuesta dada por el oído humano se considera logarítmica, y si el umbral de audición se fija en 0 dB, la frecuencia tendrá un valor de 1000 Hz (Berrezueta, 2017). Para Murphy y King (2014), al utilizar una escala logarítmica se reduce una gran cantidad de información a algo más manejable, permitiendo tratar con números muy grandes (o muy pequeños) con cierta facilidad. Así se observa en la **ecuación 1**, la cual indica el cálculo del nivel de presión sonora (NPS o L_p) en decibelios, en donde el valor de presión sonora de referencia es de 2×10^{-5} N/m². Como este es un número demasiado pequeño y difícil de manejar, dicha ecuación permite obtener números con los que es más fácil tratar e interpretar resultados:

Ecuación 1.

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p}{p_o} \right)^2 = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_o} \right) [dB] \quad (1)$$

En donde p es el valor eficaz de nivel de presión medida y p_o es el valor eficaz de la presión sonora de referencia, fijado en 2×10^{-5} N/m² o 20 μ Pa (Mohamed *et al.*, 2021). La presión sonora de referencia de 20 μ Pa (2×10^{-5} Pa) corresponde a la mínima presión sonora que estadísticamente genera sensación auditiva en los oídos de personas sanas con 18 años de edad, para una señal en la frecuencia de 1000 Hz (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

3.4.1.2. Potencia sonora, presión sonora e intensidad sonora

En este punto, es importante diferenciar entre nivel de presión sonora (L_p), de potencia sonora (L_w) y de intensidad sonora (L_i) (Murphy y King, 2014):

- **Presión sonora:** Es el nivel de sonido expresado en decibelios respecto al umbral de audición.
- **Potencia sonora:** Es la energía acústica emitida por una fuente sonora a lo largo del tiempo y es una propiedad de la propia fuente sonora. Se mide en vatios [W].

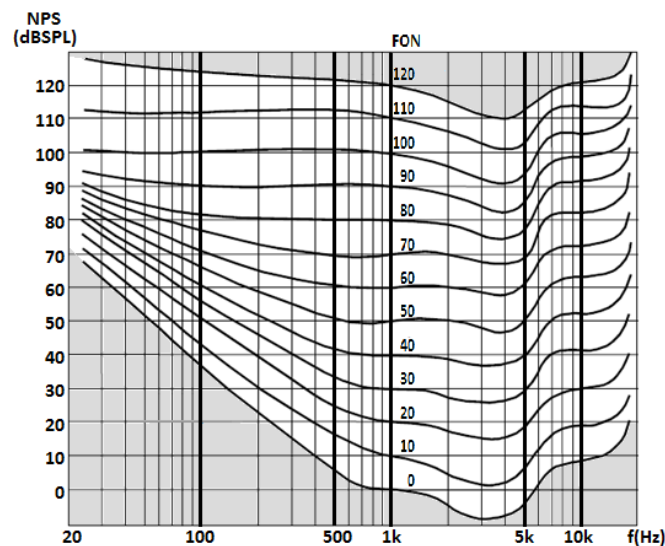
- **Intensidad sonora:** Es una cantidad que describe la tasa de flujo de energía acústica por unidad de área en una determinada dirección. Como la intensidad tiene una dirección asociada, es una cantidad vectorial (a diferencia de la presión sonora, que es una cantidad escalar, ya que solo está descrita por una magnitud).

3.4.1.3. Ponderación de frecuencias y tiempo

El oído humano no responde por igual a los sonidos de diferentes frecuencias; tendemos a percibir los sonidos de menor frecuencia como de menor intensidad (Murphy y King, 2014). En 1933, Fletcher y Munson determinaron que la respuesta del sistema auditivo no es lineal, y describieron curvas de sonoridad constante denominadas “curvas isofónicas” (ver **figura 2**) (Ganic, 2019). Estas establecen una relación entre la frecuencia y el nivel de presión sonora (dB) de dos sonidos, para que estos sean percibidos de la misma manera por el oído (Ganic, 2019).

Figura 2.

Curvas isofónicas establecidas por Fletcher y Munson en 1933



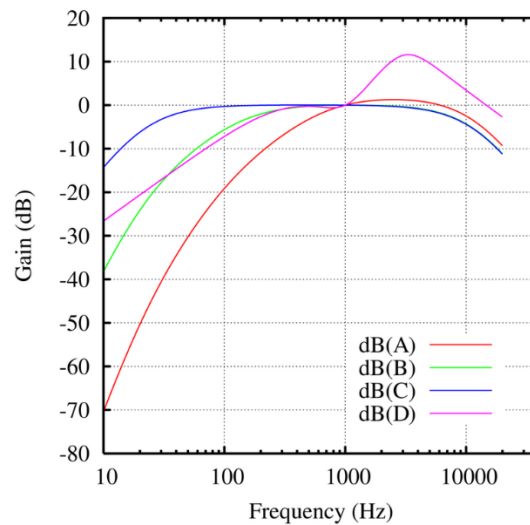
Fuente: Fernández-Cid (2017).

Existen tres filtros de ponderación: A, B, y C, cuyo objetivo es modificar el espectro de frecuencias del ruido para que el nivel resultante sea comparable al sentido de la audición humana (ver **figura 3**) (Paricahua, 2019). La ponderación C se utiliza para modelar la respuesta del oído ante sonidos de gran intensidad (Catún, 2018). Sin embargo, en el campo del monitoreo del sonido ambiental, la medición predominante es el dB(A), que indica el promedio de la dosis

de nivel de presión sonora (NPS) ponderado A recibido en un lugar de medición durante un periodo de tiempo (Green y Murphy, 2019). Asimismo, es la más semejante a la percepción logarítmica del oído humano y el riesgo que este sufre al ser expuesto al ruido. Por ello, es la curva que se utiliza a la hora de legislar (Martínez, 2019). En palabras más sencillas, las curvas isofónicas indican el rango de respuesta auditiva humana según intensidad y frecuencia, mientras que los filtros de ponderación atenúan o modifican las frecuencias captadas, dando un resultado más real de lo que el oído humano percibe. La ponderación A es la más utilizada en el campo de ruido ambiental y evaluación de riesgos asociados al nivel de exposición, al semejarse más a lo captado por el oído humano.

Figura 3.

Curvas de ponderación frecuencial A, B y C



Fuente: Fernández-Cid (2017).

Por otra parte, se tienen las ponderaciones de tiempo, las cuales representan el periodo de tiempo considerado para tomar la medición o el valor medio de la señal captada durante las mediciones de presión sonora (Pizarro, 2016), entre las que se encuentran la respuesta lenta (*slow*) y respuesta rápida (*fast*). Estas se configuran en los equipos de medición; dichas respuestas se diferencian entre sí en qué tan frecuente la pantalla del instrumento se actualiza con los datos del nivel de sonido. El modo rápido posee un tiempo de integración de 0,125 segundos (Pizarro, 2016), mientras que, para la respuesta lenta, el tiempo es de 1 segundo (Catún, 2018).

3.4.1.4. Métricas de medición de ruido

Para Murphy y King (2014), una métrica de ruido está diseñada para que la información sea fácil de manejar, pero sigue proporcionando información precisa sobre el entorno acústico; se realiza generalmente para prevenir los efectos nocivos del ruido, como las molestias y los problemas de salud pública. Entre los indicadores usados se tienen los siguientes:

3.4.1.4.1. Nivel continuo equivalente L_{eq} .

Se define como el promedio de nivel de presión sonora durante un periodo determinado de tiempo (Mohamed *et al.*, 2021). Además, es el descriptor utilizado para indicar los límites nacionales permisibles; por tanto, su cálculo es necesario para la posterior comparación y verificación del cumplimiento. Cuando los intervalos unitarios de tiempo de medición son iguales, se expresa matemáticamente así:

Ecuación 2.

$$L_{eq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum 10^{\left(\frac{L_{pi}}{10}\right)} \right] \quad (2)$$

Donde: $L_{eq,T}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente en dB(A); N es el número total de mediciones efectuadas y L_{pi} es el nivel de presión sonora continuo equivalente con respuesta temporal rápida de cada evento individual de medición en dB(A).

3.4.1.4.2. *Indicadores estadísticos: L_{10} , L_{50} , L_{90}*

Permiten identificar los niveles que han alcanzado o sobrepasado un porcentaje determinado del periodo analizado. Frecuentemente se toman como referencia los percentiles 10, 50 y 90 (Ávila, 2019). El percentil 90 es de especial interés, ya que puede funcionar como descriptor del ruido de fondo o indicador de la acústica característica de la zona, al ser el nivel de presión sonora que se percibe durante el 90 % del tiempo de medición.

3.4.1.4.3. *Otros indicadores: $L_{día}$, L_{noche} , $L_{máx}$, $L_{mín}$, L_{peak}*

En cuanto a los indicadores de $L_{día}$ y L_{noche} , estos dan una idea del nivel de ruido a lo largo de las 24 horas del día, teniendo en cuenta que la población en la noche es más sensible al ruido (Mier, 2017). Por su parte, Catún (2018) señala que el nivel de presión sonora máximo ($L_{máx}$) es el nivel de presión sonora más alto registrado durante el periodo de medición establecido; el nivel de presión sonora mínimo $L_{mín}$, por el contrario, es el nivel de presión sonora más bajo registrado durante el periodo de medición establecido; y el nivel de presión sonora pico L_{peak} es el nivel de presión sonora instantánea máxima generado por un evento durante el periodo de tiempo establecido en la ponderación “C”.

4.3. Legislación asociada al ruido

En el ámbito internacional, la OMS contempló por primera vez los efectos negativos del ruido sobre la salud en el año 1972, y decidió catalogarlo como un tipo más de contaminación. Años después, la Conferencia de Estocolmo y la Comunidad Económica Europea clasificaron al ruido como un contaminante específico y les requirieron a los países miembros un esfuerzo para regularlo legalmente (Amable *et al.*, 2017). A partir de esas inquietudes, se han tenido que fijar límites permisibles con el fin de resguardar la salud humana y ambiental. Un ejemplo de ello es lo estipulado por la OMS (ver **tabla 1**), organismo que recomienda los siguientes valores:

Tabla 1.

Valores recomendados de ruido comunitario en entornos y fuentes específicas para el día y la noche por la Organización Mundial de la Salud

Fuente/entorno	L _{día} dBA	L _{noche} dBA
Ruido del tráfico rodado	53	45
Ruido ferroviario	54	44
Ruido aéreo	45	40
Ruido de los aerogeneradores	45	-
Ruido en el ocio	70 (como media anual de todas las fuentes de ruido de ocio)	
Zona al aire libre	55-50	-
Interiores	35	30
Aula escolar	35	-
Hospital	30	30
Industria	70	-
Festivales	100	-

Fuente: OMS (2018) y OMS (1999).

Se cuenta además con normas internacionales estandarizadas, como lo es la serie de normas ISO 1996, la cual pretende proporcionar a las autoridades material para la descripción y evaluación del ruido en ambientes comunitarios. Es una norma básica en la evaluación del ruido que se divide en dos partes, en donde se habla de las magnitudes básicas, métodos de evaluación y determinación de los niveles de ruido ambiental (Calderón y Tacuri, 2016). Se cuenta también con normativas europeas, como la Ley 37/2003 del Ruido en España, y la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental en la Unión Europea, en donde se incorporan los mapas acústicos como instrumentos estratégicos para la planificación de medidas preventivas y correctivas de la contaminación sónica (Murrell *et al.*, 2020).

Por su parte, en Costa Rica la regulación de la contaminación por ruido está estipulada en el artículo 50 de la Constitución Política, donde se establece el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Para ello, el país ha fijado límites permisibles de las emisiones ruidosas, los cuales se pueden encontrar en el Reglamento para el Control de Contaminación por Ruido, decreto N°39428-S (2015). Es precisamente este documento el que fija los límites

acústicos permitidos en el país, según la zona receptora y el tipo de horario. Tal como se muestra en la **tabla 2**, el periodo nocturno es el más restrictivo:

Tabla 2.

Límites de niveles de sonido en dB(A) para cada fuente emisora según horario

Zona	Horario	
	Diurno (6:00 a 19:59)	Nocturno (20:00 a 5:59)
Residencial	65	45
Comercial	70	55
Industrial o agrícola/pecuaria	70	60
Tranquila	50	45
Mixta	70	45

Fuente: Poder Ejecutivo (2015).

Asimismo, la reglamentación menciona tres tipos de ajuste sobre el nivel de ruido medido según los siguientes criterios:

1. **Ajuste por ruido ambiental:** Cuando supere los límites máximos permisibles, la fuente generadora no podrá aumentar el ruido ambiental del área en más de 3 dBA. Las mediciones se harán desde el vecino más cercano a la fuente.
2. **Ajuste por ruido de impacto:** Se impondrá una penalización de 5 dBA, que deberá sumarse al nivel medido. Este nivel, incluyendo la penalización, no podrá sobrepasar los niveles establecidos en el cuadro 3 del Reglamento para el Control de Contaminación por Ruido o 3 dBA por encima del nivel de ruido ambiental del área sin la fuente emisora. Se aplicará el valor que resulte mayor, sea el límite del cuadro 3 del Reglamento para el Control de Contaminación por Ruido, o el nivel permisible según ajuste por ruido ambiental.
3. **Ajuste por ruido intermitente:** Para ruidos intermitentes, se impondrá una penalización de 3 dBA que deberá sumarse al nivel medido. Este nivel, incluyendo la penalización, no podrá sobrepasar los niveles establecidos en el cuadro 3 del Reglamento para el Control de Contaminación por Ruido o 3 dBA por encima del nivel de ruido ambiental del área sin la fuente emisora. Se aplicará el valor que resulte mayor, sea el límite del cuadro 3 del Reglamento para el Control de Contaminación por Ruido, o el nivel permisible según

ajuste por ruido ambiental.

Por último, se cuenta con el Procedimiento para la Medición de Ruido (decreto N°32692, 2005), cuyo objetivo es oficializar, para efectos de aplicación por las autoridades de salud, las mediciones sonoras que deban efectuarse con el propósito de asegurar la protección de la salud de las personas en lo que se refiere a emisión contaminante de ruido, proveniente de fuentes artificiales.

4.3. Medidas de prevención y mitigación

Para combatir la contaminación por ruido, las medidas de mitigación pueden aplicarse en: la fuente de ruido, a lo largo de la trayectoria de propagación del ruido o en el extremo de los receptores (Lam *et al.*, 2021), y se puede dividir en dos tipos: el control activo y el control pasivo del ruido.

Según Molina *et al.* (2017), el control pasivo del ruido es el que se lleva a cabo mediante barreras naturales, y menciona la arborización como una de ellas; o bien, barreras artificiales, que permitan amortiguar el ruido. Sancho (2017) indica que este control se basa en utilizar materiales absorbentes, porosos o con otras características, de forma que consigan atenuar la energía transportada por la onda sonora. Por otro lado, Orozco (2019) propone que más allá de la construcción de barreras acústicas que dividan el espacio de la ciudad, es necesario regular los límites de velocidad de los vehículos, mejorar las características del pavimento, la fluidez del tráfico, la dinámica urbana, entre otros diferentes enfoques para su atención y control.

Por su parte, el control activo del ruido se refiere a generar y emitir una frecuencia que anule o destruya el ruido producido por un emisor (o un ruido que se encuentre en el ambiente). Esta onda anti-ruido es una copia del ruido real, pero con una fase invertida, que interfiere de forma aniquiladora con el ruido de entrada y lo neutraliza. Ejemplos: los tubos de escape, sistemas de ventilación, protectores auditivos y similares (Lam *et al.*, 2021; Molina *et al.*, 2017).

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1. Enfoque y diseño de la investigación

La metodología de la presente investigación se realizó bajo un enfoque mixto, ya que se utilizaron datos cualitativos referentes a información y puntos de interés identificados por la Municipalidad de Heredia; así como métodos cuantitativos, consistentes en la medición directa de los niveles de presión sonora existentes en la zona, empleando sonómetros especializados o estaciones de monitoreo de ruido. Lo anterior, a la vez, explica que el tipo de diseño del proyecto sea exploratorio secuencial, al que Hernández *et al.* (2014, p. 551) describe de esta manera: se caracteriza por una primera etapa en la que se recolectan y analizan datos cualitativos, seguida de otra donde se recaban y analizan datos cuantitativos.

La investigación también correspondió a un estudio exploratorio, dado que con ella se pretendió obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa sobre un contexto particular, establecer prioridades para investigaciones posteriores, y examinar una problemática que ha sido escasamente abordada anteriormente (Velásquez y Cruz, 2018). Asimismo, es un estudio descriptivo, ya que se buscó especificar las propiedades, características y perfiles del fenómeno en análisis por medio de la medición y recolección de información (Hernández *et al.*, 2014, p. 92). En este caso, se pretendió conocer los niveles de presión sonora actuales en el casco central del cantón de Heredia, durante época seca y época lluviosa, con el propósito de evaluar la contaminación del sitio por ruido proveniente de la actividad humana y comercial. Como subproductos, se logró actualizar el mapa acústico del cantón y se formularon las propuestas de mitigación de este contaminante.

4.2. Alcance de la investigación

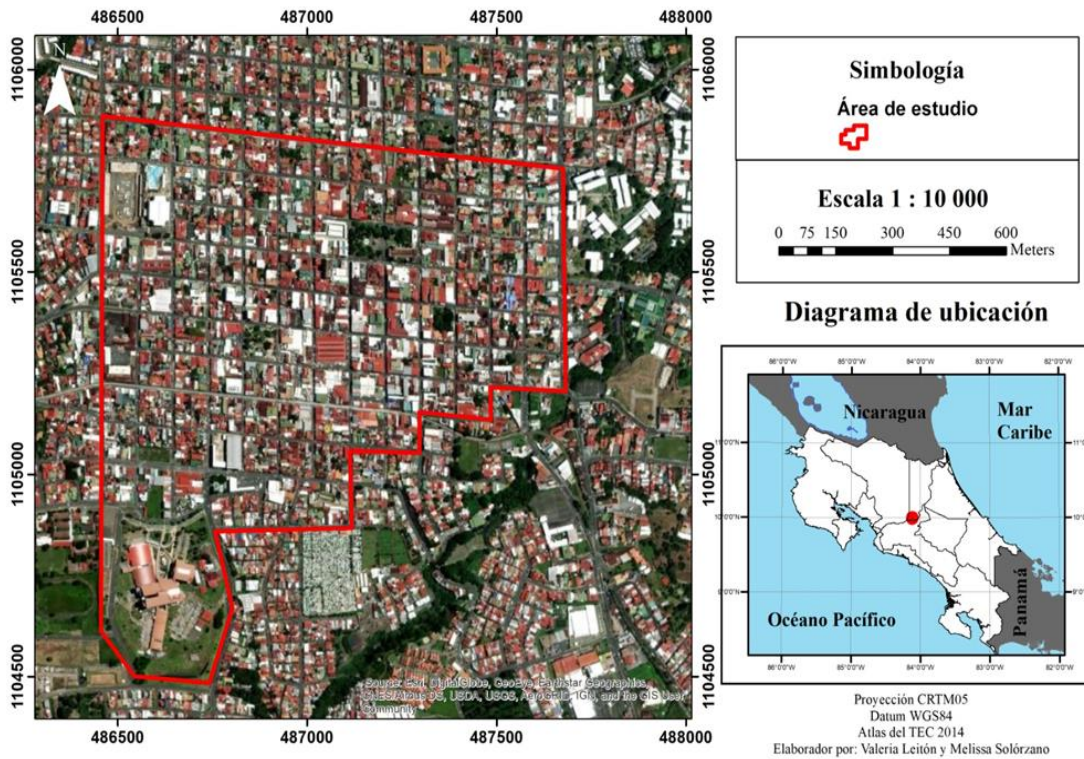
El área de estudio correspondió a la centralidad urbana del cantón de Heredia, cabecera de la provincia del mismo nombre, en las comunidades de Barrio el Carmen, ESPH S.A, Universidad Nacional, Hospital San Vicente de Paul, Barrio Los Ángeles, Barrio Oriente y Heredia central. La totalidad del área se muestra en la **figura 4**.

Cabe mencionar que como parte de los criterios para la selección de dichos sitios se realizaron consultas con la Municipalidad de Heredia, pues corresponden a zonas de interés según los proyectos de planificación, ordenamiento y gestión vial que dicha institución se

encuentra desarrollando en la actualidad.

Figura 4.

Mapa del sitio de estudio, casco central de Heredia, Heredia, Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Descripción del proceso metodológico

Se establecieron tres distintas etapas o fases, acordes con los objetivos del proyecto, y se detallan seguidamente.

4.3.1. Fase 1. Diagnosticar las condiciones de ruido ambiental para el establecimiento de una línea base

El objetivo de esta fase correspondió a la obtención de la línea base del impacto sonoro existente en el casco central del cantón de Heredia, mediante el diagnóstico de los niveles de presión sonora actuales, el reconocimiento del sitio, así como la identificación y registro de otras posibles fuentes emisoras. Para el desarrollo de esta primera fase se realizaron las siguientes

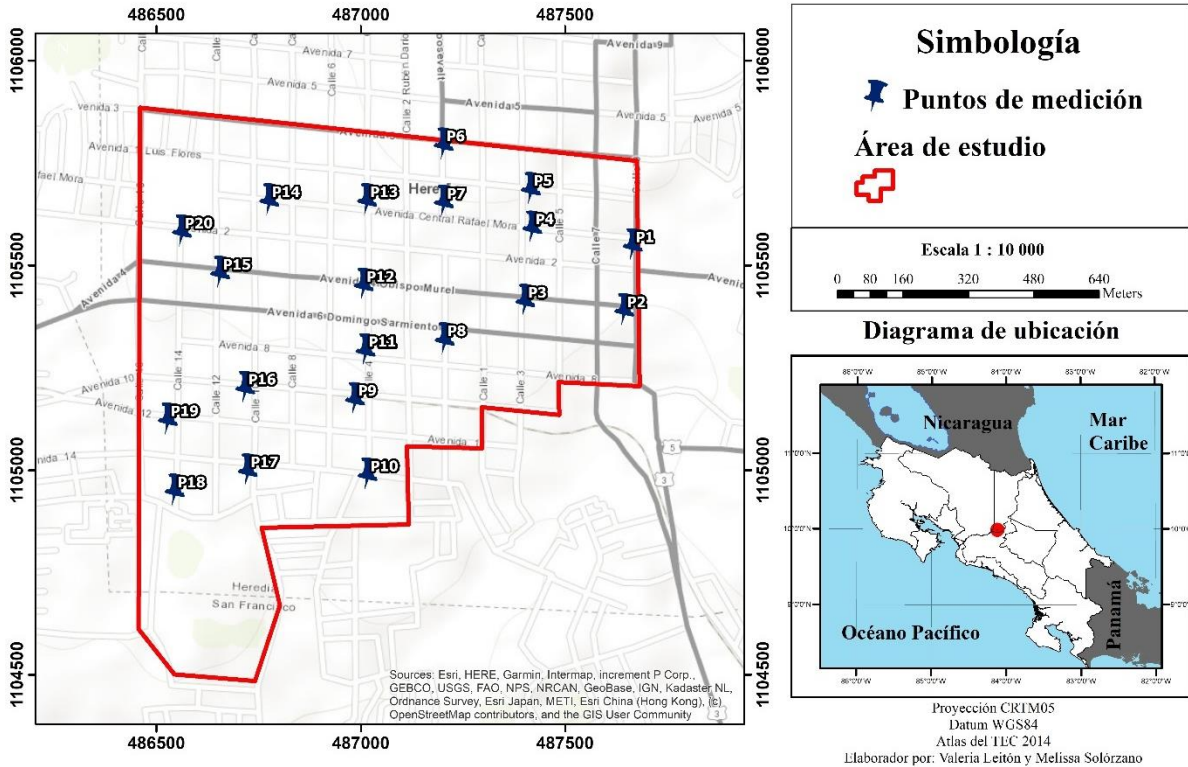
actividades:

Para la selección de los puntos de medición, se utilizó la metodología de rejillas, en donde se empleó una malla reticular de 200 m por 200 m, sobrepuesta al plano del casco central de Heredia, y se determinó como punto de medición el centro de cada cuadrícula (20 puntos en total). A cada punto se le dedicaron dos semanas de medición las 24 horas; por tanto, se realizaron rotaciones de los equipos cada dos semanas durante 4 meses (octubre, noviembre y diciembre del 2021, así como enero del 2022), para un total de 8 rotaciones. Cabe destacar que estos puntos se ubicaron en el poste más cercano y que a la vez permitiera la instalación correcta de los equipos de monitoreo. Los 20 puntos de medición se muestran en la **figura 5**.

Se realizó un recorrido del sitio de estudio, con la finalidad de reconocer y ubicar los puntos con toda exactitud, mediante la georreferenciación y la descripción física, en el momento de efectuar las mediciones y, en un futuro, cuando se requiera, posteriores estudios de ruido y sus actualizaciones. Paralelamente a la ubicación exacta de los puntos, se efectuó el reconocimiento del sitio mediante la observación y registro en una hoja de campo (ver **anexo 1**) sobre las fuentes emisoras, así como su clasificación (lineal, puntual y de área o superficie), tanto en el punto de medición como en sus alrededores.

Figura 5.

Puntos de medición en el área de estudio, casco central de Heredia, Heredia, Costa Rica, 2021-2022



Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificado el punto de medición y las fuentes de emisión, se realizaron las mediciones de campo utilizando cinco estaciones de monitoreo de ruido marca Svantek modelo SV-307, debidamente calibradas, a la vez que cumplen con la exactitud de sonómetro clase 1, según los requisitos de las normas IEC 61260:2002 e IEC 61672-1:2013. Los equipos de monitoreo de ruido se ubicaron entre 4 m y 5 m aproximadamente medidos a partir del suelo terrestre con posición horizontal y el panel en dirección opuesta al equipo; es justo mencionar que para la instalación de los equipos se contó con la colaboración de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) (ver **figura 6**).

Figura 6.

Colocación de los equipos de monitoreo de ruido en los postes de luz, Heredia, Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

Para realizar las mediciones de los niveles de presión sonora, se contemplaron las siguientes acciones, considerando lo indicado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2009): el decreto N°32692 (2005), así como lo indicado por la ISO 1996-2:2007 “Acústica. Descripción, medición y evaluación de ruido ambiental”.

Las mediciones se efectuaron en tiempo seco; es decir, se descartaron los datos captados en presencia de lluvias, lloviznas, truenos o caída de granizo. Además, los pavimentos debían estar secos y la velocidad del viento no debía superar los 3 m/s. Para lo anterior, se realizó la consulta periódica en línea de las condiciones actuales del tiempo indicadas por las estaciones del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) cercanas al área de estudio (Estación Santa Lucía-UNA) y aplicaciones del clima, tales como AccuWeather, Weather Underground y The Weather Channel. Para asegurarse de su precisión y confiabilidad, los datos obtenidos de las aplicaciones climáticas se verificaron y compararon con las condiciones registradas por las estaciones del IMN.

Para determinar qué datos se descartaban en el estudio, se siguió un enfoque sistemático.

En primer lugar, se realizó una visita previa al sitio de estudio, con el propósito de identificar cualquier otra posible fuente de ruido que afectara las mediciones. Durante esta visita, se recopilaron datos sobre las actividades cercanas que podrían generar ruido adicional, no relacionado con el área de interés (ver **anexo 1**). Asimismo, se configuraron las estaciones de monitoreo de ruido para grabar audio en caso de que se registrara un nivel de ruido igual o superior a 120 dB(A). Esto permitió analizar y comparar el ruido ambiental capturado versus los eventos y actividades identificadas previamente durante la visita al sitio. Si se determinaba que el ruido registrado correspondía a una actividad extraordinaria no relacionada con el entorno de estudio, se descartaban esos datos específicos de la muestra.

La configuración de las estaciones de monitoreo de ruido ambiental utilizó tres parámetros: 1) el filtro de ponderación A, y respuesta temporal lenta (*slow*), 2) el filtro de ponderación A, y respuesta temporal rápida (*fast*), y 3) el filtro de ponderación A, y respuesta temporal por impulsos (*impulse*). En cuanto a la duración de las mediciones de ruido, las estaciones operaron durante las 24 horas del día, registrando datos constantemente. Sin embargo, para el propósito del análisis de los niveles de presión sonora continua equivalente, se consideró un intervalo unitario de tiempo específico. Este intervalo correspondió a los primeros 5 minutos de cada hora, y se utilizó un tiempo de integración de 20 segundos. Tal selección del intervalo de tiempo se realizó para facilitar el análisis y comparación de los niveles de ruido en un formato más manejable y representativo de las condiciones de ruido durante cada hora del día.

En relación con los niveles de ruido ocasionados por el paso del tren, se siguieron los lineamientos establecidos en la norma ISO 1996-2:2009, la cual recomienda medir el ruido con el que han transitado al menos 20 trenes. En cuanto a los cálculos del nivel de presión sonora continua equivalente e incertidumbre de la medición, se adoptó el indicador del nivel continuo equivalente (L_{Aeq}) para la medición y evaluación de ruido, tal como se establece en la **ecuación 2**.

Para determinar la incertidumbre de la medición, se siguió lo dispuesto en la norma INTE/ISO/IEC 98-3:2017 “Incertidumbre de medida”. Esta norma establece directrices a través de la Ley de Propagación de la Incertidumbre, en función de los factores que la provocan o contribuyen a esta. De acuerdo con la **ecuación 2**, L_{pi} es el único factor que introduce incertidumbre en la medición, ya que N es un número constante. Por consiguiente, los factores de incertidumbre que se identificaron incluyen:

- la trazabilidad de la estación de monitoreo de ruido,
- la deriva de la estación de monitoreo de ruido,
- la resolución del instrumento, y
- la falta de repetibilidad en el proceso de medición.

La información obtenida de las mediciones se procesó utilizando el software SvanPC++, y adicional se utilizó la hoja de cálculo de ruido ambiental de PROCAME para el registro de los datos y condiciones meteorológicas (ver **anexo 2**), elaborada con el software estadístico Excel. Por último, el análisis del cumplimiento de la legislación nacional se realizó de acuerdo con los límites establecidos en el decreto N° 39428-S: Reglamento para el Control de la Contaminación por Ruido (2015), según los usos de suelo.

Por su parte, se solicitó apoyo a la Municipalidad de Heredia para la recolección de datos secundarios tales como: Plan Regulador, informes de la Unidad de Gestión Vial, entre otros; para el desarrollo de un diagnóstico que permitiera la descripción del área de estudio y la posterior elaboración del mapa. Dentro de la información consultada a la municipalidad, se destaca: conocimiento de los usos del suelo de la zona de estudio, actividades comerciales desarrolladas, densidades poblacionales, densidades de tráfico, densidades de comercio, densidades o aglomeraciones industriales, densidades de edificaciones, altura de las edificaciones, ancho de calles y aceras, así como el material del pavimento, horas del día o de la noche con mayor y menor actividad, en forma similar para los diferentes días, semanas y meses al año en los que se realizan actividades características de la temporada. En aquellos casos en los que no se pudo contar con la totalidad de los datos, se realizó la búsqueda por otros medios, tales como páginas de instituciones del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), u otras que contemplaran dicha información; así como en fuentes de internet.

4.3.2. Fase 2. Elaborar el mapa acústico de la zona para la demostración gráfica de las áreas de mayor concentración de ruido

Lo que se pretendió lograr en la segunda fase fue la evaluación de la condición acústica y representación gráfica de las áreas de mayor concentración de ruido, mediante la elaboración de un mapa acústico según los resultados obtenidos de las mediciones realizadas por los equipos una vez instalados. El valor utilizado para la creación de los mapas correspondió al que se

obtuvo como nivel continuo equivalente en ponderación A ($L_{Aeq,T}$), ya que es el que se compara con los límites máximos permisibles del decreto N°39428-S (2015). Se elaboraron dos mapas: uno para el periodo diurno y otro para el periodo nocturno, utilizando el software de modelación CadnaA bajo la licencia del PROCAME, de la Universidad Nacional.

4.3.3. Fase 3. Diseñar una propuesta para el control de contaminación por ruido

La fase final de este estudio se centró en el análisis y formulación de estrategias viables para controlar la contaminación sonora en el casco central de Heredia. El objetivo consistía en identificar puntos críticos en los cuales se requirieran acciones de mitigación para reducir los niveles de presión sonora. Para alcanzar dicho objetivo, se evaluaron los resultados obtenidos del monitoreo del ruido ambiental, en combinación con la elaboración de un mapa acústico. Este mapa constituyó una herramienta esencial para identificar las áreas que necesitaban acciones específicas para reducir los niveles de ruido y mejorar la calidad acústica en la zona en estudio. Con base en esta evaluación, se llevaron a cabo propuestas de implementación de medidas de mitigación específicas, dirigidas a reducir los niveles de presión sonora en los puntos críticos identificados, con el fin de lograr una disminución efectiva de la contaminación por ruido en el área.

Para determinar la viabilidad técnica y ambiental de las propuestas de control de ruido se siguieron varios pasos. En primer lugar, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica que abarcó tanto artículos científicos de revistas indexadas como tesis, libros y documentos técnicos. El objetivo de esta revisión fue respaldar la viabilidad ambiental de las medidas propuestas, buscando referencias y evidencia de su aplicabilidad en contextos similares a nivel nacional e internacional. Además, se llevaron a cabo reuniones con colaboradores(as) de la Municipalidad de Heredia para discutir y evaluar las medidas propuestas. Durante estos encuentros se buscó obtener retroalimentación valiosa y considerar los puntos de vista de expertos(as) en el tema. El objetivo era sugerir y acordar aquellas medidas que fueran más viables para la municipalidad en términos de implementación y recursos disponibles. Como resultado de este proceso de intercambio de ideas, se seleccionaron propuestas que se ajustaran a la capacidad de la municipalidad para llevarlas a cabo. Esto respaldó la viabilidad técnica de las medidas, al contar con los recursos necesarios para su aplicación y garantizar su implementación efectiva.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Descripción del área de estudio

Desde 1824 se le concedió a Heredia el título de ciudad, y en 1848 la Constitución Política estableció los títulos de provincia, cantón y distrito parroquial. La ley N° 36 del 7 de diciembre de 1848 le concedió a Heredia el título de cantón y le asignó 7 distritos parroquiales (Rothe, 2020). El cantón de Heredia es el número 1 de la provincia número 4 de Costa Rica, formado por 5 distritos administrativos, 4 urbanos: 01 Heredia, 02 Mercedes, 03 San Francisco, 04 Ulloa, y uno rural: 05 Varablanca (Municipalidad de Heredia, 2020). La extensión territorial del cantón Heredia es de 282,60 km², con una precipitación anual de 2000 mm³ y una temperatura promedio de 20 °C. La ciudad de Heredia se encuentra a una altitud de 1150 m.s.n.m. (Rodríguez, 2010).

El proyecto tiene como área de estudio la centralidad urbana del cantón Heredia con una extensión de 1,13 km² con respecto a los 2,83 km² que posee el distrito en su totalidad. Esta extensión fue determinada en conjunto con la municipalidad del cantón, por los proyectos de planificación, ordenamiento y gestión vial en los que se encuentra trabajando actualmente. Las coordenadas geográficas del casco urbano están dadas por 09° 59' 23" latitud norte y 84° 09' 16" longitud oeste (Municipalidad de Heredia, 2020). Los límites del casco urbano se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 3.

Posiciones geográficas del casco urbano de Heredia, Costa Rica

Dirección	Límite
Este	Santo Domingo y San Pablo
Oeste	Belén
Norte	Barva y San Rafael
Noreste	San Rafael y San Pablo
Noroeste	Flores
Sur	San José

Fuente: Municipalidad de Heredia (2020).

5.1.1. Condiciones climáticas

De acuerdo con los datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Universidad Nacional, Santa Lucía (Barva de Heredia) y el aeropuerto internacional Juan Santamaría, la precipitación anual ronda entre los 1 726,8 mm – 2 403,3 mm, y se concentra principalmente en 7 meses: entre mayo y noviembre (en contraste con los 5 meses secos, de diciembre a abril). Mientras que la temperatura promedio anual ronda los 22,4 °C (Barrantes, 2018). Esta información fue vital para definir los meses de medición en época lluviosa y seca, procurando que las mediciones fueran representativas de la zona al medir una fracción significativa del año (4 meses) durante ambas épocas. En las **tablas 4 y 5** se presenta un resumen de las condiciones climáticas según el mes del año:

Tabla 4.*Estación Meteorológica Santa Lucía (Barva, Heredia): Resumen climático*

Mes	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)	Lluvia (mm)	Días con lluvia (mm)
	Max	Min	Med			
ENE	24,3	14,9	19,6	74	16,7	5
FEB	25,2	14,7	20,0	73	26,4	4
MAR	26,3	14,7	20,5	72	42,3	4
ABR	26,8	15,2	21,0	76	112,9	9
MAY	25,9	15,8	20,8	84	319	21
JUN	25,3	15,7	20,5	86	328,8	22
JUL	25,1	15,9	20,5	83	207,5	20
AGO	24,5	15,1	19,8	85	255,4	22
SEP	25,0	15,3	20,1	90	421,4	25
OCT	24,0	14,9	19,5	88	440,1	25
NOV	24,5	15,6	20,0	83	183,6	18
DIC	23,4	14,9	19,2	79	52,2	9

*Fuente: Barrantes (2018).***Tabla 5.***Estación Meteorológica Aeropuerto Juan Santamaría: Resumen climático*

Mes	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)	Lluvia (mm)	Días con lluvia (mm)
	Max	Min	Med			
ENE	28,2	18,6	23,4	63	9,1	2
FEB	29	18,5	23,7	61	13	2
MAR	29,8	18,7	24,2	61	17,7	4
ABR	30,2	19,2	24,7	66	65,4	9
MAY	28,9	19,1	24,0	78	246	20
JUN	28,3	19,0	23,6	82	216,8	21

JUL	28,3	19,1	23,7	78	147,2	19
AGO	28,3	18,7	23,5	80	218,6	21
SEP	27,8	18,3	23,0	85	311,9	25
OCT	27,2	18,4	22,8	86	297,5	25
NOV	27,3	18,4	22,8	79	153,6	17
DIC	27,8	18,5	23,1	69	30	7

Fuente: Barrantes (2018).

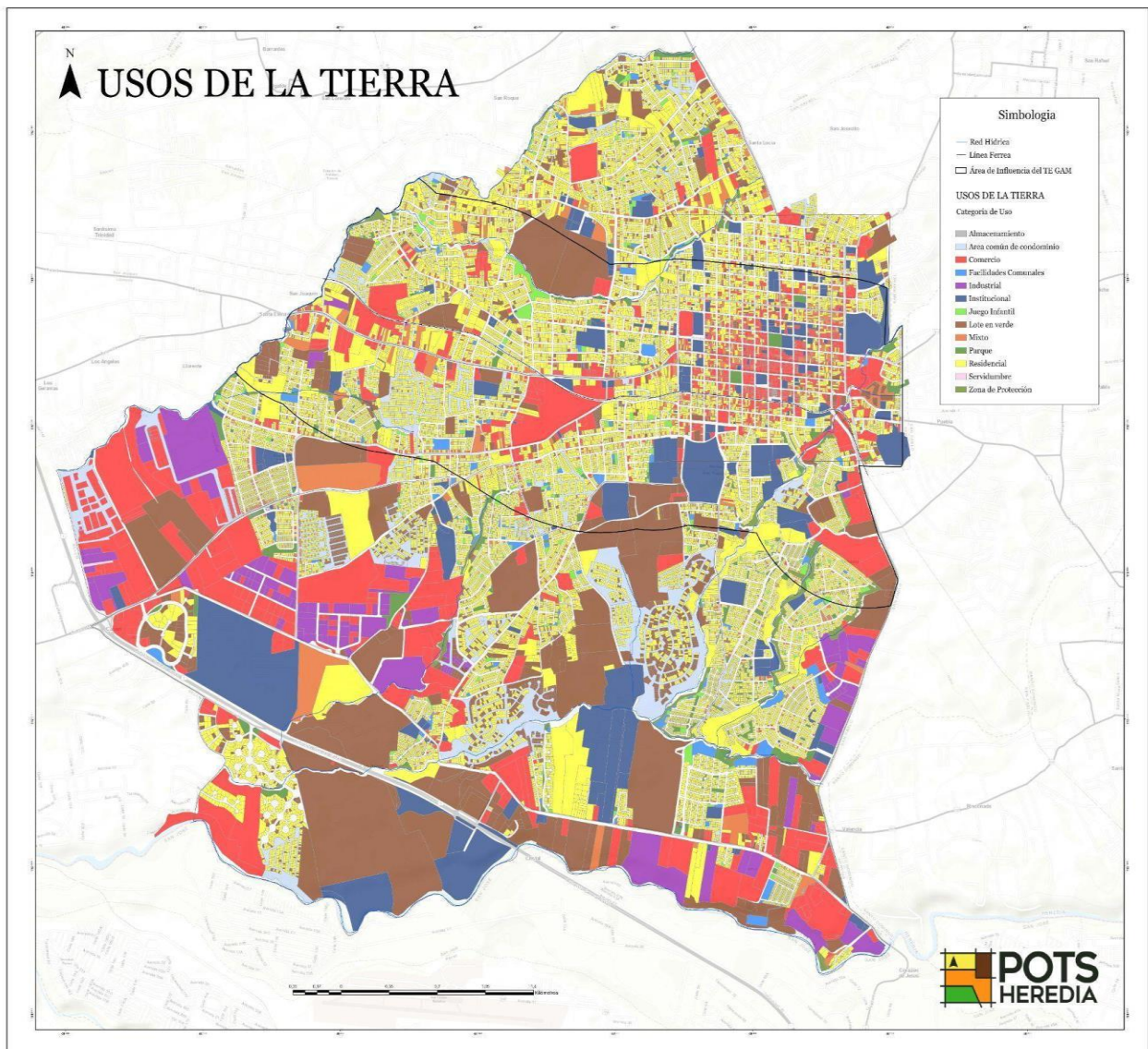
5.1.2. Usos del suelo y actividades desarrolladas

El uso del suelo se define en el artículo 1 de la Ley de Planificación Urbana N° 4240 (1968) como la utilización de un terreno, de la estructura física asentada o incorporada a él, o ambos casos, en cuanto a clase, forma o intensidad de su aprovechamiento. El uso de suelo se indica en los planes reguladores de cada municipio, entendidos bajo la misma ley como un instrumento de planificación local que define en un conjunto de planos, mapas, reglamentos y cualquier otro documento, gráfico o suplemento, la política de desarrollo y los planes para distribución de la población, usos de la tierra, vías de circulación, servicios públicos, facilidades comunales, y construcción, conservación y rehabilitación de áreas urbanas.

El Plan de Ordenamiento Territorial Sostenible del Cantón de Heredia (POTS-Heredia) es el instrumento que utiliza este gobierno local para regular el crecimiento urbano del cantón; dicta las normas, políticas y regulaciones técnicas y jurídicas con la finalidad de mejorar y garantiza el desarrollo espacial y socioeconómico de las comunidades heredianas (Municipalidad de Heredia, 2020). De acuerdo con la zonificación de uso de la tierra del POTS-Heredia, distrito central, el sitio de estudio presenta varios usos del suelo: residencial, comercial, institucional, mixto, entre otros que se especifican en la **figura 7**.

Figura 7.

Mapa uso de la tierra en el cantón de Heredia, Costa Rica



Fuente: Municipalidad de Heredia (2020).

5.1.3. Densidades poblacionales

Según el censo poblacional del año 2011, emitido por el INEC, el distrito central de Heredia albergaba una población total de 18 697 habitantes con una densidad poblacional de 6 606,7 hab/km². Dentro de sus proyecciones para el 2021 se esperaba un total de 19 060 habitantes con una densidad de 6 735,0 hab/km². Lo anterior deja en evidencia el rápido

crecimiento urbano y demográfico y, por ende, de las necesidades habitacionales que lo acompañan, como lo son contar con un ambiente amigable y equilibrado, lo más exento posible de estresores ambientales tales como el ruido. Del mismo modo, el dato de la densidad proporciona una idea del número de individuos expuestos a los niveles de ruido medidos en la zona de estudio: aproximadamente 2 689 personas.

5.1.4. Densidades de comercio

Los datos proporcionados por la Municipalidad de Heredia revelan la concesión de 4 122 patentes y permisos de funcionamiento en el área de estudio, donde se desarrolla gran variedad de actividades comerciales como restaurantes, zapaterías, salones de belleza, gimnasios, farmacias, panaderías, minisúperes, gasolineras, centros de educación, y más. Esto convierte al área de estudio en una zona muy concurrida y de importancia económica para el cantón, ya sea por los clientes de los servicios ofrecidos en el sitio o las personas que se trasladan para trabajar en los comercios o realizar sus estudios en las distintas instituciones.

5.1.5. Densidades de tráfico

En la nomenclatura del MOPT (Aguilar, 2018), el “tránsito promedio diario” (TPD) se refiere a la cantidad promedio de vehículos que circulan por día en un tramo de carretera. Para la investigación en curso, conocer los datos más actualizados del tráfico de la zona de estudio permiten realizar estimaciones e identificar la demanda vehicular, así como implementar medidas correctivas según la información obtenida (Quesada y Xu-Ye, 2017). En investigaciones como las de este tipo resulta fundamental considerar este factor, dado que, al utilizarse como una medida de la demanda vehicular en una determinada zona, podría ser un indicador de que cuanto mayor sea el flujo vehicular, mayor será el nivel de ruido en la zona. Además, es una medida útil para identificar áreas con altos niveles actividad y planificar medidas de control del ruido.

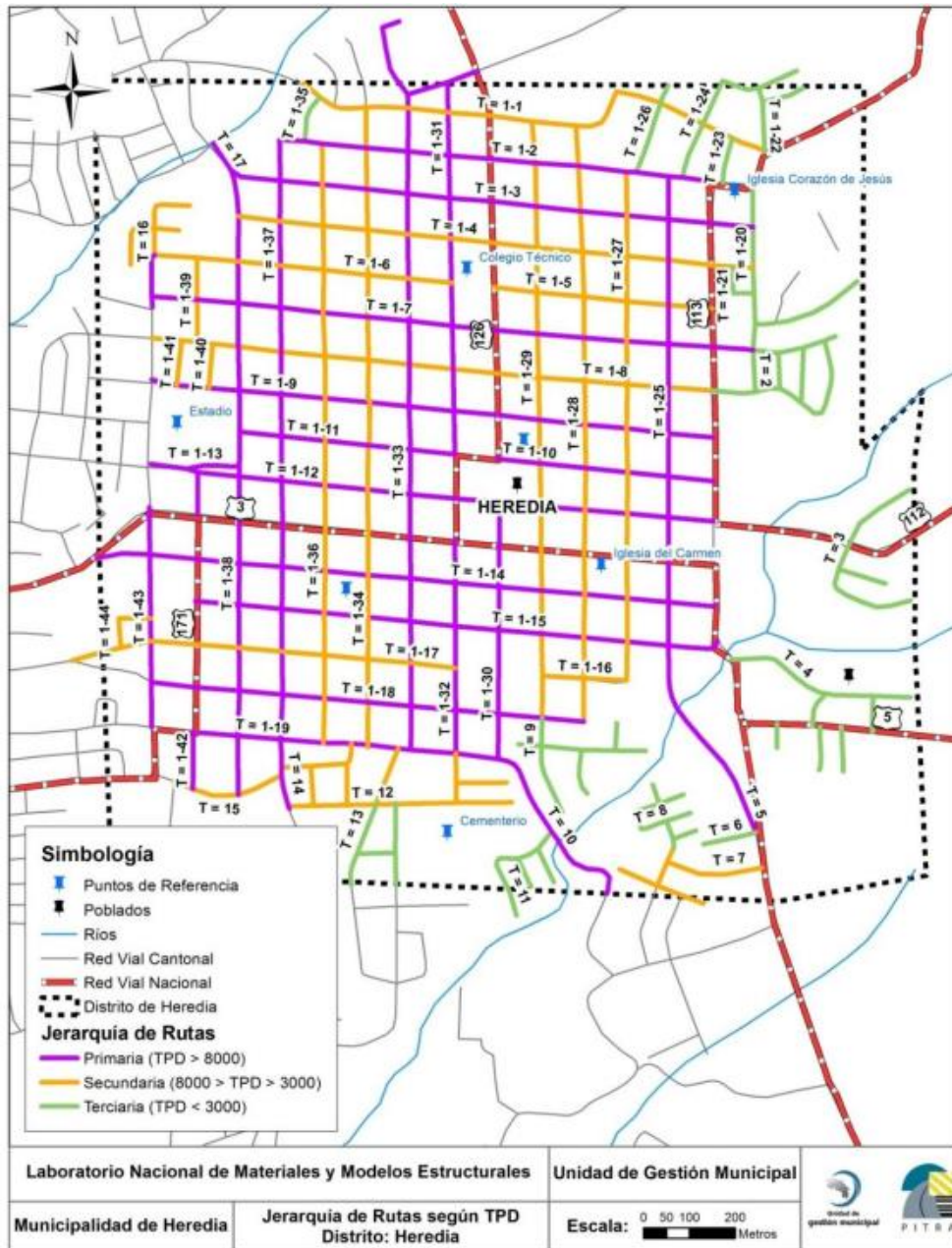
En el año 2017, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) de la Universidad de Costa Rica realizó, en conjunto con la Municipalidad de Heredia, una evaluación de la red vial cantonal (RVC) del distrito central de esta provincia para obtener una base de datos con diferentes características técnicas de la infraestructura vial de la red, que permitiera establecer una estimación del valor del patrimonio vial, así como un

diagnóstico para la definición de objetivos y metas institucionales. Esta evaluación proporcionó información valiosa para la investigación, ya que permitió comparar las áreas de la red vial que en el 2017 presentaban mayores niveles de ruido con las obtenidas por este estudio, y determinar así la priorización de medidas correctivas.

Dentro del estudio del LANAMME se elaboró un mapa con la ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito central de Heredia (ver **figura 8**).

Figura 8.

Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito central de Heredia, Costa Rica



Fuente: Quesada & Xu-Ye (2017).

Asimismo, se realizó la consulta en el *Anuario de información de tránsito*, ediciones 2020 y 2021, publicado por el MOPT, cuyos valores se observan en las **figuras 9 y 10**.

Figura 9.*Tránsito promedio diario de la Estación 8 Heredia, Costa Rica, 2020*

ESTACIÓN 08 HEREDIA							
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO							
1° ENERO - 31 DE DICIEMBRE DE 2020							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Enero	31272	32486	30159	31716	32564	33030	28631
Febrero	31156	32094	32476	32374	34002	35396	30026
Marzo	26858	26030	27443	27474	28729	25345	21779
Abril	20064	19744	19010	18994	17456	10246	7991
Mayo	25372	24850	25039	24300	25288	18124	13764
Junio	26716	26343	26352	26892	28356	17298	13009
Julio	19362	21050	17675	21724	22382	15206	11067
Agosto	22638	23730	23741	24466	25649	21980	17189
Setiembre	24606	25805	26287	25943	27790	23581	18655
Octubre	25861	26710	26026	26549	29051	26716	22213
Noviembre	27823	27178	27895	27549	29529	29182	24662
Diciembre	28514	28988	29150	28168	28429	29398	26460
TPADS	25854	26251	25938	26346	27435	23792	19621
TPDA	25034						

*Fuente: Zúñiga (2021).***Figura 10.***Tránsito promedio diario de la Estación 8 Heredia, Costa Rica, 2021*

ESTACIÓN 08 HEREDIA							
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO							
1° ENERO - 31 DE DICIEMBRE DE 2021							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Enero	27362	27518	27696	28410	26399	24845	21499
Febrero	29051	28881	29551	29513	30767	27505	22891
Marzo	29269	29536	30579	30854	32578	31527	26450
Abril	29547	29679	30301	28077	28583	27376	23424
Mayo	26663	27677	27288	28415	28810	25998	20717
Junio	28387	28694	29063	29114	30119	27647	23057
Julio	27452	28613	21828	29920	31184	27888	23000
Agosto	28875	30141	30153	30026	32438	29482	24290
Setiembre	27893	29194	30957	30612	31457	30053	24807
Octubre	29347	29981	30224	30979	25680	29449	24948
Noviembre	30292	31144	31203	31665	32967	33245	28511
Diciembre	31076	31605	31900	32217	32660	32343	29884
TPADS	28768	29389	29229	29984	30304	28947	24457
TPDA	28725						

Fuente: Zúñiga (2022).

En esta investigación resultó esencial recopilar información acerca de las actividades económicas que se llevan a cabo en la zona de estudio, con el fin de determinar si son fuentes generadoras de ruido o si, por el contrario, están siendo afectadas negativamente por este. Además, según Zamorano *et al.* (2019), el tráfico vehicular es una de las principales fuentes de ruido en áreas urbanas, y su estudio indica que el ruido por tráfico está directamente relacionado con el aumento del número de vehículos en circulación. Alfie y Salinas (2017, p. 68) también señalan que los motores, el rozamiento de los neumáticos con el pavimento, y el uso de altavoces o cláxones para la venta ambulante, contribuyen a la problemática del ruido en las calles. Por lo tanto, es fundamental analizar la demanda vehicular y los cambios en ella a lo largo del tiempo, incluyendo la situación actual de la pandemia, para obtener información valiosa en la discusión de los resultados obtenidos en las mediciones.

5.2. Descripción de las fuentes de ruido

El presente estudio contempló la evaluación de cinco fuentes de emisión de ruido: flujo vehicular, actividades comerciales, actividades culturales y festivas, líneas de tren y otras fuentes (ver **anexo 1**). A continuación, se detalla cada una.

5.2.1. Tránsito vehicular

Esta fuente se presentó en todos los puntos de medición y en los horarios medidos, exceptuando las horas vehiculares restringidas por las disposiciones sanitarias en los diferentes momentos de la medición. En el **anexo 3** se presenta un resumen de las condiciones de restricción vigentes durante el periodo de medición.

Es necesario comprender que esta fuente de ruido representa una fuente **móvil lineal**, debido a que consiste en vías por las que transitan diferentes tipos de vehículos. Además, el tipo de ruido que genera esta fuente es de tipo **continuo**, **intermitente** o **impulsivo** según el tipo de motor y las prácticas de conducción de las personas. Asimismo, puede comportarse como una fuente **móvil detenida** en los sitios donde existen semáforos o un alto peatonal-vehicular; en tales casos, aunque los vehículos se encuentran detenidos temporalmente, se continúa generando ruido por el funcionamiento del motor.

5.2.2. Actividades comerciales

El casco urbano de Heredia se caracteriza por la alta cantidad de comercios, al grado de ser la segunda fuente en importancia que está presente en la mayoría de los puntos (ver **figura 7**). Cabe indicar que, para los establecimientos con permiso sanitario de funcionamiento de atención al público, su horario de atención también dependerá de las restricciones sanitarias del momento (ver **anexo 3**). Los comercios corresponden a una fuente fija y contribuyen al aumento del ruido por el uso de bocinas o parlantes; por tanto, se catalogan como de ruido continuo.

5.2.3. Actividades culturales y festivas

Corresponde a actividades masivas tradicionales del área de estudio, como las celebraciones de fin de año. Sin embargo, debido a la situación del país e internacional (COVID-19), muchas de estas no se llevaron a cabo; por tanto, para el presente trabajo se consideraron solo los eventos de servicios religiosos oficiados por la parroquia Inmaculada Concepción de Heredia; incluyeron toque de campanas por funerales, matrimonios, misas, o algún otro evento extraordinario –todas ellas fuentes puntuales de ruido intermitente—. Para la época navideña, se tuvo en consideración el ruido provocado por pirotecnia o fuegos artificiales, que es una fuente de superficie de ruido de impacto.

5.2.4. Tránsito ferroviario

Las líneas del tren se encuentran en los puntos ubicados a lo largo de la avenida 10, y responden a una fuente móvil lineal con un ruido de baja frecuencia e intermitente, ya que depende del horario. A continuación, se presentan las horas asignadas de pasada del tren en la estación de Heredia según ruta (ver **figura 11**):

Figura 11.

Horario regular de paso de tren en la estación de Heredia según ruta 2021-2022

incofer **HORARIO REGULAR DE LUNES A VIERNES**
RUTA: SAN JOSÉ- HEREDIA- ALAJUELA

Ulatina	UCR	Estación Atlántico	Calle Blancos	Colima	Santa Rosa	Miraflores	Estación Heredia	San Francisco	San Joaquín	Río Segundo	Bulevar Aeropuerto	Alajuela
		04:45	04:50	04:54	04:59	05:07	05:12	05:15	05:20	05:27	05:30	05:35
		05:25	05:30	05:34	05:39	05:47	05:52					
		05:45	05:50	05:54	05:59	06:07	06:12					
		06:36	06:41	06:45	06:50	06:58	07:03					
		06:45	06:50	06:54	06:59	07:07	07:12	07:15	07:20	07:27	07:30	07:35
		06:56	07:01	07:05	07:10	07:18	07:23					
		15:30	15:35	15:39	15:44	15:52	15:57	16:00	16:05	16:12	16:15	16:20
		15:50	15:55	15:59	16:04	16:12	16:17					
		16:40	16:45	16:49	16:54	17:02	17:07					
17:03	17:07	17:17	17:22	17:26	17:31	17:39	17:44					
		17:30	17:35	17:39	17:44	17:52	17:57	18:00	18:05	18:12	18:15	18:20
		17:51	17:56	18:00	18:05	18:13	18:18					

incofer **HORARIO REGULAR DE LUNES A VIERNES**
RUTA: ALAJUELA- HEREDIA- SAN JOSÉ

Alajuela	Bulevar Aeropuerto	Río Segundo	San Joaquín	San Francisco	Estación Heredia	Miraflores	Santa Rosa	Colima	Calle Blancos	Estación Atlántico	UCR	Ulatina
					06:00	06:04	06:12	06:17	06:21	06:26		
05:45	05:50	05:54	06:00	06:05	06:09	06:13	06:21	06:26	06:30	06:35		
					06:20	06:24	06:32	06:37	06:41	06:46		
					07:11	07:15	07:23	07:28	07:32	07:37		
					07:31	07:35	07:43	07:48	07:52	07:57		
07:45	07:45	07:54	08:00	08:05	08:09	08:13	08:21	08:26	08:31	08:35		
					16:25	16:29	16:37	16:42	16:46	16:51	16:55	16:59
16:30	16:35	16:39	16:45	16:50	16:54	16:58	17:06	17:11	17:15	17:20		
					17:15	17:19	17:27	17:32	17:36	17:41		
					17:48	17:52	18:00	18:05	18:09	18:14		
					18:22	18:26	18:34	18:39	18:43	18:48		
18:30	18:35	18:39	18:45	18:50	18:54	18:58	19:06	19:11	19:15	19:20		

Incofer      | incofer.go.cr

Fuente: INCOFER (2021).

5.2.5. Otras fuentes

Con respecto a otras fuentes, se consideraron eventos aislados como la activación de sirenas de ambulancias o patrullas, uso de megáfonos, ladrido de perros, niños jugando, entre otras acciones que pudieran contribuir con el ruido ambiental y son de tipo intermitente o impulsivo. También se consideró dentro de otras fuentes la construcción del nuevo Estadio Rosabal Cordero, debido a que dicha construcción no representa el paisaje acústico normal del área de estudio.

5.3. Medición de ruido

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en la medición de ruido total en los veinte puntos evaluados para el casco central de Heredia, considerando tanto el periodo diurno como el nocturno, y las épocas lluviosa y seca. Para evaluar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la reglamentación nacional según la zona (residencial, comercial, de tranquilidad o mixta), conviene remitirse a la **figura 7**, la cual indica las zonas, y a la **tabla 2**, la cual especifica los límites nacionales. Es de relevancia indicar que los resultados presentados corresponden a la caracterización del ruido ambiental bajo las condiciones presentadas en el momento de medición del casco central de Heredia.

5.3.1. Resultados de ruido: época lluviosa

5.3.1.1. Ruido en periodo diurno

El muestreo de ruido total en periodo diurno abarcó 20 puntos cuya medición fue realizada en las catorce horas que indica el reglamento de manera continua, es decir, de 6:00 a 19:59. Los resultados que se discuten a continuación corresponden al periodo de medición desde el 15 de octubre al 31 de noviembre del 2021, en representación de la época lluviosa, según se indica en el plan de muestreo del **anexo 4**. Se hace la salvedad de que se descartaron las mediciones que no cumplieran con las condiciones meteorológicas de medición, según los datos de aplicaciones del clima y la información proporcionada por las estaciones del IMN.

Bajo el entendido de lo anterior, el punto 01 se localizó en la calle 9-ruta 113, la cual es una carretera nacional secundaria (estas sirven de conectores entre cabeceras cantonales importantes, así como otros centros que generen una cantidad considerable de viajes interregionales o intercantonales, a la luz de la Ley No. 5060, 1972) de tres carriles en un solo sentido (sur-norte), cercana a la Universidad Nacional. Por tanto, tenía influencia del tráfico (tanto pesado como liviano) permanente, así como de la gran variedad de comercios alrededor, alto tránsito de personas que estudian o trabajan en la Universidad Nacional, semáforos, parada de autobuses y taxis; todo lo cual indica que el tráfico se comporta como una fuente móvil lineal y detenida. La **figura 7** permite apreciar que el punto de medición se ubicó alrededor de las categorías de uso del suelo de: institucional, comercial, residencial y mixta. En la **figura 12** se observa que el ruido total obtuvo un promedio del nivel de presión sonora continuo equivalente,

L_{AFeq} , de $(78,4 \pm 4,5)$ dB(A). Según la clasificación por zonas del decreto No. 39428, el punto 01 se ubica en zona mixta, ya que allí convergen actividades de tipo residencial y comercial, pero debe prevalecer la salud pública por encima de los intereses comerciales. El límite nacional para zona mixta en periodo diurno es de 70 dB(A) (ver **tabla 2**); por ende, se verifica incumplimiento en el punto 01.

El punto 02 se ubicó en la avenida 6-ruta 03, la cual es una carretera nacional primaria (estas sirven como corredores, caracterizados por volúmenes de tránsito relativamente altos, incluyendo una proporción de viajes internacionales, interprovinciales o de larga distancia) (Ley No. 5060, 1972), entre calles 7 y 9, y dispone de doble carril en un solo sentido: este-oeste. Contiene fuentes de ruido producido por el tránsito, por efecto del semáforo y por comercios. El punto de medición se ubicó alrededor de las categorías de uso del suelo de: comercial, residencial y mixta (ver **figura 7**); en consecuencia, al punto 02 se le brindó la misma clasificación de zona mixta que al punto 01. En lo que respecta al nivel de presión sonora continuo equivalente, L_{AFeq} , que es el descriptor que se compara contra los límites máximos permisibles, se obtuvo un valor de $(76,3 \pm 5,3)$ dB(A) (ver **figura 12**).

En lo tocante a los puntos 03, 04 y 05, estos se encontraban más cercanos a la centralidad del cantón. El punto 03 se situó en la avenida 6-ruta 03, unos 200 m al oeste del punto 02 aproximadamente, con influencia permanente de tráfico, comercios e instituciones, así como un megáfono que se utiliza en ocasiones especiales frente al costado norte de la Iglesia Nuestra Señora del Carmen. Se suma a este panorama la existencia de un parque cantonal (Parque El Carmen) y terminales de buses de distintas rutas en su alrededor. El punto 04 se instaló en la avenida central Rafael Mora, frente a un comercio de funeraria y en donde existe una parada de autobús, tráfico de doble vía en un solo sentido (este-oeste) y altos vehiculares; es de relevancia destacar que existen centros de estudio alrededor, como el Liceo Nocturno Alfredo González Flores y el Liceo de Heredia. El punto 05 estaba en la avenida 01, alrededor de comercios y del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), con tráfico de una sola vía y un solo sentido (oeste-este). Vale decir que los puntos 03, 04 y 05 se encontraban en zona mixta, con usos de suelo institucional, comercial, residencial, de parque y mixto (ver **figura 7**); y en donde se presentó un 100 % de incumplimiento en el límite nacional al obtener valores de $(75,6 \pm 5,2)$ dB(A), $(72,2 \pm 7,4)$ dB(A) y $(74,4 \pm 6,5)$ dB(A), respectivamente (ver **figura 12**).

Continuando con el punto 06, este estuvo ubicado en la avenida 03, diagonal a la calle

central Frankling D. Roosevelt-ruta 126 (carretera nacional secundaria), cercano a comercios, Cruz Roja, un parqueo público, semáforos y con presencia de tráfico vehicular de un solo sentido (este-oeste). Con una zonificación de zona mixta, al estar rodeado de comercios y residencias, incumple el límite nacional en ruido total con un valor de $(76,5 \pm 5,8)$ dB(A).

Los puntos que mostraron los niveles de ruido más bajo son, en orden de importancia, el 07, 13, 14 y 20. El punto 07 estaba fijado en la calle central-ruta 126, cercano al Parque Central Nicolás Ulloa, frente al El Fortín con una sola vía en dirección norte-sur; registró un valor de ruido de $(67,6 \pm 4,3)$ dB(A). Le sigue el punto 13, ubicado en calle 4 entre avenidas central y 01; de una sola vía en dirección norte-sur, aledaño a comercios y paradas de autobuses, con un valor de ruido de $(68,2 \pm 5,9)$ dB(A). Resultados similares exhibió el punto 14, que al estar colocado en la avenida central, y rodeado de zona comercial, residencial e institucional, cuenta con sitios de interés como lo es un centro de salud privado: la Clínica ASEMBIS de Heredia. Su única vía va en sentido este-oeste, y obtuvo un valor de ruido total de $(69,2 \pm 5,2)$ dB(A). El punto 20, ubicado en la avenida 02, con doble vía en sentido este-oeste, cercano a la Escuela Rafael Moya Murillo y frente al Palacio de los Deportes y a la construcción del nuevo Estadio Eladio Rosabal Cordero, alcanzó un valor promedio de $(69,5 \pm 8,0)$ dB(A). Pese a que dichos valores se encuentran por debajo del límite nacional para zona mixta (70 dB(A)), al considerar el límite superior de la incertidumbre de medición de los puntos anteriores, todos superan el límite permisible; por ende, existe incumplimiento (ver **figura 12**).

El punto 08 estaba asentado en la calle central, con doble vía en dirección norte-sur, rodeado de varios comercios y de la Escuela Braulio Morales Cervantes. Si se observa la **figura 7**, se determina que hay un edificio catalogado como residencial, otro institucional, y los demás edificios son de uso comercial; por lo anterior, se utilizó como parámetro el límite de zona mixta, el cual no se cumple (promedio de $(71,8 \pm 4,8)$ dB(A) como ruido total).

Se habilitaron dos puntos en la avenida 10 en donde se encuentra la línea del ferrocarril; concretamente los puntos 09 y 16. El punto 09 se ubicaba entre calles 6 y 4, inmerso en zonas residenciales y comerciales, mientras que el punto 16 se ubicaba entre las calles 12 y 10: un entorno residencial, comercial y mixto; asimismo, dicha avenida no es exclusiva para el tren, ya que también permite el paso de vehículos livianos y pesados. Se obtuvo un valor promedio en el tiempo de medición de $(70,0 \pm 4,8)$ dB(A) y $(80,8 \pm 12,6)$ dB(A), respectivamente; se extrae de esto que el punto 16 es el que registró el mayor nivel de presión sonora continuo equivalente,

L_{AFeq} , de todo el muestreo, e incumple con el límite nacional de zona mixta.

En relación con los niveles de ruido captados por el paso del tren, los resultados obtenidos indicaron un L_{AFeq} de $(70,2 \pm 7,3)$ dB(A) con un L_{Amax} de $(84,7 \pm 6,2)$ dB(A). De acuerdo con un estudio llevado a cabo por la Administración Federal de Ferrocarriles de los Estados Unidos (Hanson *et al.*, 2015), se ha encontrado que los niveles de ruido generados por los trenes oscilan entre 70 y 120 dB; tal rango de variabilidad se explica por factores como la velocidad del tren, el tipo de vagón, la distancia del observador al tren, el tipo de superficie sobre la cual se desplaza el tren, entre otros (Bunn y Trombetta Zannin, 2016).

El punto 10 correspondió a una posición estratégica de gran interés para la Municipalidad de Heredia, en donde se pretendía conocer los niveles de ruido de la población cercana al Cementerio Central de Heredia. Este punto se instaló en la avenida 14, entre calles 6 y 4, con doble vía y predominio de zona residencial en dicha área (ver **figura 7**); por tanto, se utilizó el límite de zona residencial (ver **tabla 2**). Su nivel de presión sonora continuo equivalente, L_{AFeq} , fue de $(74,5 \pm 4,5)$ dB(A), de modo que incumple el límite nacional de 65 dB(A) (ver **figura 12**).

Los puntos 11 y 12 fueron los más cercanos al Mercado Central de Heredia: el punto 11 se ubicó en calle 4 con una sola vía dirección norte-sur, frente al Mercado Central. En lo que respecta del punto 12, también se encontraba en la calle 4, aproximadamente 200 m al norte del punto 11, y comparte las mismas características. Ambos están rodeados de zona comercial; por ende, se utilizó el límite nacional para zona comercial en periodo diurno (ver **tabla 2**), y como se obtuvo un nivel de ruido de $(71,7 \pm 4,8)$ dB(A) y $(74,9 \pm 4,6)$ dB(A), respectivamente, los dos puntos incumplen el límite legal.

Continuando con el punto 15, se dispuso en la avenida 4-ruta 03 entre calles 12 y 10, con una sola vía en dirección este-oeste. En sus alrededores cuenta con una gasolinera, la universidad UISIL, un Centro de Idiomas, varias residencias y comercios. Arrojó un valor de $(78,1 \pm 6,4)$ dB(A) para ruido total (ver **figura 12**), lo que, una vez más, incumple con el límite de zona mixta.

El punto 17 registró un valor de ruido total de $(76,0 \pm 7,8)$ dB(A). Este se situaba en la calle 10 entre avenidas 16 y 14; a unos 100 m del Hospital San Vicente de Paúl y contiguo a la Escuela José Ramón Hernández Badilla, entre otras instituciones como las oficinas de la ESPH, un semáforo vehicular y carretera de doble vía. El punto 18 también formaba parte de las inmediaciones del hospital, en la calle 16 con carretera de doble vía, y registró un promedio de

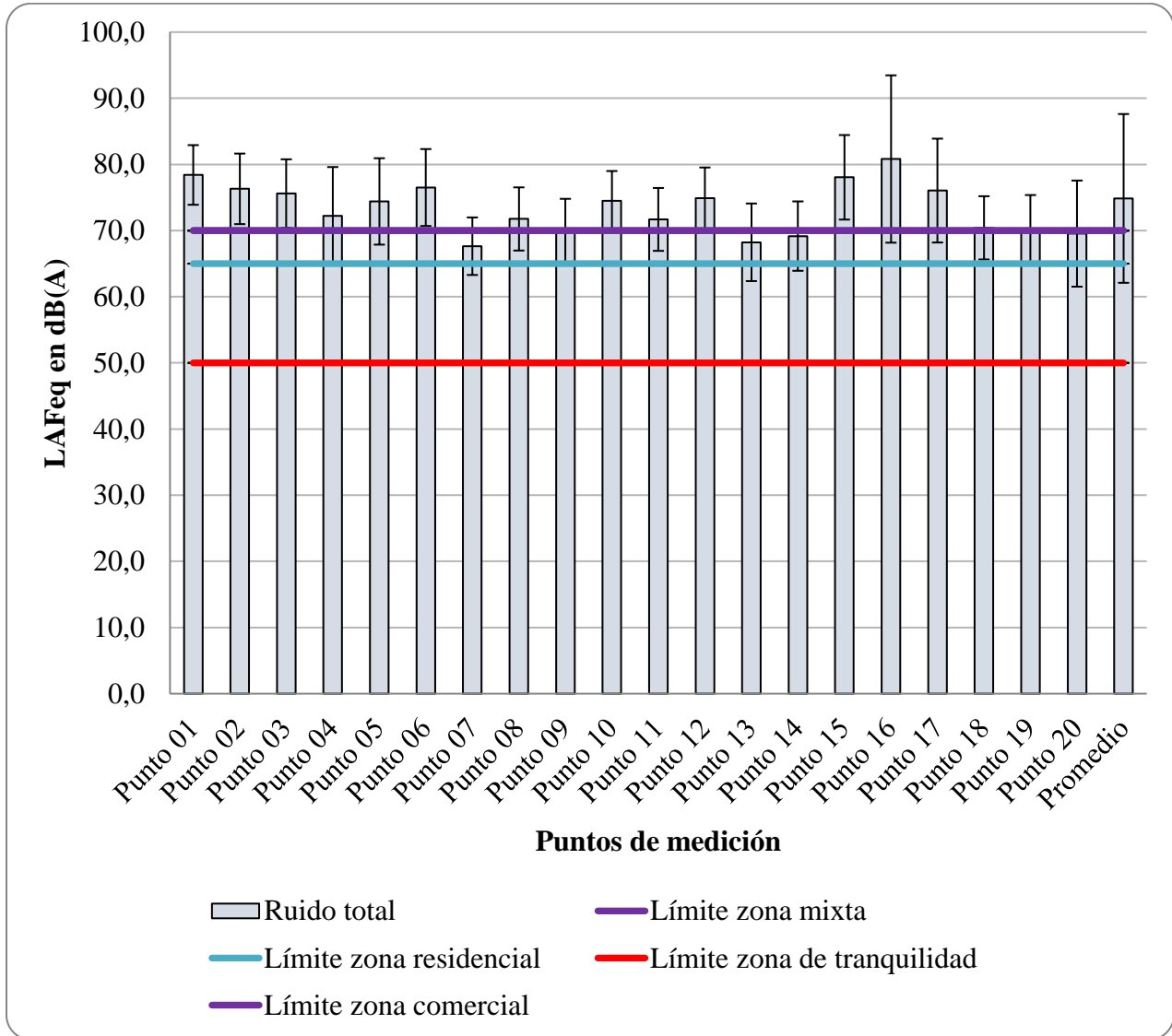
(70,4 ± 4,8) dB(A). Al estar ubicados en las cercanías del hospital, se clasifican como zona de tranquilidad (ver **tabla 2**), con un límite máximo diurno de 50 dB(A) pero, como ha sido la tendencia, no se cumplió dicho límite.

Por último, el punto 19 estaba apostado en la avenida 12, entre calles 16 y 14, rodeado de zona residencial (ver **figura 7**) con carretera de un solo carril en dirección oeste-este. Su medición obtuvo un resultado en el orden de (70,3 ± 5,1) dB(A), lo que sobrepasa el límite diurno para zona residencial (ver **tabla 2**).

En la **figura 12** se observa gráficamente que, respecto al promedio del nivel de presión sonora continuo equivalente para ruido total, el 100 % de los puntos se encuentra por encima de los límites establecidos en la reglamentación según zona analizada, con un promedio de (74,9 ± 12,8) dB(A). Esto indica que, en la totalidad de los puntos medidos, existe contaminación sónica debida al incumplimiento del límite nacional permitido para el periodo diurno en época lluviosa, independientemente de su ubicación. Una particularidad se presenta en los puntos 07, 13 y 14, en donde el ruido estaba justo debajo del límite permitido; no obstante, con la incertidumbre de la medición, sobrepasaba el límite. El punto 16 fue el más alto de todos, lo cual podría estar relacionado con la combinación de ruido del tráfico vehicular y del paso del tren. Finalmente, los puntos 17 y 18, que están ubicados cerca de un hospital, se clasifican como zonas de tranquilidad, con un límite máximo diurno de 50 dB(A) que ambos puntos incumplen. Es una realidad preocupante, dado que se espera que estas áreas proporcionen un entorno tranquilo para la recuperación y el bienestar de los pacientes; estos hallazgos resaltan la importancia de la regulación y el control del ruido en Heredia, especialmente en los emplazamientos más sensibles a la contaminación sonora, como barrios residenciales, hospitales y centros de estudio.

Figura 12.

Nivel de presión sonora continuo equivalente obtenido en periodo diurno para los puntos de medición en época lluviosa de octubre a noviembre 2021 y límite permisible según zona, Heredia, Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.2. Ruido en periodo nocturno

Relacionado al periodo nocturno, este abarcó las 10 horas reguladas en la reglamentación (de 20:00 a 5:59) en todos los puntos y días de medición en época lluviosa para ruido total. Se determinó que, pese a las restricciones sanitarias nocturnas (ver **anexo 3**), existe incumplimiento

en el límite nacional tanto en la zona comercial y mixta como en la residencial y de tranquilidad; por tanto, se determina que hay contaminación por ruido durante el periodo nocturno. Cabe destacar que los límites establecidos por la reglamentación son de 45 dB(A) para la mayoría de los puntos, mientras que los puntos 11 y 12, al ser zona comercial, afrontan un límite superior permitido de 55 dB(A).

Estos hallazgos indican que pueden estar generándose efectos negativos en la salud humana y el bienestar derivados de la exposición a niveles excesivos de ruido, especialmente durante el horario nocturno. Por lo tanto, es importante adoptar medidas para reducir la exposición al ruido del tráfico, especialmente en zonas residenciales y comerciales o, en su defecto, mixtas, en donde la salud humana tiene preeminencia antes que las actividades económicas desarrolladas. Algunas opciones de mitigación incluyen el uso de barreras acústicas y la reducción del tráfico vehicular en áreas residenciales, mediante la promoción del transporte público y activo en vez de automotores particulares (Basner *et al.*, 2014).

En la **figura 13** se observa que el promedio del nivel de presión sonora continuo equivalente está por encima de los límites permisibles ($70,2 \pm 14,1$) dB(A). El muestreo determinó un incumplimiento en el 100 % de los puntos de medición, en donde el valor más bajo lo registró el punto 16: ($60,8 \pm 9,4$) dB(A), mientras que el mayor valor de nivel de presión sonora continuo equivalente se registra en el punto 01: ($76,7 \pm 8,2$) dB(A), seguido del punto 06 con ($74,0 \pm 9,2$) dB(A), el punto 15 con ($73,4 \pm 7,2$) dB(A) y el punto 02 con ($72,0 \pm 8,1$) dB(A) (ver **figura 13**).

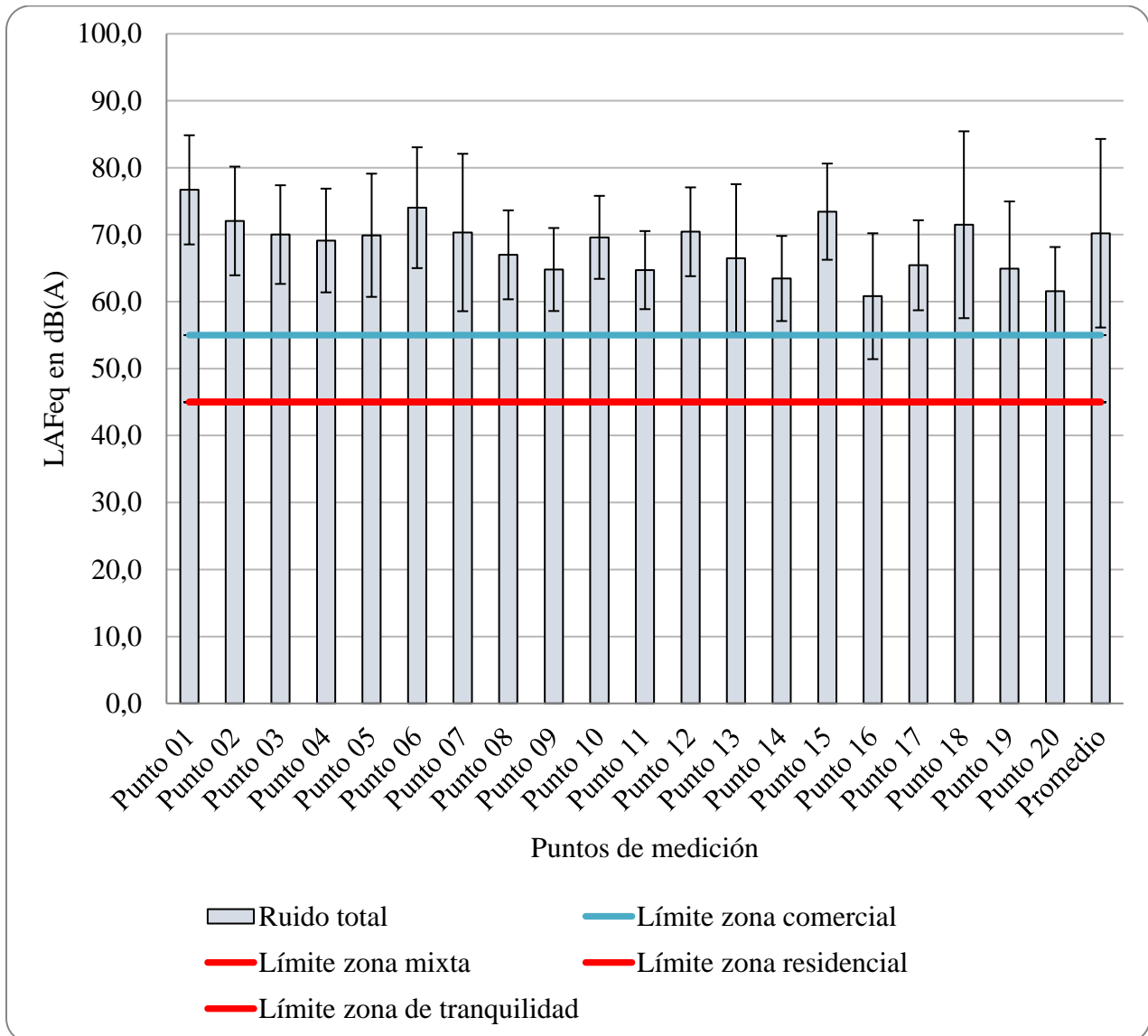
Con respecto a los demás puntos, el 03, 04 y 05 registraron ($70,0 \pm 7,4$) dB(A), ($69,1 \pm 7,7$) dB(A) y ($69,9 \pm 9,2$) dB(A), respectivamente, demostrando un patrón de exceder el límite de ruido. Los puntos 07 a 10 también superaron el límite con mediciones que oscilaron entre ($70,3 \pm 11,8$) dB(A) y ($64,8 \pm 6,2$) dB(A). A pesar de tener un límite superior permitido de 55 dB(A), los puntos 11 y 12 excedieron este límite con ($64,7 \pm 5,8$) dB(A) y ($70,4 \pm 6,6$) dB(A), respectivamente. Los puntos 14 a 20 también rebasaron los límites con mediciones que variaron entre ($73,4 \pm 7,2$) dB(A) y ($61,6 \pm 6,6$) dB(A).

Estos resultados coinciden con estudios previos que han evidenciado los efectos negativos del ruido ambiental en la salud, incluyendo el incremento de estrés, trastornos del sueño, enfermedades cardiovasculares, auditivas y metabólicas. Como tal, es imperativo implementar medidas para reducir la contaminación por ruido en el casco central de Heredia. Los

datos presentados resaltan la necesidad de acciones urgentes y efectivas para controlar y minimizar la contaminación por ruido en la zona.

Figura 13.

Nivel de presión sonora continuo equivalente obtenido en periodo nocturno para los puntos de medición en época lluviosa de octubre a noviembre de 2021 y límite permisible según zona, Heredia, Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Resultados de ruido: época seca

5.3.2.1. Ruido en periodo diurno

De la misma manera, el muestreo de ruido total en periodo diurno para la época seca abarcó los 20 puntos de la **figura 5** cuya medición fue realizada durante las catorce horas continuas que indica el decreto No. 39428; a excepción de aquellas horas o días que no cumplieran con las condiciones climáticas aptas para la medición de ruido. Los resultados presentados a continuación corresponden al periodo de medición desde el 01 de diciembre del 2021 al 20 de enero del 2022 (ver **anexo 4**), en representación de la época seca. Aquí es pertinente advertir que la medición de ruido ambiental debe incluir los feriados, días festivos o domingos (Protocolo de Ruido Ambiental de Colombia, 2006); es así como, para la época seca, se cuenta con la medición de dos fechas festivas: Navidad (25 diciembre) y Año Nuevo (1° de enero).

En comparación con los resultados obtenidos en época lluviosa, para la época seca el punto con mayores niveles de ruido total registrado es el # 01, cercano a la Universidad Nacional y en carretera nacional, con un L_{AEeq} de $(78,5 \pm 2,5)$ dB(A). Sin embargo, el punto 17 también presentó niveles altos de ruido con un L_{Afeq} de $(72,6 \pm 4,7)$ dB(A). En contraparte, el punto con menores niveles de ruido corresponde al # 09: con sus $(64,7 \pm 4,2)$ dB(A) es el único punto que cumple con el límite máximo permisible para zona mixta.

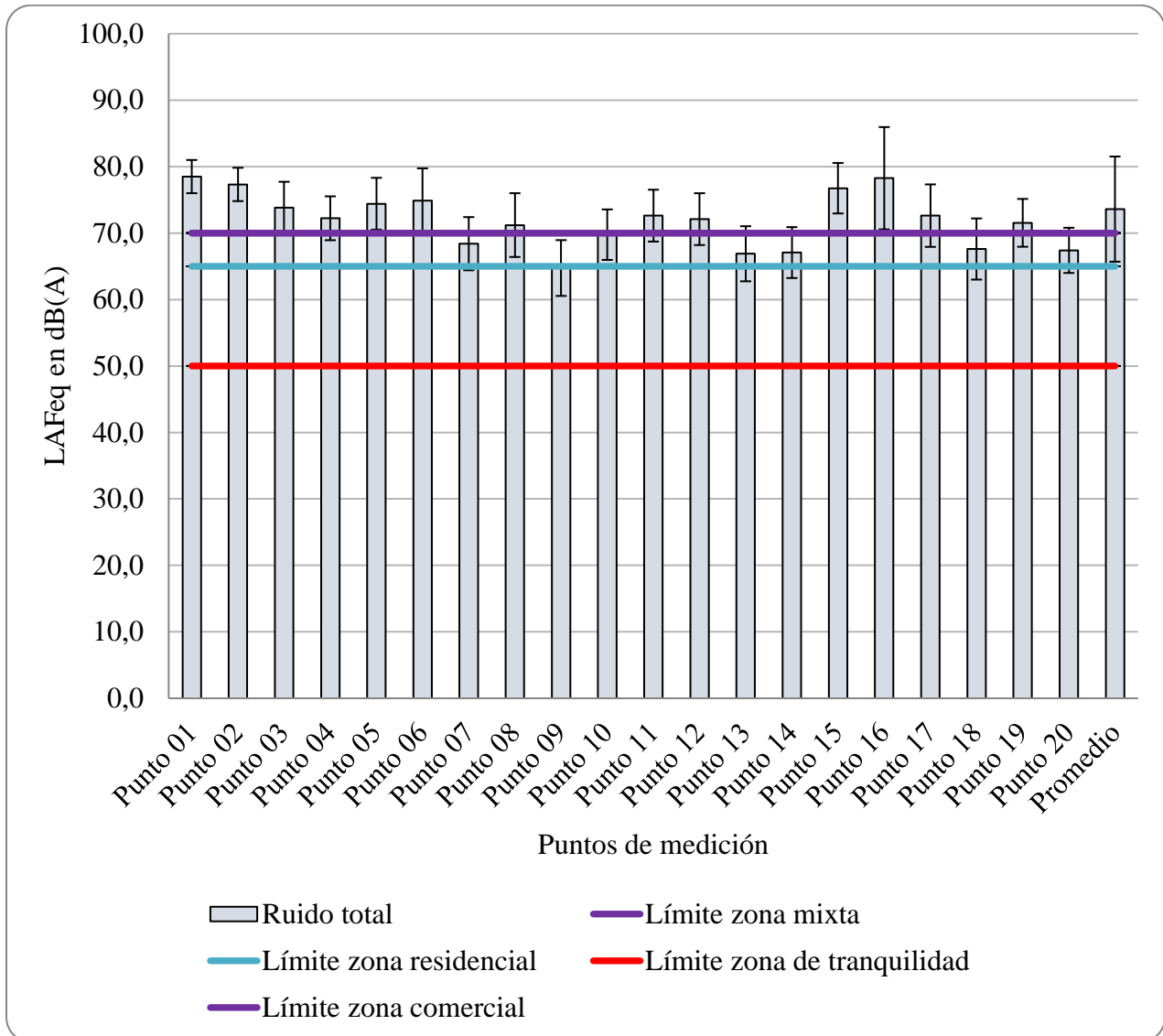
Si bien se encontraron tres puntos más en los que el L_{Afeq} respetaba el límite de zona mixta, al tomar el valor del límite superior de la incertidumbre estos puntos llegaban a sobrepasar el límite. Se trata del punto 13, con un valor de $(66,9 \pm 4,1)$ dB(A); el punto 14 con $(67,1 \pm 3,8)$ dB(A), y el punto 07 con $(68,4 \pm 4,0)$ dB(A).

Cabe destacar que el punto 09, al igual que el punto 16, se localiza en la avenida 10, que es donde se encuentra la línea del tren; sin embargo, el punto 16 presentó niveles de $(78,3 \pm 7,7)$ dB(A), significativamente mayores a los del punto 09.

Por todo lo expuesto, el 95 % de los puntos incumple con el límite nacional según zona receptora, indicando que sí existe contaminación por ruido no tratado originado en las fuentes presentes en el área de estudio.

Figura 14.

Nivel de presión sonora continuo equivalente obtenido en periodo diurno para los puntos de medición en época seca de diciembre 2021 a enero 2022 y límite permisible según zona, Heredia, Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

5.3.2.2. Ruido en periodo nocturno

El periodo nocturno abarcó las 10 horas establecidas en la reglamentación nacional en el mismo periodo de medición de la época seca, y se descartaron únicamente las horas de medición que no cumplieran con las condiciones climáticas. La **figura 15** muestra gráficamente los

resultados obtenidos.

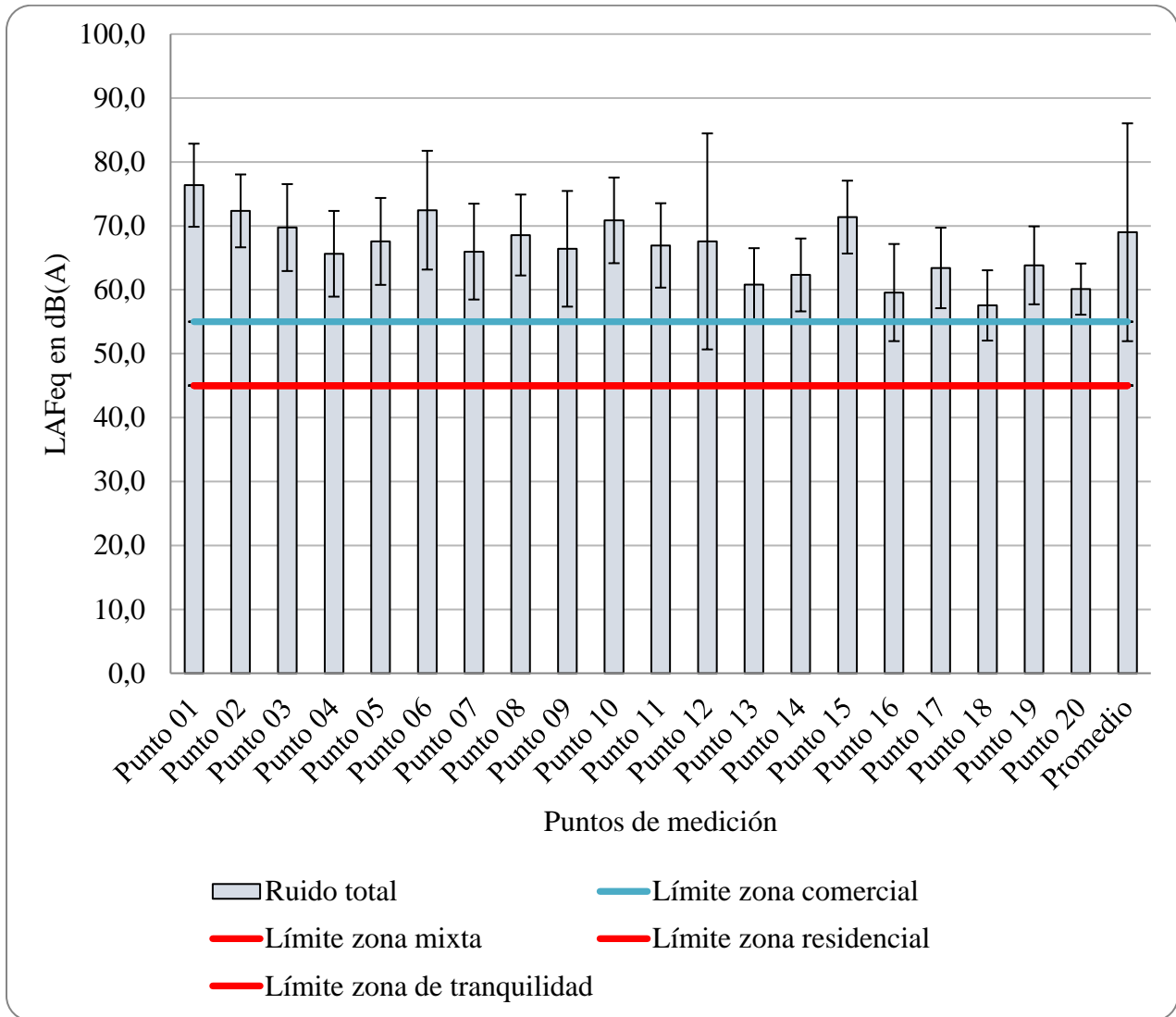
Con respecto al ruido total, se muestra que existe incumplimiento en todos los puntos en periodo nocturno; desde el que registró el menor L_{Afeq} de ruido total, que es el punto 18 con $(57,7 \pm 5,5)$ dB(A), hasta el punto 01 con $(76,4 \pm 6,5)$ dB(A): el mayor L_{Afeq} de todos los puntos de medición en periodo nocturno para época seca. El promedio de nivel de presión sonora equivalió a $(69,0 \pm 17,0)$ dB(A). El punto 02 y el punto 06 también excedieron notablemente el límite establecido, con mediciones de $(72,3 \pm 5,7)$ dB(A) y $(72,4 \pm 9,3)$ dB(A) respectivamente. Por otro lado, también merece atención el nivel de ruido del punto 15, pues alcanza $(71,4 \pm 5,7)$ dB(A).

Los puntos que presentaron los menores niveles de ruido fueron el 16 y el 18; sin embargo, aún superaban el límite permitido, con mediciones de $(59,6 \pm 7,6)$ dB(A) y $(57,5 \pm 5,5)$ dB(A) respectivamente. Los puntos 13 y 20 también se encontraron por debajo del promedio total con mediciones de $(60,8 \pm 5,7)$ dB(A) y $(60,1 \pm 4,0)$ dB(A).

A pesar de que en zona comercial el límite permitido es de 55 dB(A), los puntos 11 y 12 se comportan por encima de este umbral, registrando $(66,9 \pm 6,6)$ dB(A) y $(67,6 \pm 16,9)$ dB(A) respectivamente. Estos resultados enfatizan la necesidad de implementar medidas efectivas para mitigar la contaminación por ruido en estas áreas, especialmente durante las horas nocturnas.

Figura 15.

Nivel de presión sonora continuo equivalente obtenido en periodo nocturno para los puntos de medición en época seca de diciembre 2021 a enero 2022 y límite permisible según zona, Heredia, Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. Comparativa entre horarios

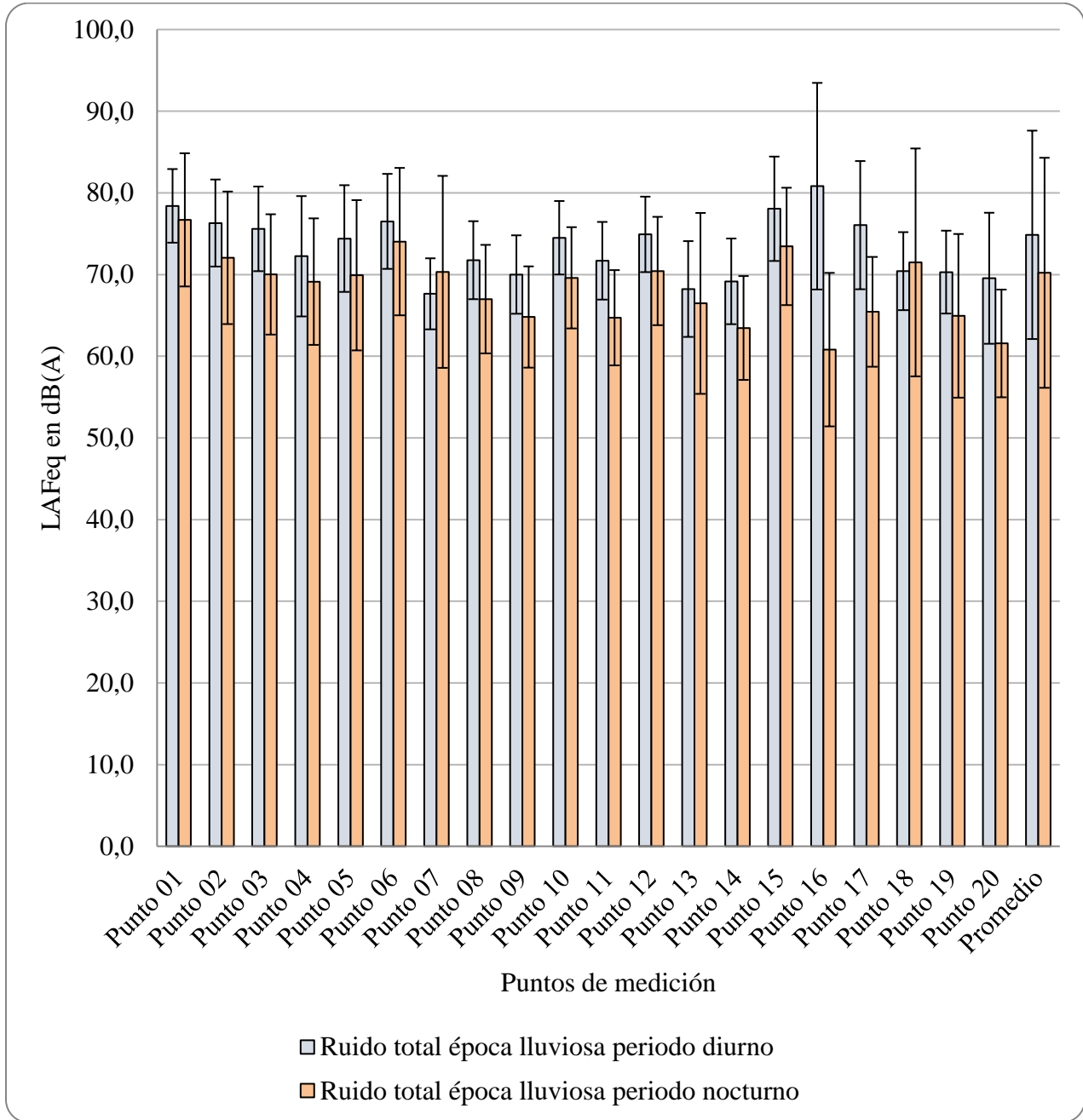
Al comparar las **figuras 16 y 17**, se observa que los niveles de ruido durante el día y la noche son consistentemente más altos en la época lluviosa que en la época seca. En el periodo diurno, el promedio de ruido es de $(74,9 \pm 12,8)$ dB(A) en época lluviosa y $(73,6 \pm 7,9)$ dB(A) en

época seca: una disminución del 1,7 %. En el periodo nocturno, los valores son $(70,2 \pm 14,1)$ dB(A) y $(69,0 \pm 17,0)$ dB(A) respectivamente, que también significa una disminución del 1,7 %. En ambos casos, los niveles de ruido superan ampliamente los límites permitidos, con una diferencia promedio de 4,6 dB(A), tanto en las horas del día como de la noche para época lluviosa (ver **figura 16**) y época seca (ver **figura 17**).

Dignos de resaltar son los resultados obtenidos en época lluviosa en los puntos 16 y 17, donde se obtuvo una diferencia de 20,0 dB(A) y 10,6 dB(A), respectivamente, en los resultados del periodo diurno con relación al periodo nocturno; asimismo, en los puntos 07 y 18 el ruido total durante la noche superó por 2,7 dB(A) y 1,1 dB(A) al ruido total diurno, respectivamente (ver **figura 16**). Por su parte, los resultados de ruido total en época seca presentaron su máxima diferencia en los puntos 16 y 18, con valores de 18,7 dB(A) y 10,1 dB(A) respectivamente, en el periodo diurno con respecto al nocturno. Además, los puntos 09 y 10 superan el ruido total nocturno por 1,7 dB(A) y 1,1 dB(A) más que en periodo diurno (ver **figura 17**). Estos resultados subrayan el protagonismo de los factores estacionales al evaluar y gestionar la contaminación por ruido, ya que tanto el tiempo atmosférico como las actividades humanas varían notablemente según la estación del año, lo que puede afectar los niveles de ruido.

Figura 16.

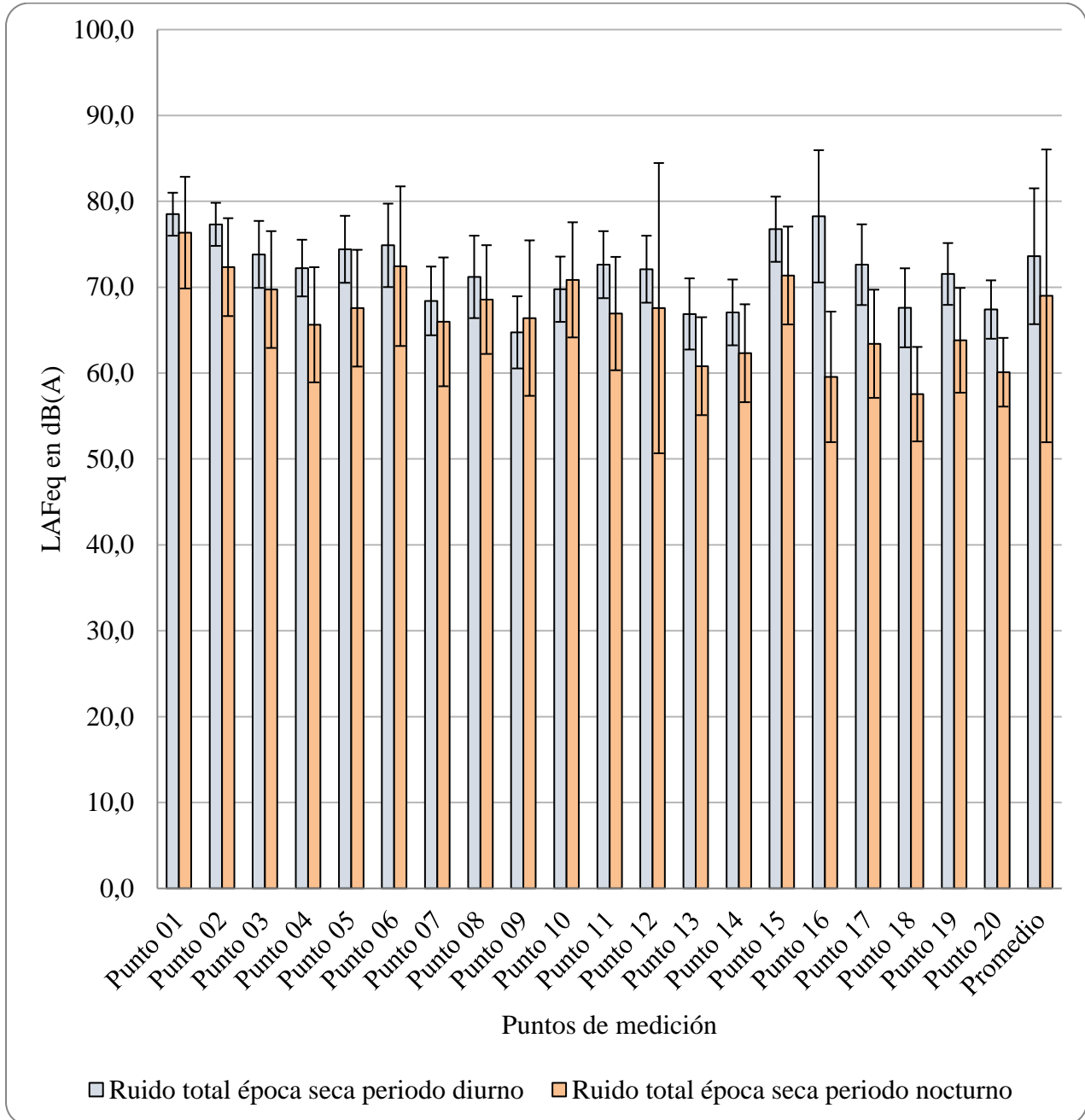
Nivel de presión sonora continuo equivalente del ruido total en época lluviosa de octubre a noviembre 2021 según el periodo de medición, Heredia, Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17.

Nivel de presión sonora continuo equivalente del ruido total en época seca de diciembre 2021 a enero 2022 según el periodo de medición, Heredia, Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

En relación con los resultados anteriores, todos los puntos se encontraban adyacentes a carreteras, por lo que fue inevitable la influencia del tránsito vehicular, liviano y pesado, así

como otro tipo de transporte –las motocicletas o bicimotos y el tren–. Dicho tráfico genera una exposición permanente al ruido antropogénico en la zona de estudio.

Más aún, se observa que no existió una disminución de ruido significativa en periodo nocturno en época lluviosa en relación a la época seca, pese a que las restricciones vehiculares sanitarias nocturnas iniciaban desde las 10:00 p.m.; junto con restricciones diurnas y durante los fines de semana en el mes de octubre de 2021. Solo luego de esto se inició una apertura responsable y gradual a partir de noviembre 2021, la cual incluía cambios en la restricción nocturna (que permaneció aplicada a todo el país iniciando a las 11:00 p.m.), eliminación de restricción diurna los fines de semana y aplicación de la restricción diurna únicamente en el centro de San José hasta el anillo de circunvalación inclusive (ver **anexo 3**).

Durante la época seca, las restricciones vehiculares eran menos estrictas, sumado a que no había restricciones en los días festivos y las restricciones nocturnas comenzaban a la medianoche (ver **anexo 3**). Además, a pesar de la presencia de ruidos adicionales, como los fuegos artificiales en horario nocturno durante los festejos de fin y principio de año, se registraron niveles de ruido inferiores en comparación con los periodos cuando las restricciones eran más estrictas.

Como ya se ha señalado, el nivel de ruido en una ciudad o un país sufre modificaciones por varios factores, incluyendo el momento del año en que se efectúe la medición. De acuerdo con Munir *et al.* (2021), se han encontrado variaciones en los niveles de ruido conectadas a cambios en la densidad del aire, humedad, temperatura, velocidad del viento y vegetación. La influencia de la humedad, la temperatura y la velocidad del viento en el nivel de ruido es significativa, ya que la velocidad del sonido se incrementa a medida que aumenta la temperatura. Además, la humedad relativa también tiene un impacto en la reducción del sonido, y esta proporción tiende a ser más elevada en ambientes cálidos; por otro lado, la circulación del sonido en espacios largos se ve alterada por la alta velocidad del viento.

Durante la investigación se constató que los niveles de ruido en una zona urbana varían según la actividad y la temporada o época del año. En general, los sonidos de alta frecuencia disminuyen más rápidamente con la distancia que los sonidos de baja frecuencia; y otros estudios han observado que el nivel de ruido más alto se ha producido durante la temporada seca (popularmente conocida como “verano”), debido a que es cuando la mayoría de los turistas llegan y hay un aumento en la circulación de vehículos (Pallavi, 2019). Pese a lo anterior, los

resultados de este estudio mostraron que los niveles de ruido eran más altos durante la época lluviosa, con todo y que presentó restricciones vehiculares más estrictas. Cabe mencionar que Heredia no es un centro turístico, por lo que no se esperaba un aumento del tráfico en época seca por llegadas de turistas sino el comportamiento contrario: el traslado de los habitantes de Heredia hacia las zonas costeras del país, por ejemplo. Además, la baja en los niveles de ruido durante la época seca puede estar influenciada por la disminución del número de vehículos y densidad de personas debido a las vacaciones de los estudiantes y del personal académico o administrativo de la Universidad Nacional, así como de otros centros educativos y de trabajo.

Por su parte, Sirin (2016) reconoce como factores que afectan al ruido neumático-pavimento: el tipo de vehículo, la velocidad, la temperatura y el envejecimiento de la superficie de rodamiento. La relación que se ha identificado es que los niveles de ruido aumentan con la velocidad y el envejecimiento del pavimento, mientras que disminuyen con el aumento de la temperatura. Aunque la contaminación por ruido y sus efectos en la salud han sido objeto de numerosos estudios, muy pocos han hecho énfasis en las tendencias temporales y las variaciones estacionales de la contaminación por ruido, por lo que se requiere desarrollar más investigaciones para abordar con mejores y más recientes evidencias los resultados obtenidos hasta ahora (Nazneen *et al.* 2020).

5.3.4. Niveles de ruido en el casco central de Heredia, Costa Rica

Se pretendió medir el ruido ambiental en el lapso representativo de un año, para caracterizar los niveles de ruido a los que está expuesto el sitio de estudio. Por lo tanto, se determinó que la medición se llevaría a cabo durante 2 meses en cada una de las únicas dos estaciones climáticas del país: la estación seca y la estación lluviosa. Si bien se analizaron previamente los resultados de una de las estaciones por separado, la caracterización de ruido se basa en el nivel continuo equivalente en cada uno de los puntos de medición en el total del plazo fijado (es decir, los 4 meses). Otra manifestación de esto es que el mapa acústico se construye con los niveles obtenidos en el total del tiempo de medición, no con resultados parciales.

Ahora bien, la **figura 18** contiene los niveles de presión sonora para ruido total representativo del casco central de Heredia en periodo diurno. A su vez, la **figura 19** grafica los niveles de presión sonora para ruido total del casco central de Heredia en periodo nocturno.

Durante la jornada diurna, el promedio de ruido ambiental fue de $(74,3 \pm 13,0)$ dB(A). En

los puntos de medición 01 y 16 se alcanzaron los niveles de ruido más altos, con valores de $(78,5 \pm 4,5)$ dB(A) y $(79,7 \pm 12,9)$ dB(A), respectivamente. En contraste, el nivel mínimo de ruido total fue $(67,6 \pm 6,0)$ dB(A) en el punto 13, pero los puntos 07, 09, 14 y 20 también se situaron en el rango de los $(68,0 \pm 4,4)$ dB(A) y $(68,6 \pm 6,0)$ dB(A). En resumen, todos los puntos superaron el límite máximo permisible de la reglamentación nacional para las zonas mixta, comercial, residencial y de tranquilidad.

Concerniente al periodo nocturno, se observó una disminución general en los niveles de ruido, pero con una variabilidad más marcada y un promedio de $(69,6 \pm 19,8)$ dB(A). El nivel de ruido más bajo se produjo en el punto 16, con un valor de $(60,2 \pm 9,5)$ dB(A), seguido del punto 14 con $(62,9 \pm 6,5)$ dB(A). Pese a la disminución en general, algunos puntos –como el # 01, # 06 y # 15– mostraron niveles de ruido superiores a los 70,0 dB(A), siendo el punto 01 el que presentó el nivel máximo de ruido con un valor de $(76,5 \pm 8,2)$ dB(A). De igual manera, todos los puntos superan el límite máximo permitido por la reglamentación vigente.

En las **figuras 18 y 19** se evidencia que la contaminación por ruido total excede tanto los límites nacionales como los recomendados por la OMS, aún más restrictivos que los límites del país (ver **tabla 1**), y esto sin importar si es de día o de noche. Sí resulta llamativo que la OMS elaboró esos límites en 1999 y no han sido ajustados al aumento de la población urbana. En el distrito de Heredia, por ejemplo, según las proyecciones del INEC (2017), la población habría pasado de 18 697 habitantes en 2011 a 19 060 habitantes en 2021. Por lo tanto, los límites establecidos no reflejan la realidad actual y se superan constantemente, debido a la mayor necesidad de transporte y la expansión urbana.

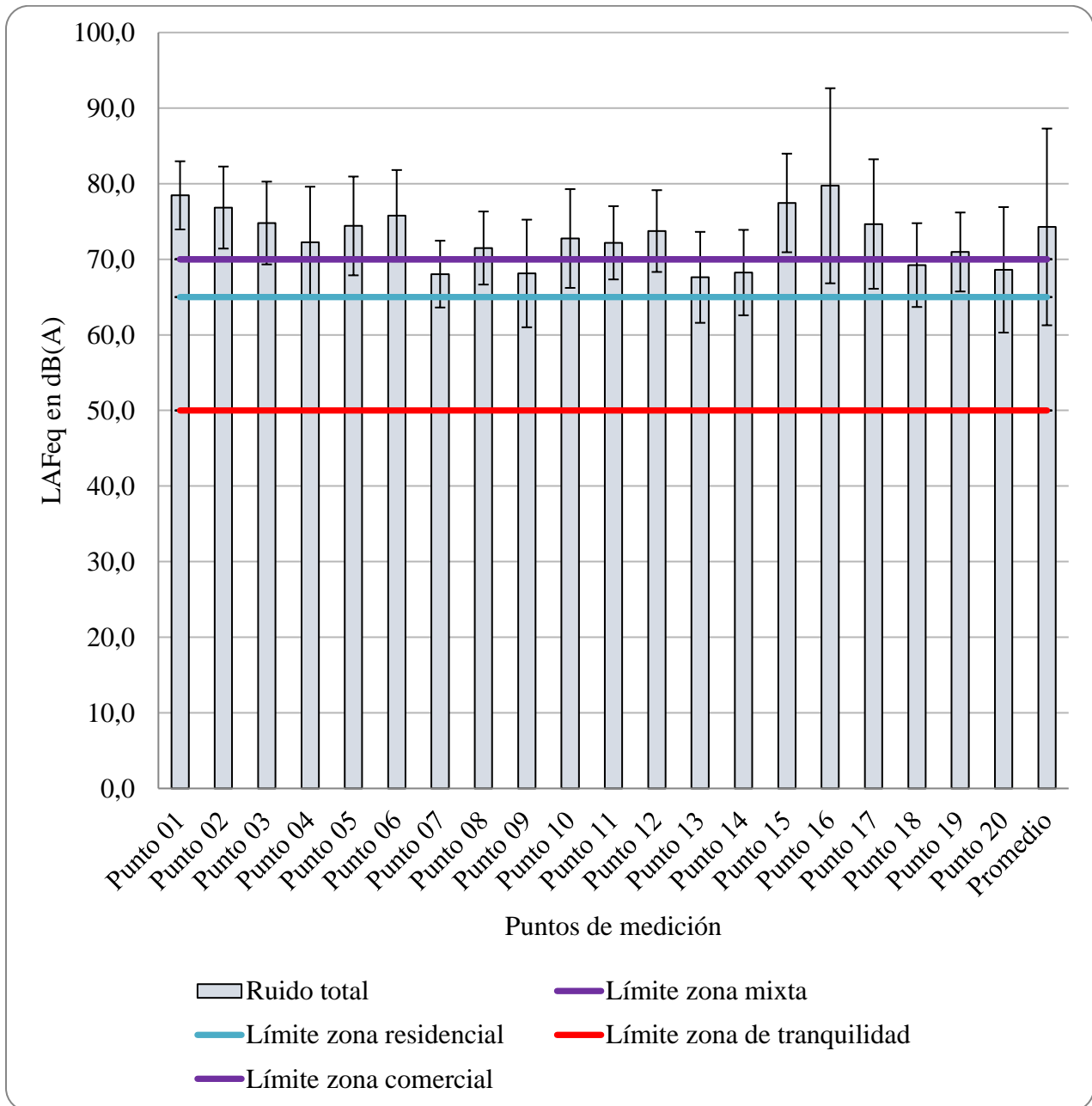
Esa misma situación se presenta con los límites nacionales: se establecieron sin tener en cuenta la realidad nacional en cuanto a los niveles de contaminación por ruido alcanzados a nivel país. Aunque estos límites se fijaron para proteger la salud humana mediante un límite de exposición diario que garantice la seguridad de la población, no son congruentes con las condiciones que se dan en la práctica.

La lógica por la que los límites nocturnos son más restrictivos que los del horario diurno es que la noche corresponde al tiempo de descanso de las personas. Domínguez (2015) analiza que, si el sueño es una función tan vital, la interferencia del ruido en la noche es probablemente la más perjudicial, al entorpecer o coartar el descanso. Recalca que cualquier actividad ruidosa puede interrumpir el sueño, desde los cláxones de los camiones hasta los vecinos ruidosos o las

fiestas cercanas, y agrega que la perturbación del sueño puede tener un impacto negativo en la calidad de vida de las personas y en la salud física y mental.

Figura 18.

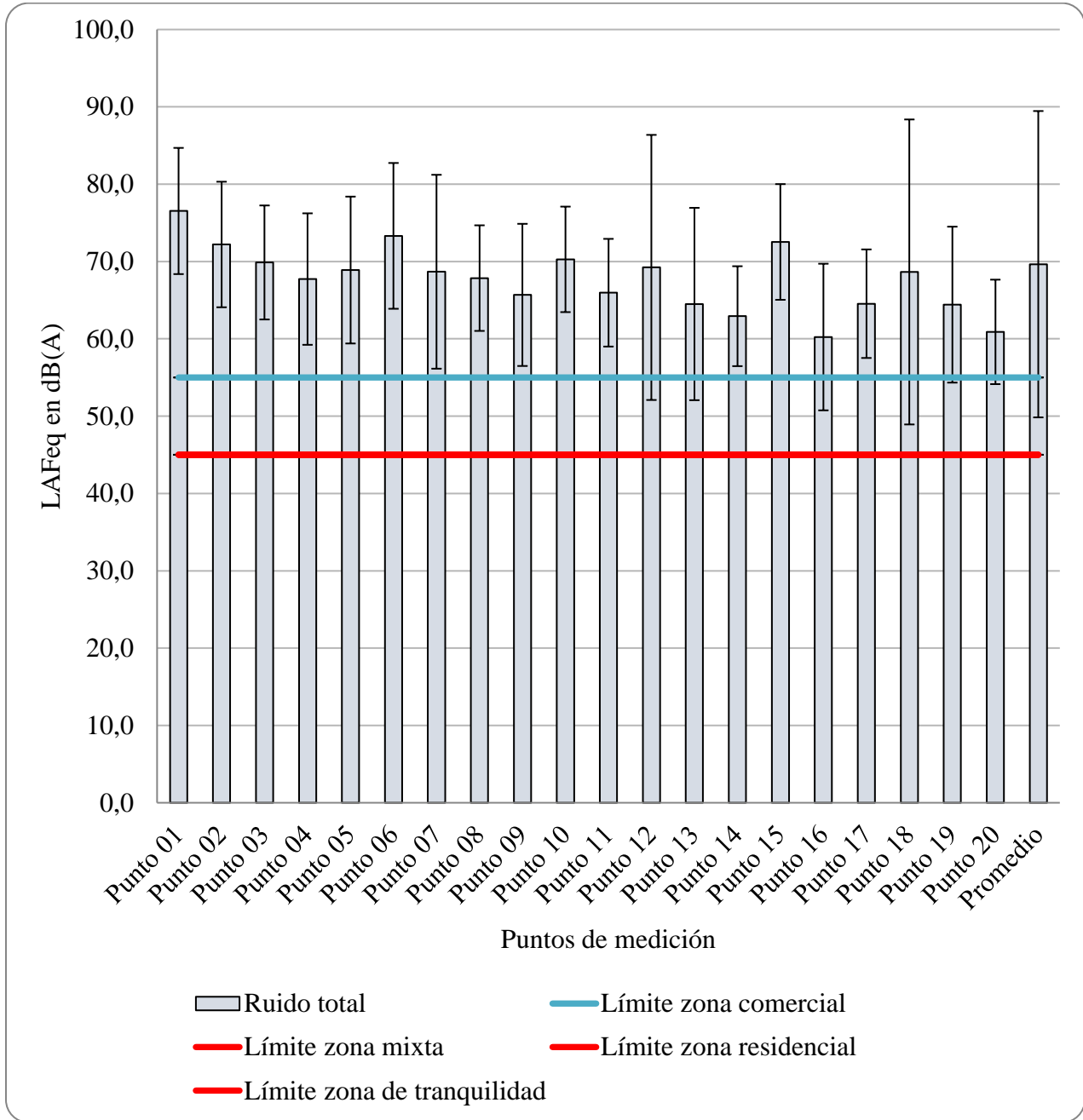
Caracterización del nivel de ruido ambiental en el casco central de Heredia, Costa Rica y límite permisible en periodo diurno



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19.

Caracterización del nivel de ruido ambiental en el casco central de Heredia, Costa Rica y límite permisible en periodo nocturno



Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis de los resultados obtenidos en este estudio, se han identificado posibles riesgos para la salud de quienes residen o trabajan en el casco central de Heredia. Estos resultados coinciden con investigaciones previas, tanto nacionales como internacionales, que indican que los altos niveles de ruido y la exposición prolongada a este pueden ocasionar efectos negativos en la salud de las personas, tales como trastornos del sueño, problemas cardiovasculares, estrés, aumento de la presión arterial, ansiedad, disminución de la productividad laboral y del aprendizaje, entre otros (Basner *et al.*, 2014; Münzel *et al.*, 2018).

La combinación de los altos niveles de ruido y la creciente expectativa de los habitantes de las ciudades de vivir en un ambiente agradable, respetuoso y en armonía con el ecosistema, han convertido rápidamente al ruido en una preocupación de primer orden que requiere de su caracterización y mitigación (Can *et al.*, 2020), y justifica la importancia de realizar estudios en esta línea temática, para poder generar acciones que contribuyan al mejoramiento de las condiciones actuales. Durante varios años se ha investigado la relación existente entre el ruido y el entorno urbano en diferentes zonas, tales como residenciales, comerciales e industriales, con el objetivo de mejorar la calidad acústica en las ciudades. A partir de estos estudios, se ha observado que las zonas de uso mixto suelen presentar niveles de ruido más altos que las áreas de uso exclusivo, lo que requiere una atención especial en la regulación del ruido de esas zonas (Yuan *et al.*, 2019; Torija *et al.*, 2021).

El presente estudio corroboró un incumplimiento total del límite de ruido en todos los puntos ubicados en zonas mixtas del casco central de Heredia. En cuanto a los puntos de mayor interés para la municipalidad del cantón, como las cercanías del cementerio, se evidenció también un incumplimiento de los límites nacionales, lo que constituye un problema ambiental que afecta la calidad de vida y la salud pública, ya que la presencia de ruido en este punto puede tener un impacto emocional y psicológico en las personas que habitan la zona o que la visitan, al interrumpir el ambiente de tranquilidad que se busca en este tipo de espacios. Además, si el ruido se mantiene constante, puede generar una sensación de incomodidad, especialmente considerando que la zona circundante es predominantemente residencial y, tal como se ha abordado anteriormente, la perturbación del sueño y del descanso repercuten negativamente en la salud física y mental.

En el ámbito de los hospitales y centros de estudio, la exposición a altos niveles de ruido puede tener efectos negativos en los pacientes y las personas menores de edad, que son

consideradas poblaciones vulnerables. De acuerdo con Terzakis *et al.* (2022), el impacto negativo del ruido en la salud humana ha demostrado que la exposición a este contaminante en edades tempranas interfiere en el desarrollo cognitivo y el rendimiento escolar. Asimismo, amenaza la salud física, ya que afecta el sistema cardiovascular y aumenta el riesgo de adquirir enfermedades de este tipo, así como metabólicas (OMS, 2018). De manera similar, el ruido afecta la salud mental, dado que la exposición constante puede aumentar los niveles de estrés, ansiedad y afectaciones al sueño. En pacientes hospitalizados, deteriora su capacidad para ganar fuerza y recuperarse, y más bien incrementa el riesgo de complicaciones, lo que puede prolongar su estancia en el hospital; mientras que en las personas menores de edad hace mella en su capacidad de aprendizaje y concentración (Basner *et al.*, 2014; Stansfeld y Clark, 2019).

La gestión del ruido en las ciudades es un desafío para las autoridades debido a su impacto en la salud y la economía. La exposición al ruido también aumenta la demanda de servicios de salud y degrada el precio de las viviendas en las zonas afectadas (Barrigón *et al.*, 2021). Cabe destacar que, si bien las mediciones se realizaron en el contexto nacional de pandemia, en donde se implementaron medidas de restricciones vehiculares y comerciales, algunos estudios han indicado que, a pesar de la importante reducción del número de vehículos que circulaban durante dicho periodo, la baja en los niveles de ruido fue bastante inferior a la esperada, hecho que se atribuye a la elevada velocidad de conducción de los vehículos restantes, entre otros factores, como los tipos de neumáticos y de pavimento (de Lima *et al.*, 2021).

En este sentido, al revisar el estudio llevado a cabo por Bermúdez *et al.* (2018), en el que se evaluó la contaminación por ruido en una zona urbana de Heredia (previo a la pandemia), se tiene que los resultados revelaron que el 57 % de los sitios muestreados en la zona comercial presentó niveles de ruido entre 73 dB(A) y 85 dB(A), mientras que el 43 % restante registró valores superiores a 85 dB(A). Al comparar estos datos con los del presente estudio (durante y posterior a la pandemia), se obtuvieron niveles similares de ruido por encima de los 70 dB(A), y en 6 de los puntos medidos se alcanzaron más de 80 dB(A), considerando el límite superior de la incertidumbre de medición (ver **figura 18**). A pesar de que la mayoría de los puntos estudiados se clasificaron como “zona mixta” de acuerdo con la zonificación de la Municipalidad de Heredia, son comparables a los del estudio anterior.

En cuanto a las áreas residenciales, Bermúdez *et al.* (2018) encontraron que el 8,6 % de los datos reflejaba un nivel de ruido menor o igual a 65 dB(A), mientras que el 91,4 % restante

superaba este valor, con datos que llegaron hasta los 104 dB(A). En el presente estudio, solamente los puntos 10 y 19 se clasificó como zona residencial, debido a la predominancia de casas de habitación en los alrededores (ver **figura 7**). Sin embargo, ambos puntos también registran valores por encima de los 70 dB(A). Es importante destacar que el estudio anterior cubrió áreas residenciales más amplias, como Monte Bello y Corazón de Jesús en el Norte y al sur del cementerio y Guayabal, que no se consideraron en este estudio.

En la zona de tranquilidad ubicada al sur del casco urbano, Bermúdez *et al.* (2018) encontraron niveles de ruido superiores a los 50 dB(A). En el presente estudio se registró un comportamiento similar en la zona alrededor del hospital, con valores por encima de los 65 dB(A). El mapa de ruido generado por Bermúdez *et al.* reveló que el 90 % de la superficie del casco central de Heredia presentaba valores de ruido por encima de los 65 dB(A), lo cual coincide con los datos obtenidos en el presente estudio. Esto indica que, a pesar de la diferencia de tres años entre las mediciones, y considerando además el escenario vivido por la pandemia, el casco central de Heredia sigue registrando niveles de ruido superiores a los 65 dB(A). Conviene esclarecer que las áreas con los niveles más altos de ruido se encuentran en el sector de la Universidad Nacional y en la salida de Heredia hacia San Joaquín de Flores y Alajuela, con valores que oscilan entre 94,6 dB(A) y 104 dB(A) según el estudio anterior; pero es consistente con los resultados del presente estudio. Sí hay una diferencia en el alcance y es que los resultados anteriores corresponden a niveles de ruido obtenidos únicamente en el día, ya que el estudio de Bermúdez *et al.* no realizó mediciones en periodo nocturno.

Al realizar un análisis de la contaminación por ruido en una zona urbana, es fundamental considerar algunas variables interrelacionadas que se vinculan al tamaño de una ciudad específica, tales como la población, la superficie o la longitud de las calles. Cada una de estas variables se ve influida por diferentes factores, como la movilidad de los habitantes y la cantidad de visitantes que reciben los servicios que ofrece. Por tanto, es posible que el nivel de ruido en las calles de una ciudad esté considerablemente correlacionado con su tamaño. Sin perder de vista que, aunque estas variables están imbricadas o entrelazadas, los valores que presentan pueden variar significativamente de una ciudad a otra, debido al diseño urbano particular de cada una. Por ejemplo, dos ciudades con valores similares de población pueden tener niveles de ruido muy diferentes debido a la distribución de las calles y a la cantidad de vehículos que circulan en ellas (Barrigón *et al.*, 2021).

Estos últimos aspectos han sido fundamentales a la hora de realizar estudios de este tipo. El tráfico vehicular es una fuente importante de contaminación acústica en las áreas de estudio, por lo que diversos autores sugieren la promoción de prácticas sostenibles de transporte para lograr una reducción efectiva de la contaminación (Alexeeff *et al.*, 2018; España-Pérez, 2018; Bohatkiewicz, 2016; Chen *et al.*, 2020). Los parámetros de conducción del vehículo y las condiciones del pavimento también afectan a las emisiones sonoras de los vehículos, como el envejecimiento, la textura y la mezcla del pavimento (Yang *et al.*, 2020). Por su parte, la demanda concentrada de movilidad inherente al desarrollo de las ciudades es un vector potencial de degradación de los entornos sonoros, por lo que el tráfico rodado se cita ahora regularmente como la fuente de ruido más molesta (Can *et al.*, 2020).

Sumado a lo anterior, debido a la evolución de las ciudades y al uso del automóvil, el ruido procedente del tráfico rodado tiene el mayor nivel de exposición, ya que las carreteras se encuentran muy cerca de infraestructuras como escuelas, oficinas y edificios residenciales (Basu *et al.*, 2021). Además, los cambios en la distribución de la riqueza y el mercado laboral están llevando a una mayor flexibilidad y aceleración de la vida social, lo que puede provocar una desincronización del ritmo de movilidad con un aumento del ruido durante los periodos tanto vespertinos como nocturnos; al mismo tiempo, la evolución hacia la entrega instantánea y la movilidad activa está cambiando los patrones de transporte y la demanda de servicios públicos (Can *et al.*, 2020).

Mohareb y Maassarani (2019) determinaron que una de cada tres personas está molesta durante el día y una de cada cinco tiene problemas para dormir por la noche, debido al ruido del tráfico. Estos datos son relevantes, especialmente en el contexto de las proyecciones del INEC de 2017 que estimaban una población de 19 060 habitantes en Heredia centro para el año 2021. El estudio de Barrigón *et al.* (2021) llegó a la conclusión de que el número de vehículos en una ciudad está correlacionado con su población residencial y, en consecuencia, el nivel de ruido en las calles de una ciudad estaría ligado al número de vehículos. Por tanto, resulta importante para este estudio realizar una comparación en cuanto al tránsito promedio anual (TPD) del cantón, tanto antes como durante y después de la pandemia de COVID-19.

Para esto, se tiene que LANAMME llevó a cabo un estudio en el año 2017 (antes de la pandemia) el cual incluyó conteos de vehículos durante periodos de tráfico normal, excluyendo vacaciones y días festivos, para obtener un resultado más representativo del escenario habitual.

Se seleccionaron preferentemente los martes, miércoles o jueves, para evitar el efecto fin de semana; y se realizaron mediciones durante 25 horas para considerar los periodos de mayor flujo vehicular en las áreas de tráfico más intenso de los tramos evaluados. Esta información es relevante para el análisis de la contaminación por ruido, ya que estudio tras estudio se ha señalado al tráfico como una de las principales fuentes de ruido en zonas urbanas. En sus resultados se obtuvo que las calles clasificadas como primarias exhiben TPD mayores en comparación con las calles secundarias y terciarias. Por su parte, el MOPT registró que el TPD anual de la Estación 8 Heredia en el año 2020 (durante la pandemia), para el distrito central del cantón, fue de 25 034. En el 2021 (durante la pandemia) este dato ascendió a 28 725.

Lo anterior puede relacionarse con el presente estudio, en donde se determinó que los puntos colocados en las carreteras nacionales primarias y secundarias (o en sus cercanías) alcanzaron los niveles de ruido más altos; tal fue el caso de los puntos 01, 02 y 06, en comparación con las carreteras locales o cantonales. Se observó también que los puntos instalados en las avenidas o su entorno reportaron niveles de ruido más altos que los que únicamente estaban entre calles o en un tramo de calle. Estos resultados respaldan lo dictaminado por otros estudios: las avenidas urbanas son generalmente más ruidosas que las calles residenciales, debido a una mayor densidad de tráfico y al uso de vehículos más grandes y ruidosos. Además, las avenidas suelen ser más amplias y rectas, lo que permite una mayor velocidad de los vehículos que, a su vez, incrementa el nivel de ruido. Ejemplo de esto es un estudio de exploración cualitativa sobre el ruido ambiental urbano en la Ciudad de México, realizado por Rodríguez y Juárez (2020); a través de la revisión de su mapa acústico conocieron que una zona clasificada con alto nivel socioeconómico presentaba problemas de ruido sobre las avenidas principales. Además, los participantes del estudio identificaron como los lugares más “ruidosos” de dicha ciudad a las vías rápidas y avenidas. Por otro lado, la investigación por parte de Henríquez (2022) determinó que, al analizar el mapa de ruido de Santiago de Chile, se observa que los sonidos que sobrepasan los 80 dB provienen de avenidas principales y autopistas, en donde los autores sugirieron la implementación de estrategias para reducir el tráfico. Asimismo, en el estudio de Chaux y Acevedo (2019) se obtuvo que la cercanía a las avenidas principales o secundarias evidenció en los sitios de muestreo un conteo de mayor paso de vehículos y, por ende, de contaminación por ruido en estos.

En el presente estudio también se mostraron niveles de ruido más altos en carreteras de una sola vía, en un solo sentido, que en aquellas de doble vía. Además, las que tienen una dirección de circulación de este a oeste registraron niveles de ruido más altos en comparación que las que van de norte a sur. Hay que tener en cuenta la multiplicidad de factores que repercuten en el ruido de una zona urbana, como por ejemplo la hora del día, la densidad de población y la actividad comercial que le rodea, ya que alude a la posibilidad de que ocurran eventos especiales que ocasionen ruido adicional en la zona. Por lo tanto, tales factores no pueden excluirse de cualquier evaluación acústica en una zona urbana específica. No obstante, estos resultados encontrados necesitan más investigación para compararse debidamente con otras zonas similares a la del presente estudio.

Por su parte, los puntos de medición 03 y 07, que se hallaban en la vecindad de parques y zonas verdes, mostraron niveles de ruido más bajos en comparación con el resto de los puntos. Según la literatura revisada, se ha demostrado que disponer de espacios tranquilos y parques urbanos puede ser una estrategia efectiva para reducir la exposición al ruido del tráfico y mejorar la calidad de vida de los residentes expuestos (Kogan *et al.*, 2018; Rey *et al.*, 2019). Estos hallazgos son relevantes para el contexto de esta investigación, ya que sugieren que las políticas públicas y los esfuerzos de planificación urbana deberían considerar la promoción de espacios de paz y serenidad y la creación de áreas verdes en zonas afectadas por altos niveles de ruido de tráfico. Además, confirman que vale la pena evaluar no solo los efectos directos del ruido del tráfico en la salud y el bienestar, sino también las intervenciones que pueden mitigarlos y elevar la calidad de vida de los residentes. Es importante tener en cuenta que el punto de medición 03, aunque se encontraba en una ubicación paralela al Parque El Carmen, también estaba cerca de la parada de autobuses hacia San Rafael, lo cual pudo contribuir a sus niveles de ruido más altos que los del punto 07.

En cuanto a los niveles de ruido generados por el paso del tren en el casco urbano de Heredia, en promedio se encuentran en el rango de los 70 dB, lo que está por encima del máximo recomendado por la OMS (ver **tabla 1**) para evitar el riesgo de daño auditivo a largo plazo. Se reitera que el control del ruido debe ser considerado un factor clave en la gestión ambiental, con el fin de promover el bienestar de las personas y el desarrollo sostenible de las ciudades.

En relación con el impacto del tráfico vehicular, se considera importante que la municipalidad del cantón realice conteos periódicos del tránsito para identificar la tasa de

crecimiento y el tipo de vehículos que circulan por la red vial. En este sentido, se recomienda que los conteos se realicen al menos una vez al año o cada dos años como máximo, para poder establecer la evolución del tránsito en el tiempo y determinar si se están presentando cambios significativos en su volumen y composición. Al mismo tiempo, es necesario que los conteos se realicen en diferentes horarios y días de la semana, para obtener una imagen completa del tránsito en la zona urbana y así poder identificar los picos de mayor actividad y sus posibles efectos en la contaminación por ruido. La realización de estos conteos periódicos es especialmente estratégica en áreas urbanas en constante expansión y crecimiento, ya que, como se ha visto, el aumento del tráfico vehicular puede tener un impacto significativo en la calidad de vida de las personas y su entorno. Por lo tanto, es fundamental que las autoridades municipales tengan acceso a información actualizada y precisa sobre el tránsito vehicular para poder tomar decisiones informadas y diseñar políticas públicas que promuevan un desarrollo sostenible y respetuoso con el ambiente.

Ahora, de acuerdo con el estudio de Tong *et al.* (2021), se observó que durante el confinamiento por el COVID-19, por más que los niveles de ruido ambiental estuvieran atenuados, hubo un fuerte aumento en las quejas por ruido, ya que algunas otras fuentes de sonido se volvieron más molestas e incluso los niveles de sonido no cambiaron. La pandemia de COVID-19 ha tenido un impacto significativo en la forma en que las personas trabajan y viven en las zonas urbanas. Con la implementación de medidas de confinamiento y distanciamiento social, muchas personas han comenzado a trabajar desde sus hogares. Este cambio en los patrones de trabajo ha llevado a una disminución significativa en los niveles de ruido ambiental en las zonas urbanas de algunos países; sin embargo, ese no fue el caso presentado en este estudio, por lo que es posible que quienes desarrollan teletrabajo estén más expuestos a la contaminación por ruido, dado que los resultados obtenidos reflejaron mayores niveles de ruido en el periodo diurno. Por consiguiente, se puede afirmar que las personas que viven en apartamentos o casas ubicadas cerca de carreteras o calles transitadas, como en los puntos cercanos a la Universidad Nacional, zonas mixtas o cercanías de la línea del tren, podrían estar experimentar un aumento en los niveles de ruido durante el día debido al tráfico.

Finalmente, debido a que los equipos de medición se colocaron en los postes de electricidad, que tenían líneas de tensión de 19 kV a 34 kV, es importante considerar las perturbaciones causadas por el transporte de energía eléctrica. Según Vernieri *et al.* (2002), esto

puede incluir el efecto corona, generador de ruido audible y radiointerferencia; sin embargo, Velilla *et al.* (2005) especifica que, a tensiones menores de 230 kV, los gradientes superficiales están por debajo del gradiente crítico que desencadenaría las descargas parciales, lo que significa que no habría efecto corona ni sus manifestaciones. Más recientemente, Cabrera (2019) refuerza lo anterior al indicar que solamente es necesario estudiar el comportamiento de los conductores al efecto corona para tensiones nominales superiores a 66 kV. En este sentido, se cuenta con la seguridad de que las mediciones realizadas no se han visto afectadas por el ruido audible en el cableado de tensión, ya que se trata de una tensión baja que no produce un efecto corona considerable.

5.4. Mapas acústicos

Se elaboraron dos mapas acústicos: uno para el periodo diurno y otro para el nocturno. Se obtuvo el promedio del nivel de ruido total en cada punto de medición a partir de los muestreos realizados desde octubre de 2021 hasta enero de 2022. En las zonas o carreteras en las que no se colocaron equipos de medición, se utilizaron los datos del TPD del LANAMME (2017) para el casco urbano de Heredia, en los que el software modelaba el nivel de ruido según dichos datos.

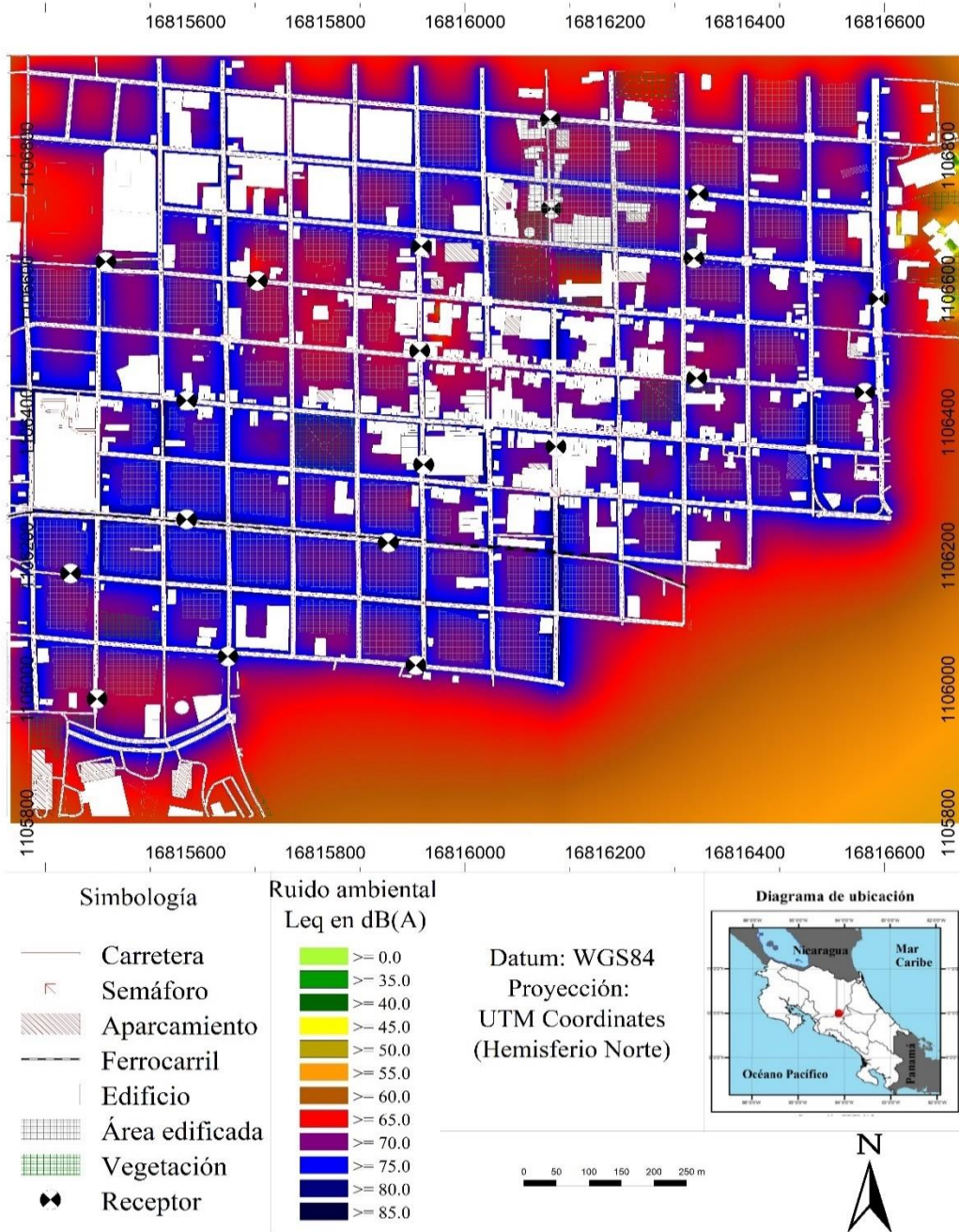
La **figura 20** muestra que durante el día se obtienen los niveles más altos y existe mayor exposición al ruido. Se observa que en la parte suroeste de Heredia existe mayor concentración de ruido en donde el nivel de presión sonora continuo equivalente sobrepasa los 65 dB(A) y 70 dB(A) permitidos en la Reglamentación Nacional. En contraposición, la **figura 21** muestra que, durante la noche, si bien el nivel de ruido disminuye, se mantiene por encima de los 45,0 dB(A) y 55,0 dB(A), en donde la ruta 113 (punto 01) presenta mayor impacto. En ambos casos, tanto de día como de noche, se evidencia el impacto del ruido originado por la movilización de la población, sobre las rutas tanto principales como secundarias, así como la presencia de comercios, escuelas, universidades, centros de salud y demás fuentes que contribuyen a los niveles de ruido y al alto tránsito de personas y vehículos en la zona.

El uso de mapas de ruido ayuda a visualizar el impacto que genera la contaminación sónica y las dimensiones de la población expuesta, por lo que son herramientas necesarias para la mitigación, comprensión, educación e identificación de las áreas más afectadas por el ruido y la toma de medidas para controlarlo. Además de ser útiles para la planificación del desarrollo urbano, los mapas de ruido tienen aplicaciones en el campo de la salud pública, ya que la

exposición prolongada al ruido puede tener efectos negativos en la salud, incluyendo problemas auditivos, trastornos del sueño, estrés y problemas cardiovasculares, como se ha indicado en este trabajo. Por tanto, los mapas de ruido son una herramienta valiosa para la gestión y control del ruido en las ciudades, que deben ser considerados una prioridad en cualquier estrategia de gestión del ruido en áreas urbanas.

Figura 20.

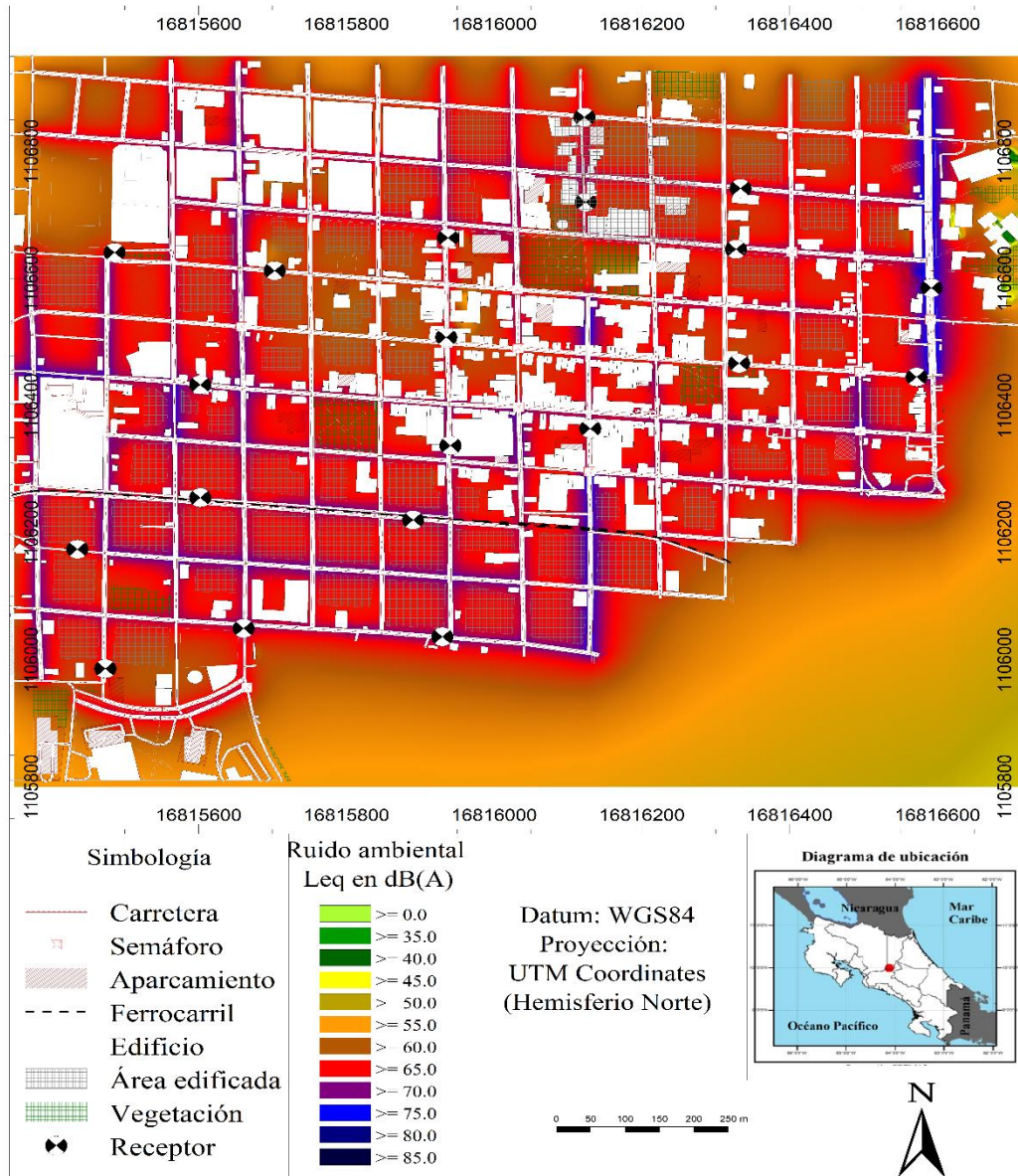
Mapa ambiental de ruido en periodo diurno del casco central de Heredia, Costa Rica, 2023



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21.

Mapa ambiental de ruido en periodo nocturno del casco central de Heredia, Costa Rica, 2023



Fuente: Elaboración propia.

5.5. Propuesta de mitigación

Partiendo de los resultados obtenidos, se comprueba que existe contaminación acústica en el casco central de Heredia al registrarse niveles de ruido que representan un riesgo para la salud

humana, en incumplimiento de los límites nacionales y los límites indicados por la OMS. Por ello se torna fundamental implementar medidas de mitigación que atenúen los efectos nocivos del ruido en el bienestar de la población. En este sentido, la propuesta que se plantea a continuación considera los resultados obtenidos en las mediciones, así como el contexto nacional en el que se llevaron a cabo y los niveles de ruido registrados en investigaciones precursoras. Asimismo, las medidas propuestas fueron evaluadas en conjunto con la Municipalidad de Heredia para adaptarlas a la realidad y posibilidades del gobierno local, así como garantizar su efectiva implementación y que estuvieran alineadas a su vez con los objetivos de gestión ambiental de la municipalidad. Al momento de la elaboración de esta propuesta, la reglamentación nacional sigue siendo totalmente omisa en cuanto a medidas de mitigación o control de ruido que se puedan aplicar en caso de contaminación por ruido en zonas urbanas.

En 2050, se espera que más del 68 % de la población mundial resida en zonas urbanas. Al margen de las ventajas que ofrece este estilo de vida, puede ejercer efectos negativos sobre la salud física y mental y el bienestar general, debido al estrés y la exposición a las formas de contaminación, de las cuales la contaminación sonora es uno de los principales factores de riesgo (Fisher *et al.*, 2022; Barrigón *et al.*, 2021; Chiarini *et al.*, 2020). Paralelamente a este aumento, el tema de la movilidad urbana también se agudiza: de aquí a 2050, el desplazamiento de pasajeros debería aumentar entre un 200 % y un 300 % y el de mercancías entre un 150 % y un 250 % (Can *et al.*, 2020). Por lo tanto, la propuesta de control de ruido del presente trabajo no se centra en abordar cada uno de los factores que generan contaminación por ruido de forma individual (por ejemplo, medidas específicas para el tráfico vehicular o el ferrocarril). En su lugar, busca abarcar una planificación urbana en conjunto que incluya la mitigación y control de niveles de ruido como una iniciativa sostenible para minimizar los efectos negativos en la salud y el bienestar de la población urbana a largo plazo. Además, esta propuesta está alineada con la consecución del desarrollo sostenible establecido en la Agenda 2030 de la Organización de Naciones Unidas (ONU).

Para Chiarini *et al.* (2020) una ciudad sostenible es un concepto polifacético, conformado por consideraciones medioambientales, económicas y sociales. Además, la dimensión medioambiental de la sostenibilidad urbana es el resultado de varios aspectos que interactúan entre sí, como la contaminación por ruido, el uso sostenible del suelo, entre otros. Por su parte, la pandemia de COVID-19 ha significado un antes y un después en temas de planeación territorial,

y sus repercusiones más notables son, por ejemplo, cómo se utiliza el espacio público, el modo de transporte y el lugar de trabajo (teletrabajo) (Nieuwenhuijsen, 2021). Asimismo, el teletrabajo y el trabajo a tiempo parcial son tendencias que reducen los desplazamientos por carretera y disminuyen los viajes en hora punta. Sin embargo, también pueden favorecer la dispersión urbana y aumentar el número de trenes en circulación (con el ruido asociado), lo que puede modificar la estructura temporal y espacial de los entornos sonoros urbanos (Can *et al.*, 2020). Sumado a lo anterior, las áreas urbanas metropolitanas, al reunir los mayores niveles de ruido y la densidad poblacional, concentran las mayores exposiciones y, por tanto, la mayor parte de los esfuerzos actuales para contener el ruido (Can *et al.*, 2020).

Lo anterior indica que, si bien el contexto nacional en el cual se realizaron las mediciones estaba aplicando medidas mitigadoras como el teletrabajo y las restricciones vehiculares, los resultados muestran que las restricciones vehiculares no han probado ser eficaces para el control de ruido y, a su vez, se puede decir que más personas se exponen a los niveles de ruido al estar trabajando desde el hogar.

El aumento de la población urbana en todo el planeta ha impulsado la expansión de las ciudades, que cumplen un papel vital al ofrecer empleos, vivienda y medios de vida sostenibles (Basu *et al.*, 2021). Sin embargo, lograr la sostenibilidad en los entornos urbanos es un reto complejo que implica considerar diversas dimensiones, como la transformación del espacio, el uso de recursos, la emisión de residuos y emisiones, así como la salud y el bienestar de sus residentes (Chiarini *et al.*, 2020). Además, los estudios también han revelado que la contaminación por ruido generada por los humanos puede alterar la biodiversidad, al afectar a la distribución y el comportamiento de las especies y a la calidad de su hábitat (Basu *et al.*, 2021; Barrigón *et al.*, 2021). Por ello, es necesario que la propuesta de control de ruido se realice desde un enfoque holístico en pro del mejoramiento de la salud ambiental de la zona urbana.

La iniciativa de las ciudades jardín es una técnica de planificación urbana que utiliza cinturones verdes para rodear comunidades autónomas que contienen áreas residenciales, industriales y agrícolas (Nieuwenhuijsen, 2021). Por las características del casco central de Heredia, no es factible reordenar la zonificación de uso de suelo, al ser una zona en donde convergen actividades comerciales, residenciales, de clínicas y hospitales e incluso instituciones de educación; por tanto, la planificación debe ir acorde a las características que presenta el sitio de estudio en la actualidad.

En áreas urbanas, optimizar el entorno construido es un método efectivo para mitigar la contaminación por ruido (Yuan *et al.*, 2019). Actualmente se promueven las ciudades compactas como una solución más sostenible y saludable, pero estas también pueden experimentar problemas si el espacio público no se utiliza adecuadamente (Nieuwenhuijsen, 2021). Por su parte, la infraestructura verde urbana, como los parques y las zonas de vegetación, puede mejorar el bienestar humano al ofrecer oportunidades para recuperarse, reducir el estrés y la fatiga, y como beneficio extra, los árboles y arbustos del paisaje urbano pueden dispersar y refractar el ruido de tráfico (Fisher *et al.*, 2022, Yuan *et al.*, 2019).

El proceso de propagación del sonido es tan complejo, que en él subyacen factores como el entorno en el que se produce; los materiales de la carretera, las estructuras de los edificios y las especies de árboles, como se mencionó, desempeñan un papel en la reflexión, absorción y transmisión del sonido (Yuan *et al.*, 2019). Diferentes ciudades del mundo están implementando modelos urbanos con el objetivo de reducir el uso de coches privados y fomentar el transporte público y activo, lo que resulta en una disminución de la contaminación y un aumento de la actividad física y la salud (Nieuwenhuijsen, 2021). A continuación, la **tabla 6** explica brevemente alguno de ellos.

Tabla 6.

Modelos urbanos según el movimiento de ciudades jardín

Modelo urbano innovador	Descripción
Los superbloques, Barcelona	Existen más de 500 superbloques planeados en Barcelona, que reducen el tráfico en algunas calles de una manzana y proporcionan espacio para personas, viajes activos y espacios verdes. El objetivo es crear un espacio público saludable, más verde, justo y seguro, que promueva las relaciones sociales y la economía local, reduciendo la contaminación del aire, los niveles de ruido y los efectos de isla de calor. Donde prosperen los espacios verdes y la actividad física. El modelo de superbloques se puede implementar con bastante facilidad en áreas urbanas con un sistema de cuadrícula y densidades de población y servicios suficientes. Un superbloque se crea cerrando

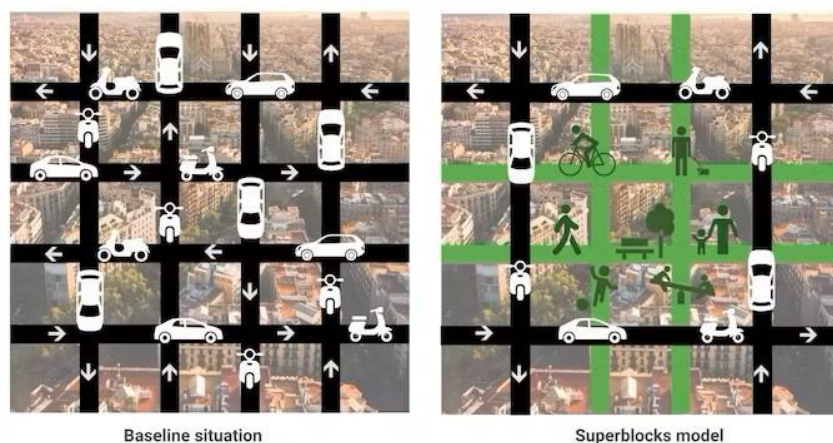
**Modelo urbano
innovador**

Descripción

cuatro cruces en una cuadrícula de nueve, como se muestra en la **figura 22**.

Figura 22.

Modelo de superbloques aplicado en Barcelona



Fuente: Nieuwenhuijsen (2021).

Barrios de tráfico reducido, Londres

Son parte de una serie de cambios en el paisaje urbano relativamente baratos y rápidos, que están siendo incentivados o financiados por el gobierno como medidas de emergencia para proporcionar entornos más seguros donde caminar y andar en bicicleta y, en relación con esto, intentar desalentar el uso de coches. Reducen el tráfico mediante el uso de bolardos, jardineras y cámaras para eliminar el tráfico a través de los vecindarios, manteniendo el acceso a todos los hogares. Los resultados son recorridos por la ciudad más seguros y agradables (ver **figura 23**).

Figura 23.

Modelo de barrios de tráfico reducido en Londres

**Modelo urbano
innovador**

Descripción



Fuente: Nieuwenhuijsen (2021).

Ciudad y barrio sin coches, Hamburgo y Friburgo

Una ciudad sin coches es un centro poblacional que depende principalmente del transporte público, caminar o andar en bicicleta para ir de un punto a otro dentro de la zona urbana. Los modelos de ciudades sin coches han ganado impulso debido a problemas actuales de congestión e infraestructura, y a los beneficios propuestos para el medio ambiente y la calidad de vida. Sin embargo, también existen desafíos para cambiar la infraestructura existente, diseñada principalmente para los automóviles, y cambiar las percepciones, actitudes y comportamientos de las personas. Un ejemplo del modelo lo ilustra la **figura 24**.

Figura 24.

Modelo de ciudad y barrio sin coches, Hamburgo y Friburgo



Fuente: Nieuwenhuijsen (2021).

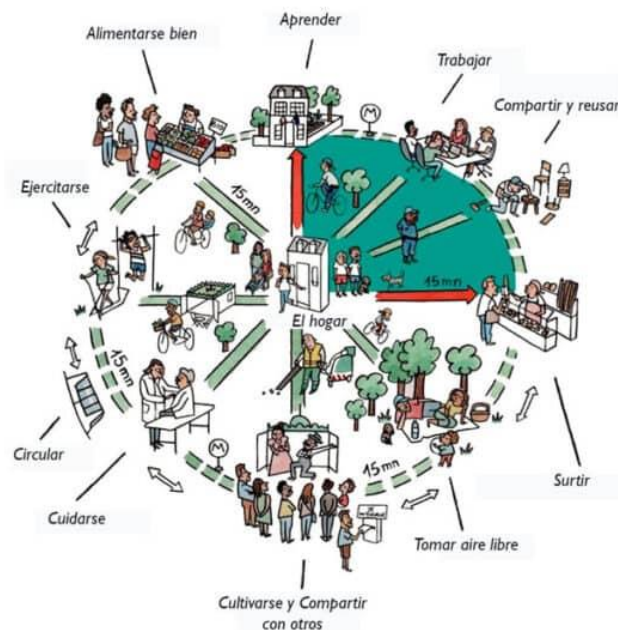
La ciudad de 15 minutos, París

París está introduciendo la “ciudad de 15 minutos”, donde trabajo, escuela, tiendas, entretenimiento, cultura, ocio y otras actividades son accesibles a través viajes de 15 minutos, a pie o en bicicleta desde el hogar. La ciudad de 15 minutos implica una organización y trazado

urbano en aldeas, y el retorno a un diseño de ciudad más tradicional (ver **figura 25**).

Figura 25.

Modelo de ciudad de 15 minutos en París



Fuente: Nieuwenhuijsen (2021).

Fuente: Nieuwenhuijsen (2021).

Los nuevos modelos urbanos buscan reducir el uso de vehículos privados y fomentar el transporte público y activo, lo que puede mejorar la calidad del aire y reducir los niveles de ruido en las ciudades. Aunque pueden presentar ciertas deficiencias y desafíos para su implementación, estos modelos representan soluciones efectivas y sostenibles; eso sí, aún está pendiente medir los efectos una vez que se implementen. Para Can *et al.* (2020) se debe tener en consideración que la reducción del tráfico en el centro de la ciudad, por ejemplo, mediante zonas de bajas emisiones y áreas libres de coches, puede dar lugar a un aumento del tráfico en la periferia, en lugar de inducir el cambio modal que esperan los planificadores.

Dichos modelos son de interés para la Municipalidad de Heredia, la cual se encuentra desarrollando su Plan para la Conservación, la Movilidad Integrada, el Desarrollo y la Seguridad Vial del Cantón de Heredia 2023-2028. Es la estrategia con la que define políticas e

intervenciones prioritarias en infraestructura vial, obras complementarias y otras acciones para fortalecer capacidades locales en materia vial, considerando aspectos ambientales, con el objetivo de enfrentar retos y oportunidades en el cantón y lograr su aspiración de bienestar y desarrollo humano (MOPT, 2017).

Independientemente del modelo que se elija, es necesario que la Municipalidad de Heredia genere políticas o reglamentación conducente a aplicarlo. Además, debe incluir acciones específicas de las medidas a considerar en la planificación urbana del casco central de Heredia en el área del transporte, debido a que el tráfico vehicular demostró ser la causa principal de contaminación por ruido. Por ejemplo, se puede promover la preferencia por el transporte público y la expansión de redes de bicicletas, las cuales traen beneficios para la salud gracias a la actividad física. Para Monazzam *et al.* (2021), el ciclismo en áreas compartidas con vehículos puede ser peligroso para la salud debido a que los ciclistas corren un mayor riesgo físico que los usuarios del transporte público. Sin embargo, es innegable que el uso de la bicicleta tiene un impacto positivo en el medio ambiente de las zonas urbanas, y fomentar su uso puede reducir significativamente la contaminación atmosférica y acústica. No obstante, la acción básica debe ser, en un primer momento, determinar la jerarquía de las calles en el sistema de comunicación (Bohatkiewicz, 2016)

En relación con el ferrocarril, la barrera acústica es la medida de mitigación más popular y eficaz, pero es costosa y no siempre se adapta al paisaje. Por tanto, se puede considerar el uso de amortiguadores y esmerilado de carriles, que son menos efectivos, pero reducen el ruido en la fuente. Se recomienda considerar una gama más amplia de medidas de mitigación del ruido, como formas de vía especiales, tipos de carril diferentes, reducción de la rugosidad de las ruedas, cambio de zapatas de freno, entre otras (Tumavicé *et al.*, 2016).

En relación con el ruido del tráfico, este se ve significativamente influenciado por el ruido neumático-carretera generado por los vehículos que circulan sobre el pavimento (Yuan *et al.*, 2021). Este ruido de rodadura es una fuente importante de ruido del tráfico en velocidades medias-altas, que van desde los 35 km/h hasta los 120 km/h. El ruido neumático-carretera varía considerablemente según el tipo de pavimento y los neumáticos utilizados, lo cual se ha enfatizado en estudios anteriores (Licitra *et al.*, 2019; Del Pizzo *et al.*, 2020). Además, la superficie de la carretera impacta sensiblemente en los niveles de ruido de los vehículos (Del Pizzo *et al.*, 2020). El caso es que las propiedades acústicas de los pavimentos tienden a

empeorar con el tiempo, debido a los complejos sistemas de interacción entre el tipo de pavimento, las cargas de tráfico y las condiciones climáticas (Licitra *et al.*, 2019).

Varios estudios han señalado que el ruido de rodadura es causado por una combinación de mecanismos aerotransportados y estructurales, en los cuales los neumáticos y las superficies del pavimento actúan como fuentes de ruido (Licitra *et al.*, 2019; Ohiduzzaman *et al.*, 2016; Del Pizzo *et al.*, 2020). Los mecanismos transmitidos por la estructura se deben a las vibraciones de los neumáticos al moverse contra la superficie de la carretera, lo cual genera principalmente ruido de baja frecuencia. Por otro lado, el ruido debido a mecanismos aerotransportados afecta a frecuencias superiores a 1 kHz y tiene origen en la compresión y expansión del aire atrapado entre la banda de rodadura del neumático y la superficie de la carretera, efecto conocido como “bombeo de aire”.

Para optimizar el diseño acústico del pavimento, es necesario conocer en detalle el papel que desempeña la superficie de rodadura en la generación del ruido neumático-carretera. En particular, la macro y megatextura superficial, la porosidad y el espesor de la capa son las propiedades del pavimento que influyen más notablemente en el ruido neumático-carretera, mientras que otras propiedades, como la microtextura y la rigidez, contribuyen en menor grado (Licitra *et al.*, 2019; Ohiduzzaman *et al.*, 2016; Del Pizzo *et al.*, 2020).

Tradicionalmente, las barreras acústicas se han utilizado en las autopistas para mitigar el ruido del tráfico; sin embargo, su uso ha demostrado ser costoso y no tan eficaz como se esperaría, ya que requieren romper la línea de visión para funcionar correctamente, lo cual no siempre es posible en intersecciones o entradas de vehículos. Por lo tanto, se busca adoptar enfoques proactivos para reducir el ruido en las fuentes (Ohiduzzaman *et al.*, 2016). El estudio de medidas de mitigación de la contaminación sónica por tráfico rodado es cada vez más relevante en la planificación urbana y, al ser la interacción entre neumático y carretera la principal fuente de ruido, los pavimentos poco ruidosos son considerados una solución viable para reducirle decibeles al tráfico (Del Pizzo *et al.*, 2020).

Se han desarrollado y aplicado diferentes tipos de pavimentos silenciosos como el asfalto poroso, el pavimento cauchutado fabricado con mezclas asfálticas, el firme poroelástico, las capas finas y muy finas con optimización de la textura, entre otros (Licitra *et al.*, 2019) que, se ha demostrado, reducen el ruido del tráfico hasta en 8 dB(A) a 10 dB(A) (Licitra *et al.*, 2019); y el proceso húmedo de combinación de la miga de caucho con el cemento asfáltico líquido es más

eficaz que el proceso en seco (Del Pizzo *et al.*, 2020). En general, las superficies de mezcla asfáltica en caliente (HMA) producen menos ruido que las de hormigón de cemento Portland (PCC), y las superficies de vacíos de aire en las capas de fricción de gradiente abierto (OGFC) son las más silenciosas entre los tipos de superficies (Sirin, 2016). Por tanto, los pavimentos porosos reducen los niveles de ruido en comparación con las superficies densas; específicamente Yuan *et al.* (2021) señala que los pavimentos porosos de doble capa, tanto en el carril interior como en el exterior, son los que mejor neutralizan el ruido de rodadura de los vehículos ligeros y pesados. Las observaciones indican que el uso de superficies de pavimento modificadas reduce la contaminación por ruido y es económicamente viable y, a diferencia de las barreras acústicas, la modificación de las superficies ofrece una solución para toda la longitud de una carretera (Ohiduzzaman *et al.*, 2016).

Ahora bien, en cuanto a la planificación urbana, Yuan *et al.* (2019) recomienda controlar la densidad de los edificios y concentrar las áreas comerciales en las ciudades con una zona de amortiguamiento verde alrededor para reducir el impacto del ruido en las áreas residenciales circundantes. Por lo anterior, se sugiere emplear plantas que funcionen como barreras acústicas vegetativas, lo cual no solo obstaculiza la propagación del ruido, sino que también mejora la estética del área, como es el caso de los arbustos. Sin embargo, la elección de las especies vegetales debe estar sujeta a que sean endémicas, que puedan disminuir el ruido y que se adapten al clima del lugar.

Can *et al.* (2020) destacan la importancia de anticipar y adaptarse a los cambios urbanos y sociales que afectarán los entornos sonoros urbanos en el futuro. Por ejemplo, aunque los vehículos eléctricos pueden parecer una solución viable para mitigar los problemas de ruido, su impacto en la reducción del ruido puede ser decepcionante. Según Can *et al.* (2020), la introducción de un 10 % de vehículos eléctricos solo disminuiría el ruido en aproximadamente 0,5 dB. Además, esta reducción se limita principalmente al ruido del motor, mientras que el ruido de rodadura sigue siendo la principal fuente de ruido en vehículos que viajan a más de 30 km/h. Por lo tanto, se insta a explorar medidas educativas para concientizar a la población sobre la contaminación sonora y cómo los hábitos de conducción pueden contribuir a aumentar los niveles de ruido. Esta medida podría ser más efectiva si se enfoca en los vehículos más ruidosos, como los autobuses o camiones de distribución.

Considerando lo anterior, la propuesta de control de ruido para la Municipalidad de

Heredia tiene un enfoque de ordenamiento territorial en donde se proponen las líneas de acción descritas en la **tabla 7**. En esta propuesta se clasificaron las medidas sugeridas en tres categorías: corto plazo, mediano plazo y largo plazo. Las medidas de corto plazo se refieren a aquellas que pueden implementarse con rapidez, generalmente dentro de un año o menos; ya que su objetivo principal es abordar los puntos críticos identificados en el estudio de forma inmediata. Por otro lado, las medidas de mediano plazo requieren más tiempo y recursos para su implementación (de uno a cinco años), y suelen involucrar acciones más estructurales, como la implementación de barreras acústicas, que requieren una planificación y ejecución más detalladas. Finalmente, las medidas de largo plazo son aquellas que se prevén implementar en un periodo mayor a cinco años. Estas medidas suelen requerir una inversión significativa y un enfoque prolongado en términos de planificación y ejecución. La clasificación en corto, mediano y largo plazo permite organizar y priorizar las medidas propuestas en función de su factibilidad temporal y los recursos necesarios para su implementación exitosa.

Tabla 7.

Propuesta de medidas de control de ruido para la Municipalidad de Heredia

Línea de acción 1. <i>Generar reglamentación y lineamientos en cuanto a uso de materiales de construcción para las carreteras que reduzcan los niveles de ruido producido por el contacto neumático-carretera.</i>
<p>Descripción de la línea de acción:</p> <ul style="list-style-type: none">• Establecer normativas y directrices para la utilización de materiales de construcción en las carreteras que sean menos ruidosos, como los pavimentos porosos, que aminoran la acumulación del ruido de tráfico vehicular, contribuyendo a disminuir la contaminación por ruido en el entorno urbano. <p>Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:</p> <ul style="list-style-type: none">• ODS 9: Industria, innovación e infraestructura• ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles <p>Tiempo de ejecución:</p> <ul style="list-style-type: none">• Mediano plazo <p>Prioridad:</p> <ul style="list-style-type: none">• Alta <p>Actividades:</p> <ul style="list-style-type: none">• Realizar investigaciones y estudios sobre materiales de construcción para carreteras que atenúen el ruido neumático-pavimentos y evaluar su viabilidad en el contexto local.• Elaborar reglamentación y lineamientos específicos para el uso de materiales de construcción de carreteras que reduzcan los niveles de ruido.• Realizar pruebas para evaluar la efectividad de los materiales.

- Promover la adopción de estas normativas entre los organismos encargados de la construcción y mantenimiento de carreteras en Heredia.
- Capacitar a los profesionales y trabajadores involucrados en la construcción y mantenimiento de carreteras sobre los beneficios y técnicas relacionadas con el uso de materiales menos ruidosos.
- Establecer mecanismos de supervisión y control para garantizar el cumplimiento de las normativas y lineamientos establecidos.

Recursos requeridos:

- Personal especializado en planificación urbana
- Asesoría legal
- Recursos financieros para llevar a cabo investigaciones, capacitaciones y supervisión
- Equipo de medición de ruido y otra tecnología necesaria para evaluar los niveles de ruido en las carreteras
- Acceso a literatura científica y estudios previos sobre materiales de construcción menos ruidosos en carreteras
- Colaboración y apoyo de la Municipalidad de Heredia y otros organismos relacionados.

Indicador de seguimiento:

- Mediciones de los niveles de ruido en diferentes puntos de la zona urbana de Heredia
- Aplicación de encuestas a la población sobre la percepción del ruido
- Porcentaje de la progresión en la generación de reglamentación y lineamientos
- Cantidad de materiales de construcción de carretera evaluados

- Cantidad de veces que se ha aplicado la nueva reglamentación o criterio de construcción y/o reparación en proyectos de carreteras
- Cantidad de talleres, seminarios o capacitaciones sobre el tema
- Un indicador positivo sería una disminución sostenida de los niveles de ruido o las quejas de la población, lo que indicaría que las medidas de control están siendo efectivas.

Línea de acción 2. *Generar reglamentación y lineamientos en cuanto a materiales que puedan aplicarse en construcción de viviendas, escuelas, hospitales, comercios, etc., tanto nuevos como remodelaciones.*

Descripción de la línea de acción:

- Establecer regulaciones y directrices para el uso de materiales de construcción que sean aislantes del sonido en edificaciones. Estos materiales ayudan a reducir la transmisión del ruido hacia el interior de los edificios y contribuyen a crear espacios más tranquilos y saludables para los habitantes.

Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:

- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Tiempo de ejecución:

- Mediano plazo

Prioridad:

- Alta

Actividades:

- Investigar y evaluar diferentes materiales de construcción que sean efectivos en el aislamiento acústico, considerando tanto aspectos técnicos como económicos y ambientales.

- Elaborar reglamentación y lineamientos específicos para el uso de materiales de construcción aislantes del sonido en diferentes tipos de edificaciones, como viviendas, escuelas, hospitales y comercios.
- Realizar pruebas para evaluar la efectividad de los materiales.
- Promover la adopción de estas regulaciones y directrices entre los profesionales del sector de la construcción, incluyendo arquitectos, ingenieros, albañiles y operarios.
- Realizar campañas de concientización y educación dirigidas a propietarios y desarrolladores de proyectos inmobiliarios, resaltando los beneficios del uso de materiales de construcción aislantes del sonido.
- Establecer mecanismos de verificación y control para asegurar el cumplimiento de las regulaciones y lineamientos establecidos.

Recursos requeridos:

- Personal especializado en acústica y construcción, incluyendo arquitectos e ingenieros especialistas en aislamiento acústico
- Asesoría legal
- Recursos financieros para llevar a cabo investigaciones, campañas de concientización y actividades de control
- Acceso a información técnica y científica sobre materiales de construcción aislantes del sonido.

Indicador de seguimiento:

- Mediciones de los niveles de ruido en el interior de viviendas, escuelas, hospitales y comercios en Heredia
- Aplicación de encuestas a la población sobre la percepción del ruido
- Porcentaje de la progresión en la generación de reglamentación y lineamientos

- Cantidad de materiales de construcción evaluados
- Cantidad de veces que se ha aplicado la nueva reglamentación o criterio de construcción y proyectos de remodelación
- Cantidad de talleres, seminarios o capacitaciones sobre el tema
- Un indicador positivo sería una reducción significativa de las quejas o de los niveles de ruido en el interior de las edificaciones, lo cual indicaría que las regulaciones y directrices están siendo efectivas en la creación de espacios más tranquilos.

Línea de acción 3. *Adoptar un modelo de superbloques donde se prioricen calles exclusivas para vehículos pesados y livianos*

Descripción de la línea de acción:

- Implementar un modelo de gestión del tráfico en superbloques, donde se restrinja el acceso de vehículos pesados a determinadas calles y carreteras dentro de zonas residenciales. Esto ayuda a reducir la exposición de la población a niveles elevados de ruido, especialmente durante la noche. Estas restricciones pueden enfocarse en las avenidas, las cuales presentaron los mayores niveles de ruido.

Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:

- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles
- ODS 3: Salud y bienestar

Tiempo de ejecución:

- Largo plazo

Prioridad:

- Media

Actividades:

- Realizar estudios de tráfico y análisis de los niveles de ruido en las zonas residenciales de Heredia, identificando las vías con mayor tráfico de vehículos pesados y los puntos críticos en términos de contaminación por ruido.
- Diseñar un plan de reorganización del tráfico en superbloques, definiendo las calles exclusivas para vehículos pesados y livianos, y estableciendo las restricciones de acceso correspondientes.
- Efectuar una consulta pública a la comunidad y empresas de transporte y otros actores claves.
- Desarrollar normativa para la implementación de los superbloques.
- Evaluar el proyecto piloto
- Coordinar con las autoridades de tránsito y transporte para implementar y hacer cumplir las restricciones de acceso a vehículos pesados en las calles designadas.
- Informar y educar a la comunidad sobre los cambios en la gestión del tráfico, destacando los beneficios en la reducción del ruido y mejor calidad de vida.
- Monitorear regularmente los niveles de ruido en las zonas residenciales afectadas por la implementación del modelo de superbloques, y evaluar su efectividad en combatir la contaminación por ruido.

Recursos requeridos:

- Equipo interdisciplinario que incluya planificadores urbanos, ingenieros, arquitectos, entre otros profesionales
- Recursos financieros para llevar a cabo estudios de tráfico, consulta pública e instrumentos de evaluación
- Plan piloto con las medidas de reorganización del tráfico y monitoreo de niveles de ruido

- Colaboración y apoyo de las autoridades de tránsito y transporte, así como de la Municipalidad de Heredia
- Sistemas de señalización y control de acceso para implementar las restricciones de acceso a vehículos pesados.

Indicador de seguimiento:

- Mediciones de los niveles de ruido en las zonas afectadas por la implementación del modelo de superbloques
- Aplicación de encuestas a la población sobre la percepción del ruido y bienestar urbano
- Porcentaje de avance en la planificación y diseño del superbloques
- Número de kilómetros de calle que se han designado solo para el paso de vehículos
- Número de kilómetros de calle que se han designado solo para el paso de peatones y bicicletas
- Un indicador positivo sería una disminución significativa de las quejas y los niveles de ruido en estas áreas, lo que indicaría que las restricciones de acceso a vehículos pesados están contribuyendo a librarse de la contaminación por ruido.

Línea de acción 4. *Adoptar un modelo de espacios de tráfico reducidos, especialmente en zonas residenciales.*

Descripción de la línea de acción:

- Limitar el paso de vehículos que no pertenezcan a la comunidad y estén utilizando estas áreas para evitar la congestión del tráfico en otras vías principales. Esto contribuye a disminuir la exposición de la población a niveles altos de ruido producido por el tráfico vehicular y a mejorar la seguridad de la comunidad.

Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:

- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles
- ODS 3: Salud y bienestar

Tiempo de ejecución:

- Corto plazo

Prioridad:

- Media

Actividades:

- Realizar un estudio de tráfico actual en las zonas residenciales de Heredia, identificando las vías que presentan mayor congestión y niveles de ruido.
- Diseñar un plan piloto para implementar espacios de tráfico reducidos en las zonas residenciales, definiendo las restricciones de acceso para vehículos que no pertenezcan a la comunidad.
- Realizar la consulta pública con los líderes de las comunidades entre otros actores claves.
- Establecer medidas de control de acceso, como barreras físicas, cámaras de vigilancia o sistemas de identificación, para garantizar el cumplimiento de las restricciones.
- Coordinar con las autoridades de tránsito y transporte para implementar y hacer cumplir las medidas de espacios de tráfico reducidos.
- Informar y educar a la comunidad sobre los cambios en la gestión del tráfico, resaltando los beneficios en la reducción del ruido y la mejora de la seguridad.

Recursos requeridos:

- Equipo interdisciplinario que incluya planificadores urbanos, ingenieros, arquitectos, entre otros profesionales

- Recursos financieros para llevar a cabo estudios de tráfico, implementar medidas de control de acceso y realizar campañas de información y educación
- Colaboración y apoyo de las autoridades de tránsito y transporte, así como de la Municipalidad de Heredia
- Sistemas de control de acceso, como barreras físicas, cámaras de vigilancia o sistemas de identificación

Indicador de seguimiento:

- Mediciones de los niveles de ruido en las zonas residenciales donde se han implementado los espacios de tráfico reducidos
- Aplicación de encuestas a la población sobre la percepción del ruido
- Número de zonas residenciales favorecidas
- Porcentaje de avance en la planificación y diseño de espacios de tráfico reducidos
- Un indicador positivo sería una disminución significativa de las quejas y los niveles de ruido en estas áreas, lo que indicaría que las medidas están contribuyendo a reducir la contaminación por ruido.

Línea de acción 5. Educación ambiental ciudadana en cuanto a la contaminación por ruido y movilidad sostenible

Descripción de la línea de acción:

- Concientizar a la comunidad sobre los efectos negativos del ruido en la salud y el bienestar de las personas, así como promover prácticas de movilidad sostenible, como el transporte público, el uso compartido de vehículos y el transporte no motorizado (caminar o andar en bicicleta). Se pueden desarrollar programas de educación ambiental en escuelas, comunidades y medios de comunicación locales, así como promover campañas de sensibilización en eventos comunitarios y campañas de divulgación en redes sociales y medios de comunicación.

Objetivo de Desarrollo Sostenible Asociado:

- ODS 4: Educación de calidad
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Tiempo de ejecución:

- Corto plazo

Prioridad:

- Alta

Actividades:

- Diseñar programas de educación ambiental sobre la contaminación por ruido y movilidad sostenible, adaptados a diferentes audiencias, como escuelas, comunidades y público en general.
- Desarrollar materiales educativos, como folletos, guías y presentaciones, que aborden los efectos del ruido en la salud y el medio ambiente, así como las alternativas de movilidad sostenible.
- Implementar programas de educación ambiental en escuelas, mediante charlas, talleres y actividades prácticas, para sensibilizar a los estudiantes sobre la importancia de reducir la contaminación por ruido y fomentar opciones de movilidad sostenible.
- Organizar eventos comunitarios, ferias o jornadas de sensibilización en espacios públicos, donde se invite a elegir la movilidad sostenible y se brinde información sobre los impactos del ruido y las acciones que pueden tomar los ciudadanos.
- Utilizar los medios de comunicación locales, redes sociales y otros canales de divulgación para difundir mensajes educativos sobre la contaminación por ruido y las prácticas de movilidad sostenible.
- Evaluar periódicamente la efectividad de los programas y campañas de educación ambiental mediante encuestas y seguimiento de cambios en el comportamiento de la comunidad.

Recursos requeridos:

- Personal especializado en educación ambiental y comunicación
- Recursos financieros para el diseño y desarrollo de materiales educativos, así como para la organización de eventos y campañas de sensibilización
- Colaboración de instituciones educativas, autoridades locales, medios de comunicación y organizaciones comunitarias
- Acceso a espacios públicos y medios de comunicación locales.

Indicador de seguimiento:

- Encuestas para evaluar los cambios en el comportamiento y conocimiento de la comunidad sobre la contaminación por ruido y la movilidad sostenible
- Número de participantes y centros educativos sumados a la iniciativa
- Un indicador positivo sería un aumento en el conocimiento y la adopción de comportamientos más sostenibles por parte de la comunidad.

Línea de acción 6. *Aplicar barreras acústicas en zonas de interés, como la línea del tren, las escuelas y el hospital.*

Descripción de la línea de acción:

- Instalar barreras acústicas en zonas de alto tráfico y sitios de interés para reducir la propagación del ruido generado por el tráfico vehicular y ferroviario.

Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:

- ODS 3: Salud y bienestar
- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Tiempo de ejecución:

- Largo plazo

Prioridad:

- Alta

Actividades:

- Diseñar un plan de instalación de barreras acústicas, considerando su ubicación estratégica para maximizar su efectividad en la reducción del ruido.
- Identificar los tipos de barreras acústicas más adecuadas para cada ubicación, considerando factores como el material, la altura y la capacidad de absorción acústica.
- Coordinar con las autoridades competentes, como la Municipalidad de Heredia, para obtener los permisos necesarios y garantizar la viabilidad de la instalación de las barreras acústicas.
- Llevar a cabo el proceso de instalación de las barreras acústicas, asegurándose de cumplir con los estándares y especificaciones técnicas establecidas.
- Realizar seguimiento y monitoreo periódico de los niveles de ruido en las zonas donde se han instalado las barreras acústicas, evaluando su efectividad en la reducción de la contaminación por ruido.

Recursos requeridos:

- Personal especializado en acústica y construcción
- Recursos financieros para llevar a cabo estudios de ruido, diseño e instalación de las barreras acústicas, así como para el monitoreo y seguimiento de los niveles de ruido
- Colaboración y apoyo de las autoridades competentes
- Materiales y equipos necesarios para la instalación de las barreras acústicas.

Indicador de seguimiento:

- Mediciones de los niveles de ruido en las áreas donde se han instalado las barreras acústicas
- Un indicador positivo sería una reducción significativa de los niveles de ruido en estas zonas, lo que indicaría que las barreras acústicas están contribuyendo a deshacer esta contaminación.

Línea de acción 7. *Plantación de árboles a lo largo de las carreteras*

Descripción de la línea de acción:

- La vegetación, especialmente arbórea, actúa como una barrera natural que ayuda a reducir la propagación del ruido generado por el tráfico vehicular. La plantación de árboles a lo largo de las carreteras puede ser exitosa en bajar los niveles de ruido en la zona urbana y mejorar la calidad del ambiente sonoro. Además, los árboles proporcionan beneficios psicológicos y ambientales, como la mejora del paisaje urbano, la reducción del estrés, la captura de carbono y la mejora de la calidad del aire.

Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:

- ODS 3: Salud y bienestar
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles
- ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres

Tiempo de ejecución:

- Corto plazo

Prioridad:

- Media

Actividades:

- Realizar un estudio de las áreas a lo largo de las carreteras en las que se pueda llevar a cabo la plantación de árboles, considerando factores como el espacio disponible, la viabilidad de la plantación y los beneficios potenciales.
- Identificar las especies más adecuadas para la plantación, considerando aspectos como su capacidad para absorber el ruido, su resistencia a las condiciones urbanas y su contribución a otros beneficios ambientales.
- Coordinar con la Municipalidad de Heredia, las autoridades de transporte y otras partes interesadas para obtener los permisos necesarios y garantizar la viabilidad de la plantación de árboles.
- Diseñar un que incluya la distribución espacial de los árboles a lo largo de las carreteras y los procedimientos adecuados de plantación y mantenimiento.
- Llevar a cabo la plantación de los árboles, asegurándose de seguir las pautas y los estándares establecidos para garantizar su crecimiento saludable.
- Implementar un programa de monitoreo y mantenimiento de los árboles plantados, incluyendo riego, poda y control de plagas, para asegurar su supervivencia y maximizar los beneficios de reducción de ruido a largo plazo.

Recursos requeridos:

- Personal especializado en silvicultura y paisajismo
- Recursos financieros para llevar a cabo el estudio, diseño, plantación y mantenimiento de los árboles
- Colaboración y apoyo de la Municipalidad de Heredia, las autoridades de transporte y otras partes interesadas
- Suministro de árboles adecuados y materiales para la plantación, como tierra, abono y equipos de riego

Indicador de seguimiento:

- Mediciones de los niveles de ruido en las zonas donde se han plantado árboles.
- Encuestas de satisfacción de la población, tanto en disminución de ruido como en embellecimiento de la ciudad.
- Un indicador positivo sería una disminución significativa de los niveles de ruido en estas áreas, lo que indicaría que la plantación de árboles está contribuyendo a deshacer la contaminación por ruido.

Línea de acción 8. *Planificación urbana basada en el modelo de ciudad de 15 minutos*

Descripción de la línea de acción:

- Adoptar un enfoque de planificación urbana que considere los principios del modelo de ciudad de 15 minutos, diseñado en París. Esto implica otorgar permisos de uso de suelo de manera estratégica, priorizando la proximidad y accesibilidad a servicios básicos y facilidades a una distancia que pueda ser cubierta en 15 minutos a pie o en bicicleta. Con ello se fomenta una mayor movilidad sostenible, reduciendo la dependencia del uso de vehículos motorizados y, por lo tanto, disminuyendo la contaminación por ruido y mejorando la calidad del ambiente sonoro.

Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:

- ODS 3: Salud y bienestar
- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles
- ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres

Tiempo de ejecución:

- Largo plazo

Prioridad:

- Baja

Actividades:

- Realizar un análisis de la infraestructura urbana existente y los servicios disponibles en el área de estudio.
- Identificar las ubicaciones estratégicas para la planificación de servicios básicos, como tiendas, escuelas, parques, centros de salud y otros servicios comunitarios, de manera que puedan ser accesibles en un radio de 15 minutos a pie o en bicicleta.
- Trabajar en colaboración con la Municipalidad de Heredia y otros actores relevantes para actualizar y adaptar los planes de uso de suelo existentes, incorporando los principios del modelo de ciudad de 15 minutos.
- Desarrollar políticas y regulaciones urbanísticas que promuevan la creación de espacios mixtos y densidades adecuadas para facilitar la implementación del modelo de ciudad de 15 minutos.
- Fomentar la participación ciudadana en el proceso de planificación urbana, involucrando a los residentes y a las partes interesadas en la toma de decisiones y en la definición de las necesidades y prioridades locales.
- Monitorear y evaluar periódicamente la implementación del modelo de ciudad de 15 minutos, midiendo indicadores clave como la accesibilidad a los servicios básicos, la reducción del uso de vehículos motorizados y la mejora de la calidad del ambiente sonoro.

Recursos requeridos:

- Personal especializado en planificación urbana y desarrollo sostenible
- Recursos financieros para llevar a cabo el análisis de infraestructura, la actualización de los planes de uso de suelo, la promoción de políticas urbanísticas y la implementación de acciones concretas

- Colaboración y apoyo de la Municipalidad de Heredia, los planificadores urbanos y otros actores relevantes
- Participación ciudadana activa y comprometida.

Indicador de seguimiento:

- Disminución del uso de vehículos motorizados en el área de estudio
- Un indicador positivo sería una reducción significativa en el número de vehículos motorizados utilizados en desplazamientos diarios, lo que indicaría una mayor adopción de modos de transporte sostenibles, contribuyendo así a dejar atrás la contaminación por ruido.

Línea de acción 9. Implementación de medidas de control de velocidad

Descripción de la línea de acción:

- La velocidad del tráfico vehicular es uno de los principales factores que contribuyen a la contaminación por ruido en las zonas urbanas. Implementar medidas de control como la instalación de señales de límite de velocidad, reductores de velocidad, radares de velocidad y patrullaje de tráfico, puede ayudar a reducir la emisión de ruido y mejorar la calidad del ambiente sonoro.

Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:

- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Tiempo de ejecución:

- Corto plazo

Prioridad:

- Alta

Actividades:

- Realizar un estudio de tráfico y evaluación de las áreas donde se identifiquen problemas de velocidad excesiva y altos niveles de ruido.
- Determinar las ubicaciones estratégicas para la instalación de señales de límite de velocidad, reductores de velocidad y radares de velocidad, considerando factores como la densidad de tráfico, la seguridad vial y el impacto en la reducción del ruido.
- Coordinar con la Municipalidad de Heredia en conjunto con las autoridades de tránsito para obtener los permisos necesarios y garantizar la viabilidad de la implementación de las medidas de control de velocidad.
- Instalar señales de límite de velocidad y dispositivos de control de velocidad en las áreas identificadas, siguiendo las regulaciones y estándares de seguridad establecidos.
- Establecer programas de patrullaje de tráfico para hacer cumplir los límites de velocidad y garantizar el cumplimiento de las medidas de control.
- Realizar monitoreo y evaluación periódica de la efectividad de las medidas implementadas, midiendo los niveles de ruido y los cambios en el comportamiento de los conductores en relación con la velocidad.

Recursos requeridos:

- Personal especializado en ingeniería y seguridad vial
- Recursos financieros para realizar el estudio de tráfico, adquirir y mantener las señales de límite de velocidad, reductores de velocidad y radares de velocidad, así como para llevar a cabo programas de patrullaje de tráfico
- Colaboración y apoyo de la Municipalidad de Heredia, las autoridades de tránsito y las fuerzas de seguridad

- Equipo y tecnología para el monitoreo y la evaluación de la implementación de las medidas de control de velocidad.

Indicador de seguimiento:

- Porcentaje de conductores que cumplen con los límites de velocidad establecidos en las áreas donde se han implementado las medidas de control
- Un indicador positivo sería un aumento en el cumplimiento de los límites de velocidad, lo que indicaría una reducción efectiva de la velocidad y, por lo tanto, de la emisión de ruido en esas áreas.

Línea de acción 10. *Promoción de vehículos eléctricos y transporte público sostenible*

Descripción de la línea de acción:

- Los vehículos eléctricos y el transporte público sostenible emiten menos ruido en comparación con los vehículos de combustión interna.

Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:

- ODS 3: Salud y bienestar
- ODS 7: Energía asequible y no contaminante
- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Tiempo de ejecución:

- Mediano a largo plazo

Prioridad:

- Baja

Actividades:

- Realizar campañas de concientización y educación para promover el uso de vehículos eléctricos y el transporte público sostenible.
- Proporcionar información sobre los beneficios de los vehículos eléctricos y el transporte público en términos de reducción de la contaminación por ruido y mejora de la calidad del ambiente sonoro.
- Trabajar en colaboración con empresas automotrices y proveedores de transporte público para fomentar la adopción de vehículos eléctricos y el uso de tecnologías más limpias en autobuses y trenes.
- Explorar la posibilidad de establecer incentivos y políticas que promuevan la compra de vehículos eléctricos, como exenciones fiscales, estacionamiento preferencial y subsidios para la instalación de puntos de carga.
- Mejorar la infraestructura de carga para vehículos eléctricos, instalando una red de estaciones de carga en lugares estratégicos.
- Mejorar la calidad y eficiencia del transporte público, aumentando la frecuencia de los servicios, mejorando las rutas y la accesibilidad, y promoviendo tarifas asequibles.
- Monitorear y evaluar el progreso en la adopción de vehículos eléctricos y el uso de transporte público sostenible, recopilando datos sobre el número de vehículos eléctricos en circulación y el aumento de la preferencia por el transporte público.

Recursos requeridos:

- Personal especializado en movilidad sostenible y transporte público
- Recursos financieros para llevar a cabo campañas de concientización, incentivos y mejoras en la infraestructura de carga para vehículos eléctricos
- Colaboración y apoyo de empresas automotrices, proveedores de transporte público, la Municipalidad de Heredia y otras instituciones relevantes

- Infraestructura de carga para vehículos eléctricos, incluyendo estaciones de carga
- Datos y sistemas de monitoreo para evaluar el progreso en la adopción de vehículos eléctricos y el uso del transporte público sostenible.

Indicador de seguimiento:

- Número de vehículos eléctricos en circulación en el área de estudio y su crecimiento a lo largo del tiempo
- Un indicador positivo sería un aumento significativo en la adopción de vehículos eléctricos, lo que indicaría una reducción en la emisión de ruido por parte de los vehículos en la zona urbana.
- Número de pasajeros transportados y cambio en los patrones de movilidad
- Un indicador positivo sería un aumento significativo en el uso del transporte público, lo que indicaría una disminución en la cantidad de vehículos privados en circulación y, por lo tanto, una reducción de la contaminación por ruido.

Línea de acción 11. *Creación de ciclovías y espacios caminables*

Descripción de la línea de acción:

- Diseñar y construir una red integral de ciclovías y espacios peatonales seguros y accesibles en la ciudad. Esto promovería la movilidad activa: bicicleta y caminata, como opciones de transporte sostenibles y sin emisiones de ruido. Además, la creación de espacios caminables y ciclovías podría disminuir la congestión vehicular y, como resultado, los niveles de ruido en las calles.

Objetivo de Desarrollo Sostenible asociado:

- ODS 3: Salud y bienestar
- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

- ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres

Tiempo de ejecución:

- Mediano a largo plazo

Prioridad:

- Alta

Actividades:

- Realizar estudios de viabilidad y planificación para identificar las rutas más adecuadas para las ciclovías y los espacios peatonales.
- Coordinar con la Municipalidad de Heredia y otros organismos pertinentes para obtener los permisos y la financiación necesaria para la construcción de las ciclovías y los espacios caminables.
- Diseñar y construir las ciclovías y los espacios peatonales, siguiendo los estándares de seguridad y accesibilidad.
- Mejorar la infraestructura existente, como calles y aceras, para adaptarlas a las necesidades de los ciclistas y peatones, incluyendo la instalación de señalización adecuada y la mejora de la iluminación.
- Promover activamente el uso de las ciclovías y los espacios peatonales a través de campañas de concientización y educación, destacando los beneficios para la salud, el medio ambiente y la reducción del ruido.
- Mantener y monitorear regularmente las ciclovías y los espacios peatonales para garantizar su buen estado y seguridad.

Recursos requeridos:

- Personal especializado en urbanismo y planificación de ciclovías y espacios peatonales

- Recursos financieros para realizar los estudios de viabilidad, el diseño y la construcción de las ciclovías y los espacios peatonales
- Colaboración y apoyo de la Municipalidad de Heredia, organismos de transporte y urbanismo, y la comunidad local
- Materiales de construcción adecuados para las ciclovías y los espacios peatonales, como asfalto, pintura, señalización y mobiliario urbano
- Equipo y tecnología para el monitoreo y mantenimiento de las ciclovías y los espacios peatonales.

Indicado de seguimiento:

- Número de ciclistas y peatones que utilizan las nuevas infraestructuras, tanto en términos absolutos como en comparación con el transporte motorizado
- Un indicador positivo sería un aumento significativo en el uso de las ciclovías y los espacios peatonales, lo que indicaría una disminución en la dependencia de los vehículos motorizados y una reducción de los niveles de ruido en las calles.
- Encuestas y estudios para evaluar la percepción de los usuarios sobre la seguridad y comodidad de las ciclovías y los espacios peatonales
- Un indicador positivo sería una mejora en la percepción general de seguridad y comodidad, lo que indicaría un entorno favorable para la movilidad activa y la reducción del ruido.

Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

El diagnóstico de las condiciones actuales de ruido ambiental en el casco central de Heredia destaca la necesidad de acciones concretas y políticas adecuadas para controlar y mitigar la contaminación por ruido en esta área urbana. Los resultados obtenidos proporcionan una sólida base de datos que respalda la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas destinadas a proteger la salud de los habitantes y mejorar significativamente su calidad de vida.

Con base en los resultados obtenidos a través del desarrollo de la primera fase de este estudio, se puede concluir que el casco central de Heredia presenta en la actualidad altos niveles de contaminación por ruido, los cuales exceden tanto los límites nacionales como los recomendados por la OMS. A pesar de las restricciones vehiculares implementadas durante la época lluviosa, por motivo de la pandemia de COVID-19, se observó que los niveles de ruido eran más altos en comparación con la época seca, y el tráfico vehicular constituía la principal fuente de ruido antropogénico en la zona.

Los hallazgos subrayan la inminente necesidad de tomar medidas efectivas para controlar la contaminación por ruido en el casco central de Heredia, dada la expansión demográfica y las limitaciones de las restricciones vehiculares en el periodo de medición de los niveles de ruido. Esto implica la exploración de enfoques más holísticos y sostenibles. Además, es esencial abordar el impacto del ruido en la calidad de vida, especialmente en las horas nocturnas, como un componente esencial de cualquier estrategia de mejora del bienestar y la sostenibilidad en esta comunidad urbana.

La segunda fase de este estudio permitió la elaboración de un mapa acústico en el que se comprueba que el casco central de Heredia presenta altos niveles de ruido, tanto en el día como durante la noche. Los resultados obtenidos a través del mapa acústico revelan que el casco central de Heredia presenta altos niveles de ruido en aproximadamente el 90 % de su superficie, superando los límites permitidos por la reglamentación nacional. Esto indica que, a pesar de los tres años transcurridos desde las últimas mediciones que se realizaron en dicho cantón y considerando el impacto de la pandemia, la zona sigue presentando una condición acústica desfavorable. A su vez, se identificaron áreas específicas con los niveles más altos de ruido: el

sector de la Universidad Nacional se mantiene como un punto crítico en la actualidad, lo cual es consistente con estudios anteriores y demuestra la persistencia de altos niveles de ruido en estas ubicaciones.

Se destaca el impacto significativo del ruido generado por la movilidad de la población, tanto en las rutas principales como secundarias, así como la presencia de diversas fuentes de ruido –comercios, escuelas, universidades y centros de salud– que contribuyen a los altos niveles de ruido y al tráfico intenso de personas y vehículos en la zona. Con base en estos resultados, se concluye que la condición acústica del casco central de Heredia es desfavorable y requiere medidas de mitigación efectivas. El mapa acústico permitió obtener una demostración gráfica clara de las áreas de mayor concentración de ruido y sirve como una herramienta útil para identificar las zonas que requieren una atención prioritaria.

La legislación nacional sobre contaminación por ruido carece de un enfoque preventivo. Además, no ofrece directrices sobre cómo diseñar e implementar estrategias para la mitigación, monitoreo y control efectivo del ruido en áreas urbanas, lo que resalta la necesidad de reformas para garantizar un control más eficaz del ruido y un ambiente sonoro más saludable.

Los altos niveles de ruido en el casco central de Heredia, al igual que en otras zonas urbanas, representan un riesgo para la salud de las personas, por sus efectos negativos como trastornos del sueño, problemas cardiovasculares, estrés, aumento de la presión arterial, ansiedad, disminución de la productividad laboral y del aprendizaje, entre otros. Asimismo, la exposición al ruido en zonas mixtas y residenciales, cercanas a puntos de interés como cementerios, hospitales y escuelas, constituye un problema ambiental que afecta la calidad de vida y la salud pública, especialmente en poblaciones vulnerables como niños, pacientes hospitalizados y personas mayores.

A través de la tercera fase se identificó la necesidad de abordar la contaminación por ruido en el casco central de Heredia desde un enfoque integrado, holístico y adaptativo, al analizar el patrón de crecimiento urbano global, en conjunto con los cambios en la movilidad y la redefinición del espacio público postpandemia. Es vital incorporar estrategias de mitigación del ruido en un marco de planificación urbana sostenible alineado con los ODS, y no solamente enfocarse en los factores individuales que generan ruido.

Es fundamental también reexaminar y rediseñar los sistemas de transporte, promoviendo la adopción de modos de transporte más sostenibles y menos ruidosos, lo cual podría

complementarse con un diseño urbano que optimice el uso del espacio público. Esto estaría en concordancia con los nuevos modelos urbanos, como los superbloques de Barcelona, los barrios de tráfico reducido de Londres, las ciudades y barrios sin coches en Hamburgo y Friburgo, y la ciudad de 15 minutos en París, los cuales delinean un ejemplo de infraestructura urbana en armonía con el entorno ambiental y el bienestar humano.

La implementación de las medidas de control de ruido propuestas no solo contribuirá a la mejora de la calidad de vida de los residentes, sino que también respaldará varios Objetivos de Desarrollo Sostenible, incluyendo la salud y el bienestar (ODS 3), la educación de calidad (ODS 4), la infraestructura sostenible (ODS 9), las ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11) y la vida de ecosistemas terrestres (ODS 15). Este esfuerzo requiere políticas adaptables, evaluación continua y colaboración entre el Municipalidad, la sociedad civil y personas expertas en múltiples disciplinas para lograr un entorno urbano saludable y sostenible en el casco central de Heredia.

Finalmente, es fundamental que la Municipalidad de Heredia, en su búsqueda de la sostenibilidad y desarrollo humano, entienda la importancia de una planificación adaptable y receptiva. Esto implica la creación de políticas que aseguren la implementación y el mantenimiento de estas estrategias, así como una evaluación continua de su efectividad y posibles mejoras. Además, el tratamiento de este contaminante requiere una sinergia entre el gobierno local, la sociedad civil y personas expertas en múltiples disciplinas, para lograr un espacio urbano resiliente que propicie un equilibrio entre la salud humana y la sostenibilidad.

7. RECOMENDACIONES

Para reducir la exposición de la población al ruido del tráfico vehicular, se deben implementar medidas de mitigación del ruido en las áreas adyacentes a las carreteras, como el uso de pavimentos que reduzcan los niveles de ruido del contacto neumático-carretera, o bien el uso de barreras acústicas en sitios de interés y promover prácticas de conducción responsable. Además, es necesario promover prácticas sostenibles de transporte en las zonas urbanas, como el uso de transporte público, la movilidad activa como caminar y andar en bicicleta, y la adopción de tecnologías de transporte más limpias y silenciosas, con el objetivo de reducir la contaminación por ruido causada por el tráfico vehicular.

Es importante implementar políticas de planificación urbana que promuevan el desarrollo de espacios urbanos, con el fin de reducir los niveles de ruido y proteger la calidad de vida de quienes residen y trabajan en estas áreas. Es decir, trabajar desde un enfoque preventivo y no correctivo. Además, es fundamental llevar a cabo monitoreo y seguimiento periódico de los niveles de ruido en zonas sensibles, como hospitales y escuelas, para tomar acciones correctivas en caso de incumplimiento de los límites permitidos.

Para medir la eficacia de las medidas propuestas en este estudio, se recomienda realizar un monitoreo continuo del nivel de ruido en diferentes puntos de la zona, antes y después de la implementación de cada medida. Se deberá establecer una línea base de medición previa a la implementación de cualquier medida, para conocer los niveles de ruido existentes en la zona. Después, se deberá realizar un monitoreo periódico para evaluar el efecto de cada medida en la reducción del ruido. Los puntos de monitoreo deberán seleccionarse de manera estratégica, considerando las zonas de mayor tráfico vehicular, las áreas residenciales, las escuelas, los hospitales y otros lugares de interés. Además, deberán emplearse equipos de medición de ruido adecuados y calibrados, para garantizar la exactitud de los resultados. La información recopilada en el monitoreo deberá ser analizada para identificar las áreas donde se requieren mejoras adicionales y permitir la toma de decisiones informadas.

Otro aspecto por considerar es la inclusión de espacios naturales en la planificación urbana. La incorporación de áreas verdes, tales como parques, jardines y bulevares, puede ayudar a reducir los niveles de ruido al actuar como barreras naturales que absorben y amortiguan el sonido. Para incorporar espacios verdes en el casco central de Heredia, se sugiere llevar a cabo un análisis de la distribución actual de zonas verdes y la identificación de áreas que carecen de

ellas. Además, se deben considerar aspectos como el tamaño y la ubicación adecuada de dichas áreas, para maximizar su efecto en la reducción de la contaminación por ruido. Es importante destacar que la vegetación arbórea y arbustiva no solo tiene un impacto positivo en disminuir la contaminación sónica; también depara otros beneficios ambientales y sociales, como la reducción de la temperatura urbana, la promoción de la biodiversidad y la mejora de la salud mental y física de las personas y, por ende, su calidad de vida.

No se debe perder de vista que los resultados obtenidos en este estudio únicamente son aplicables a la zona de estudio delimitada: el casco central del cantón de Heredia, Costa Rica. Es posible que en otras partes del mismo cantón exista contaminación por ruido que no fue considerada en este estudio. Por lo tanto, se recomienda que, si la Municipalidad de Heredia tiene interés en abordar la contaminación por ruido en otras zonas de su jurisdicción, realice estudios de ruido adicionales para evaluar la magnitud del problema, comparar resultados y determinar las medidas adecuadas para abordarlo. Estos estudios pueden incluir mediciones de ruido y encuestas a los habitantes del cantón, para obtener información de primera mano sobre la exposición al ruido y sus efectos en la calidad de vida.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A. Y. (5 de abril de 2018). Datos sobre el tránsito promedio diario son ahora accesibles en línea. *AM Prensa*. <https://amprensa.com/2018/04/datos-sobre-el-transito-promedio-diario-son-ahora-accesibles-en-linea/>
- Alexeeff, S., Roy, A., Shan, J., Liu, X., Messier, K., Apte, J., Portier, C., Sidney, S. y Van Den Eeden, S. (2018). High-resolution mapping of traffic related air pollution with Google Street view cars and incidence of cardiovascular events within neighborhoods in Oakland, CA. *Environmental Health*, 17(1), 1-13.
<https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-018-0382-1>
- Alfie, M. y Salinas, O. (2017). Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(1), 65-96.
<http://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/1613/pdf>
- Almagro, J., García, R., Ramallo, S., Martínez, F. y Ramos, N. (2021). Assessing environmental noise impact of PA systems with the swept-sine method. A case study in the heritage site of the Alhambra. *Applied Acoustics*, 176, 107897.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X20310008?via%3Dihub>
- Amable Álvarez, I., Méndez Martínez, J., Delgado Pérez, L., Acebo Figueroa, F., de Armas Mestre, J. y Rivero Llop, M.L. (2017). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*, 39(3), 640-649.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000300024&lng=es&tlng=es
- Ávila Peña, A. (2019). *Evaluación del impacto acústico y propuestas de mitigación de la avenida Simón Bolívar en el conjunto Jardines de Carcelén*. [Trabajo final de graduación]. Quito: Universidad de las Américas.
<https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11347>
- Arzroony, S. y Najm, Y. (2013). The Noise Pollution in Basrah Governorate (Its Sources, Effects and Treatment). *Al-Gharee for Economics and Administration Sciences*, 9(26), 7-36.
<https://www.iasj.net/iasj/download/0bc7c1f983fa345b>
- Asamblea Legislativa (15 de noviembre de 1968). Ley N°4240. Ley de Planificación Urbana.
<https://www.ucr.ac.cr/medios/documentos/2015/LEY-4240.pdf>
- Asamblea Legislativa (13 de noviembre de 1995). Ley N°7554. Ley Orgánica del Ambiente.

- http://www.pgrweb.go.cr/SCIJ/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=27738&nValor3=93505&strTipM=TC
- Asamblea Legislativa (30 de octubre de 1973). Ley N°5395. Ley General de Salud.
<https://www.ucr.ac.cr/medios/documentos/2015/LEY-5395.pdf>
- Asamblea Legislativa (04 de octubre del 2012). Ley N°9078. Ley de Tránsito por Vías Públicas Terrestres y Seguridad Vial.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=73504&nValor3=90232&strTipM=TC
- Asamblea Legislativa (22 de agosto de 1972). Ley N°5060. Ley General de Caminos Públicos.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=38653&nValor3=70674&strTipM=TC
- Asamblea Nacional Constituyente (1949). *Constitución Política de la República de Costa Rica*.
<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-escuela-libre-de-derecho/derecho-constitucional-i/constitucion-politica-de-costarica/3698067>
- Asociación Española de Normalización (2009). UNE-ISO 1996-2:2007. *Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental*. Madrid: UNE. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0043828>
- Ayala Baño, E. P. y Chango Vásconez, C. R. (2018). *Sistema de monitoreo de nivel de ruido ambiental para el casco central de la ciudad de Ambato*. [Trabajo de graduación]. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28939>
- Basu, B., Murphy, E., Molter, A., Basu, A. S., Sannigrahi, S., Belmonte, M. y Pilla, F. (2021). Investigating changes in noise pollution due to the COVID-19 lockdown: The case of Dublin, Ireland. *Sustainable Cities and Society*, 65, 102597.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102597>
- Barrantes Sotela, O. (2018). *Análisis del efecto del cambio de uso de la tierra en el fenómeno de isla de calor urbano (ICU) en la ciudad de Heredia, Costa Rica*. [Tesis de maestría]. Universidad de Costa Rica. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/82280>
- Barrigón, J., Rey, G., Montes, D., Vílchez, R. y Gómez, V. (2021). Variability of traffic noise pollution levels as a function of city size variables. *Environmental Research*, 199,

111303.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935121005971?via%3Dihub>

Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S. y 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)

Barti, D. (2013). *Acústica medioambiental*. Vol. I. Alicante: ECU.

<http://site.ebrary.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=10758065&ppg=3>

Begou, P., Kassomenos, P. y Kelessis, A. (2020). Effects of road traffic noise on the prevalence of cardiovascular diseases: The case of Thessaloniki, Greece. *Science of The Total Environment*, 703, 134477.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134477>

Bermúdez, L., Castro, J., Vetrani, K., Murrell, M., Barraza, D. y Méndez, M. (2018). Creación de mapas acústicos en los cantones de Heredia, Alajuela y Belén, como indicadores de la contaminación sónica. *Revista Geográfica de América Central*, 4(61E), 175-195.

<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/11785/15793>

Berrezueta Berrezueta, J. (2017). *Metodología para la elaboración de mapas acústicos como herramienta de gestión de ruido urbano en la ciudad de Machala*. [Trabajo final de grado]. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala.

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11573>

Bohatkiewicz, J. (2016). Noise Control Plans in Cities – Selected Issues and Necessary Changes in Approach to Measures and Methods of Protection. *Transportation Research Procedia*, 14, 2744-2753.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516304653?via%3Dihub>

Bunn, F. y Trombetta Zannin, P. H. (2016). Assessment of railway noise in an urban setting. *Applied Acoustics*, 104, 16-23.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X15003059?via%3Dihub>

Can, A., L'hostis, A., Aumond, P., Botteldooren, D., Coelho, M. C., Guarnaccia, C. y Kang, J. (2020). The future of urban sound environments: Impacting mobility trends and insights for noise assessment and mitigation. *Applied Acoustics*, 170, 107518.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X20306228?via%3Dihub>

Catún Sierra, M. (2018). *Determinación de los índices de contaminación sonora producida en el*

- área urbana del Municipio de Cobán del departamento de Alta Verapaz. [Trabajo de graduación]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/10704/>
- Cabrera Castro, D. (2019). *Subestación elevadora de evacuación 2x40MVA 30/132 kV de planta fotovoltaica*. [Trabajo final de graduación]. Universidad de Sevilla.
<https://idus.us.es/handle/11441/90924>
- Calderón Peralvo, F. y Tacurri Ortega, C. (2016). *Modelación de ruido por tráfico vehicular en la calle Mariscal Lamar en la Ciudad de Cuenca*. Universidad de Azuay. [Trabajo final de graduación]. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay.
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5477>
- Carranza, A. y Tovar, L. (2014). *Determinación de la capacidad de absorción sonora de barreras acústicas a partir de residuos orgánicos*. [Trabajo de tesis]. Bellavista, Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao.
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1692>
- Chaux Álvarez, L. M. y Acevedo Buitrago, B. (2019). Evaluación de ruido ambiental en alrededores a centros médicos de la localidad Barrios Unidos, Bogotá. *Revista científica*, 35(2), 234-246.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/13983/14776>
- Chen, L., Bo, F., Xu, H., Cai, J. y Li, D. (2020). Analysis of the Causes and Countermeasures of Chengdu City Road Traffic Noise. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 587, 012096. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/587/1/012096/pdf>
- Chiarini, B., D'Agostino, A., Marzano, E. y Regoli, A. (2020). The perception of air pollution and noise in urban environments: A subjective indicator across European countries. *Journal of environmental management*, 263, 110272.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720302073?via%3Dihub>
- Coloque Rojas, J. (2019). *Mapa estratégico de ruido ambiental en la zona urbana de Puno - Año 2018*. [Tesis]. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3224070>
- de Lima Andrade, E., da Cunha e Silva, D.C., de Lima, E.A., Angrizani de Oliveira, R., Trombetta Zannin, P. H. Y Germano Martins, A. C. (2021) Environmental noise in

- hospitals: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research* 28, 19629-19642. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13211-2>
- Del Pizzo, L. G., Teti, L., Moro, A., Bianco, F., Fredianelli, L. y Licitra, G. (2020). Influence of texture on tyre road noise spectra in rubberized pavements. *Applied Acoustics*, 159, 107080.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X19300325?via%3Dihub>
- Domínguez-Ruiz, A. L. M. (2015). Ruido: intrusión sonora e intimidad acústica. *Inmediaciones de la comunicación*, 10(10), 118-130.
https://www.researchgate.net/publication/317242022_Ruido_intrusion_sonora_e_intimidad
- España-Pérez, J. (2018). Delimitación conceptual del término *smart mobility* y conceptos afines: presupuesto para la sostenibilidad ambiental. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 94, 37-91.
https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2012/01/2019_10_Recopilatorio_94_AJA_Octubre.pdf
- Expósito Paje, S. (coordinador) (2013). *Innovación para el control del ruido ambiental*. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
<https://books.google.com.ec/books?id=xlw8AgAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Fernández-Cid, P. (13 de diciembre del 2017). Presión sonora y sonoridad (III): curvas isofónicas (Fletcher-Munson) y de ponderación (A, B, C, K). *Hispanonic*.
<https://www.hispasonic.com/tutoriales/presion-sonora-sonoridad-iii-curvas-isofonicas-fletcher-munson-ponderacion-b-c-k/43351>
- Fisher, J. C., Rankin, E., Irvine, K. N., Goddard, M. A., Davies, Z. G. y Dallimer, M. (2022). Can biodiverse streetscapes mitigate the effects of noise and air pollution on human wellbeing? *Environmental Research*, 212, part A, 113154.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935122004819>
- Foraster, M., Eze, I., Vienneau, D., Schaffner, E., Jeong, A., Héritier, H., Rudzik, F., Thiesse, L., Pieren, R., Brink, M., Cajochen, C., Wunderli, J., Röösli, M. y Probst-Hensch, N. (2018). Long-term exposure to transportation noise and its association with adiposity markers and development of obesity. *Environment International*, 121, part 1, 879-889.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018312406?via%3Dihub>

- Fuks, K., Weinmayr, G., Basagaña, X., Gruzieva, O., Hampel, R., Oftedal, B., Sørensen, M., Wolf, K., Aamodt, G., Aasvang, G., Aguilera, I., Becker, T., Beelen, R., Brunekreef, B., Caracciolo, B., Cyrus, J., Elosua, R., Eriksen, K., Foraster, M., . . . Hoffmann, B. (2016). Long-term exposure to ambient air pollution and traffic noise and incident hypertension in seven cohorts of the European study of cohorts for air pollution effects (ESCAPE). *European Heart Journal*, 38(13), 983-990.
<https://academic.oup.com/eurheartj/article/38/13/983/2439478>
- Ganic, A. (2019). *Diseño y desarrollo de un equipo electrónico para la medida del nivel de presión sonora*. [Trabajo final de graduación]. Universidad Politécnica de Valencia.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/148314#>
- Green, M. y Murphy, D. (2020). Environmental sound monitoring using machine learning on mobile devices. *Applied Acoustics*, 159, 107041, 1-8.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X19303007?via%3Dihub>
- Hahad, O., Beutel, M., Gori, T., Schulz, A., Blettner, M., Pfeiffer, N., Rostock, T., Lackner, K., Sørensen, M., Prochaska, J., Wild, P. y Münzel, T. (2018). Annoyance to different noise sources is associated with atrial fibrillation in the Gutenberg Health Study. *International Journal of Cardiology*, 264, 79-84.
[https://www.internationaljournalofcardiology.com/article/S0167-5273\(17\)37174-7/fulltext](https://www.internationaljournalofcardiology.com/article/S0167-5273(17)37174-7/fulltext)
- Hammersen, F., Niemann, H. y Hoebel, J. (2016). Environmental Noise Annoyance and Mental Health in Adults: Findings from the Cross-Sectional German Health Update (GEDA) Study 2012. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(10), 954. <https://www.mdpi.com/1660-4601/13/10/954>
- Hanson, C. E., Ross, J. C. y Towers, D. A. (2015). *High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment*. Washington D.C.: Federal Railroad Administration-U.S. Department of Transportation.
https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/2680/20120220_FRA_HSR_NV_Manual_FINAL_102412.pdf
- Hassan, S. H. (19 de mayo de 2021). Noise and its impact on environmental pollution. *Materials Today: Proceedings*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532103577X?via%3Dihub>

- Henríquez, F., Quintero, J. y De Frías, E. (2019). Uso de modelos matemáticos para el cálculo de ruido en las principales avenidas de Panamá. *RIC. Revista de Iniciación Científica*, 4(2), 49-56. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/2156/3105>
- Henríquez, V. (2022). *Ruido, autopista y vivienda: confort acústico en la Autopista Central para su manejo urbano y residencial*. [Tesis de grado]. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://repositorio.uc.cl/xmlui/handle/11534/63634>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Herrera Murillo, J., Rodríguez Román, S. y Solís Torres, L. D. (2009). Determinación de los niveles de partículas pm10 y dióxido de nitrógeno en la Ciudad de Heredia, Costa Rica: año 2005-2006. *Tecnología en Marcha*, 22(4), 18-27. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/122/121
- Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) (2021). Ruta: San José-Heredia-Alajuela. *INCOFER*. <https://incofer.go.cr/transporte-de-personas/ruta-san-jose-heredia-alajuela/>
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) (2015). INTE/IEC 61672-1:2015. Metrología física. Electroacústica. Sonómetros. Especificaciones.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) (2016). INTE/IEC 60942:2016. Metrología física. Electroacústica. Calibradores acústicos.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) (2017). INTE/ISO/IEC guía 98-3:2017. Incertidumbre de medida. Parte 3: Guía para la expresión de la incertidumbre de medida.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2011). *Censo de Población y Vivienda 2011*. *INEC Costa Rica*. <https://www.inec.cr/censos/censos-2011>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2017). Estimaciones distritales de población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo. *INEC Costa Rica*. <https://www.inec.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion>
- Kogan, P., Arenas, J. P., Bermejo, F., Hinalaf, M. y Turra, B. (2018). A Green Soundscape Index (GSI): The potential of assessing the perceived balance between natural sound and traffic noise. *Science of the Total Environment*, 642, 463-472. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718320850?via%3Dihub>
- Lachira Estrada, D. S., Palacios Zapata, C. M., Saavedra Navarro, Y., Luján Vera, P. E. y

- Lachira Estrada, J. V. (2021). *Contaminación acústica en la ciudad de Piura*. Guayaquil: Editorial Grupo Compás.
<http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/616/3/Contaminaci%C3%B3n%20acustica.pdf>
- Lam, B., Gan, W., Shi, D., Nishimura, M. y Elliot, S. (2021). Ten questions concerning active noise control in the built environment. *Building and Environment*, 200, 107928, 1-18.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321003322>
- Leitón, V. (2021) Caracterización de la contaminación por ruido del casco central de San Rafael de Heredia, Costa Rica. *Ambientico*, (278), 49-56.
<https://www.ambientico.una.ac.cr/revista-ambientico/caracterizacion-de-la-contaminacion-por-ruido-del-casco-central-de-san-rafael-de-heredia-costa-rica/>
- Licitra, G., Fredianelli, L., Petri, D. y Vigotti, M. (2016). Annoyance evaluation due to overall railway noise and vibration in Pisa urban areas. *Science of The Total Environment*, 568, 1315-1325.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969715310524?via%3Dihub>
- Licitra, G., Moro, A., Teti, L., Del Pizzo, L. G. y Bianco, F. (2019). Modelling of acoustic ageing of rubberized pavements. *Applied Acoustics*, 146, 237-245.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X18306935?via%3Dihub>
- Maquera Loza, K. B. (2018). *Determinación de la eficiencia en barreras acústicas, evaluando la capacidad insonora frente a niveles de presión sonora*. [Trabajo de graduación]. Tacna, Perú: Universidad Privada de Tacna.
<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1061>
- Martínez, J. C. (2019). *Evaluación de la contaminación acústica en el terminal terrestre del cantón Morona, ciudad Macas, mediante la identificación de niveles de presión sonora*. [Trabajo de graduación]. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Marquis-Favre, C., Gille, L. A. y Breton, L. (2021). Combined road traffic, railway and aircraft noise sources: Total noise annoyance model appraisal from field data. *Applied Acoustics*, 180, 108127.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X21002206?via%3Dihub>
- Mishra, R.K., Nair, K., Kumar, K. y Shukla, A. (2021). Dynamic noise mapping of road traffic in

- an urban city. *Arabian Journal of Geosciences* 14, 122.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-020-06373-9>
- Mier Tapia, F. (2017). *Optimización de mapas de ruido a través de sistemas de información geográfica. Caso de estudio: Centro Histórico de Quito*. [Tesis de bachillerato]. Quito: Universidad de las Américas. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/8315>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2009). *Protocolo para la medición de emisión de ruido, ruido ambiental y realización de mapas de ruido*. Universidad de Medellín. <https://1library.co/document/y90ekwry-protocolo-medicion-de-ruido.html>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) (2017). *Planes viales quinquenales de conservación y desarrollo: guía para la formulación y seguimiento*. 1ª ed. San José: Unidad Ejecutora y de Coordinación - PRVC.
https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/23964/Guia_Didactica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mohamed, A., Paleologos, E. y Howari, F. (2021). *Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering*. Chapter 19: Noise pollution and its impact on human health and the environment. 975-1026. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128095829000190>
- Mohareb, N. y Maassarani, S. (2019). Assessment of street-level noise in three different urban settings in Tripoli. *Urban Climate*, 29, 100481.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221209551830244X?via%3Dihub>
- Molina Prieto, L., Gonzáles Torres, G. y Perilla Jácome, H. (2017). Autódromos ambientales sustentables: elementos para el control activo y pasivo del ruido. *Revista de Investigación*, 10(1), 113-127.
<https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/69/64>
- Monazzam, M. R., Karimi, E., Shahbazi, H. y Shahidzadeh, H. (2021). Effect of cycling development as a non-motorized transport on reducing air and noise pollution-case study: Central districts of Tehran. *Urban Climate*, 38, 100887.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095521001176?via%3Dihub>
- Moya, J. y Monge, E. (2015). *Caracterización de la distribución de los niveles de presión sonora para el casco central del cantón de San José*. [Tesis de licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

- <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6379/Ruido%20San%20Jos%c3%a9.%20Jos%c3%a9%20Moya-%20Evandry%20Monge.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Murrell Blanco, M., Vetrani Chavarrí, K., Bermúdez Hidalgo, L., Campos Morales, H. y Montero Sánchez, E. (2020). Modelo nacional para la gestión de factores de estrés ambiental: olores y ruido. *Ambientico*, 274, 9, 49-55.
- https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/30948/274_49-55.pdf
- Murphy, E. y King, E. (2014). *Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy*. 1ª ed. Elsevier.
- https://books.google.co.cr/books?id=bPrAgAAQBAJ&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Municipalidad de Heredia (2020). *Atlas geográfico de la Municipalidad de Heredia*. Heredia: Sección de Catastro y Valoración.
- <https://www.heredia.go.cr/es/servicios/capacitaci%C3%B3n>
- Munir, S., Khan, S., Nazneen, S. y Ahmad, S. (2021). Temporal and seasonal variations of noise pollution in urban zones: a case study in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 29581-29589. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-12738-8>
- Münzel, T., Schmidt, F., Steven, S., Herzog, J., Daiber, A. y Sørensen, M. (2018). Environmental Noise and the Cardiovascular System. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688-697.
- https://www.researchgate.net/publication/322966373_Environmental_Noise_and_the_Cardiovascular_System
- Nazneen, S., Raza, A. y Khan, S. (2020). Assessment of noise pollution and associated subjective health complaints and psychological symptoms: analysis through structure equation model. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(17), 21570-21580.
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-08655-x>
- Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). New urban models for more sustainable, liveable and healthier cities post covid19, reducing air pollution, noise and heat island effects and increasing green space and physical activity. *Environment International*, 157, 106850.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041202100475X?via%3Dihub>

- Okokon, E., Turunen, A., Ung, S., Vartiainen, A. K., Tiittanen, P. y Lanki, T. (2015). Road-Traffic Noise: Annoyance, Risk Perception, and Noise Sensitivity in the Finnish Adult Population. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 5712-5734. <https://www.mdpi.com/1660-4601/12/6/5712>
- Ohiduzzaman, M. D., Sirin, O., Kassem, E. y Rochat, J. L. (2016). State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter Pavements—Part 1: Traffic Noise Measurement and Abatement Techniques. *Sustainability*, 8(8), 742. <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/8/742>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Copenhagen. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (1999). *Guidelines for Community Noise*. Ginebra. <https://docs.wind-watch.org/WHO-Communitynoise.pdf>
- Orozco Medina, M. (2019). Expectativas y retos en la gestión del ruido urbano en el Área Metropolitana de Guadalajara. En: Orozco Medina, M. y González, A. E. (coord.), *Ruido, Salud y Bienestar: Visión, análisis y perspectivas en Latinoamérica*. Pp. 107-117. Montevideo: Universidad de la República. https://drive.google.com/file/d/1zcA7O_g9ZAM5TJ1PrzsCa_vpBp4EcnWS/view?fbclid=IwAR2H_1kBGVV7CYI6VERStj2u4rC3AeBUihA98c4QqDp8ahaN6rljGUTuuw
- Pallavi, C. (2019). Assessment of noise pollution level in different sites of Dehradun City Uttarakhand. *Environment & Ecology*, 35(3D), 2433-2436. https://www.researchgate.net/publication/330958818_Assessment_of_Noise_Pollution_Level_in_Different_Sites_of_Dehradun_City_Uttarakhand
- Paricahua Ito, W. (2019). *Niveles de presión sonora continua equivalente con ponderación A en el hospital Carlos Monge Medrano de la ciudad de Juliaca*. [Trabajo final de graduación]. Juliaca, Perú: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. http://www.repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/4772/T036_44500271_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maguiña, D. (2016). *Implementación de un centro de interpretación para la actividad ecoturística en el circuito de Lomas Vallecito Alto-Villa María del Triunfo*. [Tesis]. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.

<https://es.scribd.com/document/525509028/DOCUMENTO>

Poder Ejecutivo (14 de setiembre de 1979). Decreto N°10541. Reglamento de Control de Ruidos y Vibraciones.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=10349&nValor3=11071&strTipM=TC

Poder Ejecutivo (22 de abril de 1980). Decreto N°11492. Reglamento sobre Higiene Industrial.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=7097&nValor3=74164&strTipM=TC

Poder Ejecutivo (09 de agosto de 2005). Decreto N°32692. Procedimiento para la Medición del Ruido.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=55708&nValor3=61034&strTipM=TC

Poder Ejecutivo (23 de noviembre de 2015). Decreto N°39428-S. Reglamento para el Control de la Contaminación por Ruido.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=81011&nValor3=106087&strTipM=TC

Presidencia de la República de Costa Rica (15 de octubre de 2021). Comunicado de prensa: Horario de restricciones sanitarias.

<https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2021/10/horario-de-restriccion-vehicular-sanitaria-sera-de-10-p-m-a-5-a-m/>

Programa de Movilidad Urbana Sostenible para San José (PIMUS) (2017). *Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible para el área Metropolitana de San José, Costa Rica. Resumen ejecutivo*. San José: MINAE/MIVAH/Mideplan.

https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2018/09/PIMUS_INFORME-EJECUTIVO.pdf

Programa Estado de la Nación (PEN) (2019). *Informe Estado de la Nación*. San José:

CONARE/PEN. https://estadonacion.or.cr/wp-content/uploads/2019/11/informe_estado_nacion_2019.pdf

Programa Estado de la Nación (PEN) (2018). *Informe Estado de la Nación*. San José:

CONARE/PEN. <https://estadonacion.or.cr/wp-content/uploads/2019/07/Carpeta-de-Prensa-PEN-2018.pdf>

- Programa Estado de la Nación (PEN) (2017). *Informe Estado de la Nación*. San José: CONARE/PEN.
<http://www.asamblea.go.cr/sd/Documents/Estado%20de%20la%20Naci%C3%B3n%2017%20%20N%C2%B0%2023.pdf>
- Quesada Thompson, G. T. (2020). *Plan estratégico urbano sostenible para el corredor del tren Heredia-San José: Pautas de diseño para una estación intermodal en Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia*. [Tesis de maestría]. Universidad de Costa Rica.
<https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/82469>
- Quesada, J. y Xu-Ye, L. (2017). *Diagnóstico de la red vial cantonal en el distrito central de Heredia: Estimación del valor del patrimonio vial. Programa Infraestructura del Transporte (PITRA)*. San José: LANAMME-UCR.
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/967/LM-PI-GM-INF-11-17.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Recio, A., Linares, C., Banegas, J. y Díaz, J. (2016). Road traffic noise effects on cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms. *Environmental Research*, 146, 359-370.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935115301985?via%3Dihub>
- Rodríguez Argüello, P. K. (2010). *Historia del cantón de Heredia*. 1ª ed. San José: Editorial Izcandé.
https://www.heredia.go.cr/sites/default/files/libro_historia_del_canton_de_heredia.pdf
- Rodríguez, F. y Juárez, L. (2020). Exploración cualitativa sobre el ruido ambiental urbano en la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 35(3), 803-838.
<https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/1934/pdf>
- Roswall, N., Raaschou, O., Jensen, S., Tjønneland, A. y Sørensen, M. (2018). Long-term exposure to residential railway and road traffic noise and risk for diabetes in a Danish cohort. *Environmental Research*, 160, 292-297.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935117316547?via%3Dihub>
- Roswall, N., Raaschou, O., Ketzel, M., Gammelmark, A., Overvad, K., Olsen, A. y Sørensen, M. (2017). Long-term residential road traffic noise and NO₂ exposure in relation to risk of incident myocardial infarction – A Danish cohort study. *Environmental Research*, 156, 80-86.

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935117300634?via%3Dihub>
- Rothe Cordero, R. (2020). *Propuesta de un Sistema de Gestión de Pavimentos Flexibles a través de un Sistema de Información Geográfico para la Municipalidad de Heredia*. [Proyecto de máster]. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13225>
- Sancho Barceló, J. M. (2017). *Estudio en simulación de control activo de ruido acústico mediante algoritmos de control feed-forward (no-realimentado)*. [Trabajo final de grado]. Universidad Politécnica de Cataluña.
- https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107384/jose.maria.sancho_122865.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sakieh, Y., Jaafari, S., Ahmadi, M. y Danekar, A. (2017). Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24, 195-211.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866716305398?via%3Dihub>
- Sordello, R., De Lachapelle, F. F., Livoreil, B. y Vanpeene, S., (2019). Evidence of the environmental impact of noise pollution on biodiversity: a systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 8, 8.
- <https://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13750-019-0146-6>
- Śliwińska, M. y Zaborowski, K. (2017). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Permanent Hearing Loss and Tinnitus. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1139. <https://www.mdpi.com/1660-4601/14/10/1139>
- Sygná, K., Aasvang, G., Aamodt, G., Oftedal, B. y Krog, N. (2014). Road traffic noise, sleep and mental health. *Environmental Research*, 131, 17-24.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935114000371?via%3Dihub>
- Stansfeld, S. y Clark, C. (2019). Mental Health Effects of Noise. En: Nriagu, J. (ed.). *Encyclopedia of Environmental Health*, 2^a ed. Elsevier.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124095489118147?via%3Dihub>
- Sirin, O. (2016). State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter

- Pavements—Part 2: Factors Affecting Tire-Pavement Noise and Prediction Models. *Sustainability*, 8(7), 692. <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/7/692>
- Terzakis, M. E., Dohmen, M., van Kamp, I. & Hornikx, M. (2022). Noise Indicators Relating to Non-Auditory Health Effects in Children—A Systematic Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15633. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/23/15633>
- Tong, H., Aletta, F., Mitchell, A., Oberman, T. y Kang, J. (2021). Increases in noise complaints during the COVID-19 lockdown in Spring 2020: A case study in Greater London, UK. *Science of The Total Environment*, 785, 147213. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721022841?via%3Dihub>
- Torija, A., Chaitanya, P. y Li, Z. (2021). Psychoacoustic analysis of contra-rotating propeller noise for unmanned aerial vehicles. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 149(2), 835-846. <https://pubs.aip.org/asa/jasa/article-abstract/149/2/835/600937/Psychoacoustic-analysis-of-contra-rotating?redirectedFrom=fulltext>
- Tzivian, L., Winkler, A., Dlugaj, M., Schikowski, T., Vossoughi, M., Fuks, K., Weinmayr, G. y Hoffmann, B. (2015). Effect of long-term outdoor air pollution and noise on cognitive and psychological functions in adults. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 218(1), 1-11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1438463914000777?via%3Dihub>
- Tumavice, A., Laurinavicius, A., Jagniatiskis, A. y Vaitkus, A. (2016). Environmental noise mitigation measures for Lithuanian railway network. *Transportation Research Procedia*, 14, 2704-2713. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.448>
- Velásquez Castro, J. y Cruz Coria, E. (2018). *Antología de metodología de la investigación*. https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/icea/asignatura/turismo/2018/antologia_metodolog_2018.pdf
- Velilla, E., Moreno, G. y Escobar, C. A. (2005). Evaluación teórica de radiointerferencia y ruido audible en líneas de transmisión. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (33), 21-28. <https://www.redalyc.org/pdf/430/43003302.pdf>
- Verniere, J., Arnera, P. y Barbieri, M. (2002). Aspectos ambientales de campos eléctricos y magnéticos en líneas de alta tensión. *Congreso Internacional de Distribución Eléctrica*

CIDEL Argentina 2002. Buenos Aires.

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/36777/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vienneau, D., Schindler, C., Pérez, L., Probst, N. y Rössli, M. (2015). The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis.

Environmental Research, 138, 372-380.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935115000572?via%3Dihub>

Xu, C., Yiwen, Z., Cheng, B., Li, L. y Zhang, M. (2020). Study on environmental Kuznets Curve for noise pollution: A case of 111 Chinese cities. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102493.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720307137?via%3Dihub>

Yang, W., He, J., He, C. y Cai, M. (2020). Evaluation of urban traffic noise pollution based on noise maps. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102516.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920920307033?via%3Dihub>

Yuan, M., Yin, C., Sun, Y. y Chen, W. (2019). Examining the associations between urban built environment and noise pollution in high-density high-rise urban areas: A case study in Wuhan, China. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101678.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718322534?via%3Dihub>

Yuan, M., Wang, J., Wang, Y. y Shao, S. (2021). Study on Noise Reduction with Paving Different Low Noise Pavement Materials. *Applied Sciences*, 11(21), 10273.

<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/21/10273>

Yu, Y., Paul, K., Arah, O., Mayeda, E., Wu, J., Lee, E., Shih, I., Su, J., Jerrett, M., Haan, M. y Ritz, B. (2020). Air pollution, noise exposure, and metabolic syndrome – A cohort study in elderly Mexican-Americans in the Sacramento area. *Environment International*, 134, 105269.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019317696?via%3Dihub>

Zafra, J. (2018). *Ingeniería de sonido. Conceptos, fundamentos y casos prácticos*. 1ª ed. Madrid: RA-MA.

https://books.google.co.cr/books?id=vo6fDwAAQBAJ&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Zamorano, B., Velázquez, Y., Peña, F., Ruiz, L., Monreal, S., Parra, V. y Vargas, J. (2019).

Exposición al ruido por tráfico vehicular y su impacto sobre la calidad del sueño y el rendimiento en habitantes de zonas urbanas. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 34(3), 601-629.

<https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/1743/pdf>

Zúñiga, J. C. (2021). *Anuario de información de tránsito 2020*. San José: MOPT.


<https://es.scribd.com/document/576827569/Anu-a-Rio-Transito-2020>



Zúñiga, J. C. (2022). *Anuario de información de tránsito 2021*. San José: MOPT.



9. ANEXOS



Anexo 1.


Hoja de campo para la ubicación exacta del punto de medición y la descripción física del sitio de estudio



Evaluador(a):	Melissa Solórzano Araya y Valeria Leitón Álvarez.			
Fecha:	22/9/2021	Lugar: Heredia, Heredia, Costa Rica.		
Punto de medición	Coordenadas geográficas	Descripción física del sitio	Identificación de fuentes de emisión	Observaciones
Poste 1 (Bienestar Estudiantil UNA)	9.9982202 -84.1124141	Poste pintado con colores azules, paralelo a la entrada del parqueo de Estudios Generales de la UNA	Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo actividades culturales y festivas Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual	



<p>Poste 2 (frente a comercio Bambú Chinese Food)</p>	<p>9.9967908 -84.1126880</p>	<p>Poste pintado con colores verdes</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	
<p>Poste 3 (macrobiótica)</p>	<p>9.9969952 -84.1148951</p>	<p>Poste pintado con color blanco</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo actividades culturales y festivas Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	



<p>Poste 4 (funeraria)</p>	<p>9.9986319 -84.1147875</p>	<p>Poste pintado con color gris</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	
<p>Poste 5 (ICE)</p>	<p>9.9994666 -84.1147704</p>	<p>Poste pintado con color gris</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo otras fuentes</p>	


			Clasificación: fuente lineal y puntual	
Poste 6 (avenida 3, comercio Valkiria)	10.0004443 -84.1167157	Poste pintado con color gris claro	Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual	
Poste 7 (Fortín)	9.9991797 -84.1167096	Poste pintado con color gris claro y con lámpara	Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales	



			<p>Tipo actividades culturales y festivas</p> <p>Tipo otras fuentes</p> <p>Clasificación: fuente lineal, puntual y de área</p>	
<p>Poste 8 (Almacén Gollo)</p>	<p>9.99961502 -84.1166925</p>	<p>Poste pintado con colores verdes y con lámpara</p>	<p>Tipo flujo vehicular</p> <p>Tipo actividades comerciales</p> <p>Tipo otras fuentes</p> <p>Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	



<p>Poste 9 (vías del tren)</p>	<p>9.9948083 -84.1184137</p>	<p>Poste pintado con color gris claro</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo líneas del tren Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	
<p>Poste 10 (cementerio)</p>	<p>9.9931614 -84.1185825</p>	<p>Poste pintado con color gris claro</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo actividades culturales y festivas Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	


<p>Poste 11 (Mercado)</p>	<p>9.9959878 -84.1184038</p>	<p>Poste pintado con color gris</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo actividades culturales y festivas Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal, puntual y de área</p>	
<p>Poste 12 (Comercio Diamante)</p>	<p>9.9973465 -84.1184960</p>	<p>Poste pintado con color gris y con lámpara</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo actividades culturales y festivas Tipo otras fuentes</p>	

			Clasificación: fuente lineal y puntual	
Poste 13 (buses de Mercedes Norte)	9.9996423 -84.1184249	Poste pintado con color gris claro y con lámpara	Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual	
Poste 14 (condominios Villa Vieja)	9.9992144 -84.1206049	Poste pintado con color gris claro	Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo otras fuentes	

			Clasificación: fuente lineal y puntual	
Poste 15 (Universidad IUSIL)	9.9976130 -84.1217026	Poste pintado con color gris	Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo actividades culturales y festivas Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual	

<p>Poste 16 (frente a Audi)</p>	<p>9.9950742 -84.1211407</p>	<p>Poste pintado con color gris oscuro</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo líneas del tren Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	
<p>Poste 17 (ESPH)</p>	<p>9.9932519 -84.1210873</p>	<p>Poste pintado con color gris claro y con lámpara</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	

<p>Poste 18 (Frente a Gyne Center)</p>	<p>9.9928035 -84.1227030</p>	<p>Poste pintado con color gris claro</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo actividades culturales y festivas Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	
<p>Poste 19 (iglesia)</p>	<p>9.9943762 -84.1228663</p>	<p>Poste pintado con color gris claro y con lámpara</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal y puntual</p>	

<p>Poste 20 (Palacio de los Deportes)</p>	<p>9.9985236 -84.1225535</p>	<p>Poste pintado con color amarillo y estrellas rojas</p>	<p>Tipo flujo vehicular Tipo actividades comerciales Tipo actividades culturales y festivas Tipo otras fuentes Clasificación: fuente lineal, puntual y de área</p>	
---	----------------------------------	---	--	---

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2.

Hoja de cálculo de ruido ambiental y ruido de fondo

Información general							
Fecha de muestreo:		Persona(s) evaluadora(s):					
Propósito de la medición:		Lugar:					
Punto de medición:		Ubicación:		Longitud:		Latitud:	
Instrumento de medición:		Modelo:		Serie:		Clase:	

Mes	Día	Placas	Restricción horaria
Octubre 2020	Lunes	1 y 2	Desde el sábado 16 y hasta el 31 de octubre 2020, la restricción vehicular sanitaria fue de 10 p.m. a 5 a.m., de lunes a domingo, en todo el país. Se mantiene el mismo horario para los establecimientos con permiso sanitario de funcionamiento de atención al público. La restricción vehicular se manejó con terminación de placas y, en el caso de fines de semana, con números pares e impares.
	Martes	3 y 4	
	Miércoles	5 y 6	
	Jueves	7 y 8	
	Viernes	9 y 0	
	Fines de semana	50/50 por placas pares e impares	
Noviembre 2020	Lunes	1 y 2	Durante todo el mes de noviembre 2020 se tuvo una restricción vehicular sanitaria entre las 5:00 a.m. y las 11 p.m. (ampliando 1 hora la restricción nocturna). Cabe destacar que la restricción diurna solo se aplicaba entre semana y la restricción nocturna todos los días, iniciando una apertura responsable y gradual. Se elimina la restricción vehicular diurna los fines de semana desde el 01 de noviembre 2020. Se mantiene el mismo horario para los establecimientos con permiso sanitario de funcionamiento de atención al público. La restricción de placas aplica solamente en el anillo de circunvalación de San José.
	Martes	3 y 4	
	Miércoles	5 y 6	
	Jueves	7 y 8	
	Viernes	9 y 0	
	Fines de semana	Sin restricción diurna	
Diciembre 2020	Lunes	1 y 2	Del 01 al 20 de diciembre 2020, la restricción vehicular mantuvo las condiciones de noviembre 2020. Hubo un cambio del 20 al 31 de diciembre 2020: una restricción vehicular sanitaria diurna, por placa entre semana, que solamente aplicaba en el centro de San José hasta el anillo de circunvalación inclusive. Una restricción total, para todo
	Martes	3 y 4	
	Miércoles	5 y 6	
	Jueves	7 y 8	
	Viernes	9 y 0	

	Fines de semana	Sin restricción diurna	el país, en todas las vías, entre las 12:00 m.n. y las 5:00 a.m. La noche del 24 de diciembre (a amanecer 25 de diciembre) y la noche del 31 de diciembre (a amanecer 1° de enero 2021) no se aplicó ninguna restricción.
Enero 2021	Lunes	1 y 2	La restricción vehicular sanitaria del 01 al 15 de enero 2022 tuvo un horario de circulación de 5:00 a.m. a 12:00 m.n. para todo el país en todas las vías de lunes a domingo. Se aplicó una restricción por placas exceptuando fines de semana; dicha restricción regía solamente en el centro de San José hasta el anillo de circunvalación inclusive. La restricción diurna no aplica fines de semana. Se mantiene el mismo horario para los establecimientos con permiso sanitario de funcionamiento de atención al público.
	Martes	3 y 4	
	Miércoles	5 y 6	
	Jueves	7 y 8	
	Viernes	9 y 0	
	Fines de semana	Sin restricción diurna	

Fuente: Elaboración propia con datos de la Presidencia de la República de Costa Rica (2021).

Anexo 4.

Distribución de las mediciones para los puntos de muestreo de ruido total con las estaciones de monitoreo de ruido, en el periodo del 2021-2022, Heredia, Costa Rica

Actividad	Responsables	Semana	Descripción de la actividad	Puntos
1	Estudiantes	20/9/2021 al 24/09/2021	Descripción física del sitio de estudio	N.A.
2	Municipalidad, PROCAME, ESPH y estudiantes	27/09/2021 al 01/10/2021	Coordinación con tutora, municipalidad y ESPH para iniciar con la colocación de los equipos	N.A.
3	Municipalidad, PROCAME, ESPH y estudiantes	14/10/2021 al 29/10/2021	Colocación de equipos y medición de ruido	P01, P02, P03, P04 y P05
4	Municipalidad, PROCAME, ESPH y estudiantes	29/10/2021 al 15/11/2021	Medición y rotación de los equipos	P06, P07, P08, P09 y P10
5	Municipalidad, PROCAME, ESPH y estudiantes	15/11/2021 al 25/11/2021	Medición y rotación de los equipos	P11, P12, P13, P14 y P15
6	Municipalidad, PROCAME, ESPH y estudiantes	25/11/2021 al 13/12/2021	Medición y rotación de los equipos	P16, P17, P18, P19 y P20

7	Municipalidad, PROCAME, ESPH y estudiantes	13/12/2021 al 22/12/2021	Medición y rotación de los equipos	P01, P02, P03, P04 y P05
8	Municipalidad, PROCAME, ESPH y estudiantes	22/12/2021 al 06/01/2022	Medición y rotación de los equipos	P06, P07, P08, P09 y P10
9	Municipalidad, PROCAME, ESPH y estudiantes	06/01/2022 al 20/01/2022	Medición y rotación de los equipos	P11, P12, P13, P14 y P15
10	Municipalidad, PROCAME, ESPH y estudiantes	20/01/2022	Levantamiento de los equipos	N.A.

Fuente: Elaboración propia.