

Evaluación del impacto sonoro del tren urbano y sus implicaciones sociales: análisis del tramo San José – Tres Ríos

Evaluation of the sound impact of the urban train and its social implications: analysis of the San José – Tres Ríos section

Nidia Cruz-Zúñiga¹, Allan Rojas-Ramírez²

Fecha de recepción: 16 de enero, 2023
Fecha de aprobación: 17 de mayo, 2023

Cruz-Zúñiga, N; Rojas-Ramírez, A. Evaluación del impacto sonoro del tren urbano y sus implicaciones sociales: análisis del tramo San José – Tres Ríos. *Tecnología en Marcha*. Vol. 37, N° 1. Enero-Marzo, 2024. Pág. 77-87.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v37i1.6559>

- 1 Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: nidia.cruz@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-4416-0626>
- 2 Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: allan.rojasramirez@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-4317-3871>

Palabras clave

Impacto sonoro; mapas de ruido; transporte urbano de pasajeros; tren; zonificación urbana.

Resumen

El impacto sonoro del tren urbano de pasajeros es un fenómeno poco estudiado en el país y en América Latina. En el caso particular de Costa Rica, el tren fue reactivado sin considerar aspectos como el desarrollo del uso del suelo en los alrededores, por lo que existe una potencial afectación a la población que durante años vivió al lado de líneas férreas inactivas. La metodología seguida combinó mediciones de campo en puntos clave para cada estación estudiada, el uso de sistemas de información geográfica y sondeos de opiniones de las poblaciones implicadas mediante encuestas a personas usuarias, vecinas y comerciantes en el área de influencia directa (AID). Los resultados evidencian que los niveles de contaminación sónica producidos en el evento de llegada y salida del tren en las estaciones del ramal San José – Tres Ríos sobrepasan los permitidos por ley en al menos un 10% del tiempo. Además, al entrelazar los datos de campo con el estudio de percepción se cuantificó el efecto sensorial del ruido. Los principales hallazgos evidencian que en general todas las poblaciones sienten un impacto sonoro significativo que altera su calidad de vida y la calidad del servicio; que las personas que viven o trabajan en puntos más cercanos a las estaciones han sentido una disminución de la calidad acústica y que propiciar un cambio en la planificación orientada a este medio de transporte puede ser una solución al problema.

Keywords

Sound impact; noise maps; urban passenger transport; train; urban zoning.

Abstract

The sound impact of the urban passenger train is a phenomenon little studied in the country and in Latin America. In the particular case of Costa Rica, the train was reactivated without considering aspects such as the development of land use in the surroundings, so there is a potential impact on the population that for years lived next to inactive railway lines. The methodology followed combined field measurements at key locations for each station studied, geographic information systems, and opinions of the populations involved through surveys applied to users, neighbors, and merchants in the area of direct influence (ADI). The results show that the levels of noise pollution produced in the event of arrival and departure of the train in the stations of the San José - Tres Ríos branch exceed those allowed by law in at least 10% of the time. In addition, by intertwining the field data with the perception study, the sensory effect of noise was quantified. The main findings show that in general all populations feel a significant sound impact that affects their quality of life and the quality of service; that the people who live or work in points closer to the stations have felt a decrease in the acoustic environmental quality and that promoting a change in planning oriented towards this means of transport can be a solution to the problem.

Introducción

Los sistemas de transportes son indispensables para la movilidad de las personas, en particular los trenes, pero muchas veces se piensa que estos tienen solo ventajas positivas, pues el grueso de la población ve sus beneficios, pero existe literatura que habla de los efectos colaterales que producen, en especial para aquellas personas que viven en sus inmediaciones [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]. El principal objetivo del presente artículo es explicitar los impactos sonoros

que genera el tren urbano de pasajeros en Costa Rica, mediante un estudio de caso para el ramal San José – Tres Ríos. La metodología de abordaje es exploratoria, complementando las mediciones de campo con modelos teóricos y un estudio de las percepciones de las poblaciones cercanas al tren, esto último mediante un abordaje cuantitativo con un instrumento de consulta directa tipo encuesta. La innovación principal radica justamente en ese análisis de percepciones, pues no se encontraron referencias de estudios similares en el país.

La contaminación sónica o acústica se define como la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, excesivas o molestas, que provocan incomodidad para el desarrollo de las actividades cotidianas o incluso daños en la salud a las personas cercanas [8]. El ruido, en todo tipo de actividades, representa un peligro y realmente no se ha valorado en su real dimensión. Poco se ha visto que las partes interesadas hayan determinado la urgencia de manejar programas de control del ruido; en la literatura es más común encontrar estudios de la influencia del ruido en la productividad o en espacios industrializados que en sistemas de transporte. El fenómeno del ruido es conocido por generar efectos negativos en las personas en sus actividades diarias [6]. Los altos niveles de ruido pueden generar efectos adversos auditivos y extra-auditivos [1] y ambos pueden ser muy dañinos para la salud comunitaria.

La predicción de la exposición al ruido permite cuantificar su afectación, para así tomar acciones para plantear soluciones reductoras del efecto negativo en las comunidades [5]. Específicamente en Estados Unidos han detectado efectos negativos sobre la salud asociados a cómo está organizado el sistema de transporte en diferentes ciudades; y cómo el ruido de este repercute directamente en la calidad de vida de las personas [4]. La bocina y la vibración que genera el tren al pasar por las vías férreas son las principales fuentes de generación de contaminación acústica, afectando severamente la población alrededor de las vías por donde transita el tren [1]. Las personas que viven en áreas cercanas a líneas ferroviarias son las que normalmente presentan problemas directos con respecto al ruido que se genera. Si bien el uso de trenes permite solucionar problemas de congestión y contaminación, presentan la desventaja de que genera bastante ruido y vibraciones. No obstante, en los últimos años se ha utilizado nuevas tecnologías para disminuir estos efectos [6]. El ruido se considera como un problema sanitario relevante, dado que la contaminación sónica es una de las más fáciles de producir. Estudios han demostrado que al exponerse a 50 - 60 decibeles se puede observar efectos vegetativos como la modificación del ritmo cardíaco; entre los 95 y 105 decibeles pueden existir espasmos o dilataciones de los vasos sanguíneos, alteraciones en la coordinación del sistema nervioso central, trastornos del sueño, estrés, entre otros [1], [9]. El ruido de los medios de transporte está entre los cuatro factores ambientales con mayor impacto en la salud [7], este nivel de contaminación puede atentar contra la salud emocional en las personas dado los altos niveles de estrés que provoca, de manera que la contaminación auditiva se vuelve un problema psico social para el ser humano. Según Clausen [3] “el ruido ferroviario afecta aproximadamente doce millones de personas durante el día y a nueve millones de personas durante la noche”.

Antecedentes del sistema de tren urbano en Costa Rica

No se ha encontrado, hasta el momento, en la literatura referencias que analicen las implicaciones que ha tenido evolución del tren urbano de pasajeros en el país. La realidad de su génesis (una vía férrea que era para transporte de carga muchas décadas atrás) hace que sea complejo de analizar los potenciales impactos. Dentro de las paradojas a analizar está el hecho de cómo se adaptó una demanda de transporte masivo al escenario de conflicto vial en el área metropolitana, con un sistema poco articulado y centrado en los vehículos privados.

Retomando los orígenes, en 1995, se ordenó el cierre del Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER), sustentado la decisión en el déficit presupuestario; ser un sistema anticuado, y que solo lo utilizaba un 3% de los costarricenses [10]. En 2005, por una crisis petrolera, el gobierno

de turno decidió reactivarlo para disponer del transporte de personas entre Pavas y Montes de Oca. Cinco años más tarde el servicio se extendió a Heredia, posteriormente, en 2011 conectó Belén con la capital y finalmente, en el 2014 a Cartago [10].

La presente investigación surgió de la inquietud de visibilizar cuáles son los impactos tras la reactivación del tren. En este sentido se trabajó con las personas que viven o tienen sus negocios en las inmediaciones, que pueden recibir sus impactos sin necesariamente sentir los posibles beneficios, y que vivieron el cambio en el entorno.

Materiales y métodos

Los resultados del presente artículo son parte de un proyecto de acción social más amplio, y presentan una de las aristas que consistió en realizar una evaluación del impacto sonoro del tren en la ruta del ramal San José – Tres Ríos, tocando parte de los cantones de Montes de Oca, Curridabat, La Unión.

El abordaje corresponde a un estudio exploratorio, que engrana la investigación desde dos líneas; una primera con mediciones directas de campo que permitiera tener datos concretos del impacto sonoro real en los alrededores de las estaciones del tren en estudio y una segunda, en paralelo y complementaria, el levantamiento de información de las percepciones de las diferentes poblaciones que interactúan con el tren, a saber: usuarios, vecinos y comerciantes. Si bien este esfuerzo no pretende subsanar toda el faltante de conocimiento sobre los impactos del servicio del tren en Costa Rica, representa un avance importante en la temática. El estudio de percepciones corresponde a un análisis cuantitativo y descriptivo de los datos obtenidos por medio de cuestionarios de carácter cerrado. Se realizó una tabla de operacionalización de las dimensiones de análisis claves, con el fin de fundamentar la estructura de cada uno de los tres distintos cuestionarios aplicados. Los cuestionarios indagaron datos adicionales más allá del impacto sonoro, aunque para el presente escrito se presentan solo los resultados relacionados con el tema abordado.

La metodología trató de acercarse a lo recomendado en la literatura, [11] que utiliza como herramienta de síntesis de esta información mapas de ruido, realizando un inventario de fuentes sonoras generadoras de molestias, identificando actividades con mayores índices de protestas por ruido y lo combina con encuestas a la población acerca. Los mapas de ruido son una herramienta que permite mapear el estado de contaminación acústica en una zona determinada. Esta herramienta tiene como objetivo la evaluación global de la exposición acústica, donde se establecen áreas críticas y se compara según el uso predominante del suelo.

Específicamente el abordaje en este caso contempla mediciones de campo del evento que genera el mayor impacto sonoro del proceso de movilización del tren, el cual se definió como la llegada y salida del tren a cada una de las estaciones. Esto debido a que, luego de una fase de observación de campo y de viajes de recorrido exploratorio en la línea en la que se realizó la investigación, se pudo determinar que estos eventos en la estación eran los que rompían la monotonía del trayecto y los que generaban mayores niveles de ruido. Como parte del proceso de definición metodología se realizaron levantamientos descriptivos de cada una de las estaciones a considerar, tomando en cuenta tipo y ubicación de los andenes, ubicación espacial de la línea con la demás infraestructura urbana existente y puntos de entrada y movilización de las personas dentro de cada estación en particular. Este primer material fue ordenado y procesado mediante sistemas de información geográfica para generar los mapas de trabajo en los que se definieron los puntos de medición como se explica a continuación.

Levantamiento y procesamiento de la información geoespacial

Considerando que la teoría de atenuación de ruido indica que el principal factor de atenuación es la distancia, se consideró esta como el punto de partida para definir el levantamiento de campo, para lo cual se definió un Área de Influencia Directa (AID) de 200 m a la redonda.

Dado que el ruido ambiental varía con el tiempo, normalmente su medición se realiza durante períodos de exposición específicos. Cuando se trata de eventos de ruido específicos como en este caso, la literatura recomienda que estos se midan únicamente durante su duración [12]. En este caso, las mediciones se realizaron con sonómetros digitales, utilizando la unidad de decibeles (dB), con la ponderación de frecuencia A, y la coordinación simultánea se realizó con comunicación celular entre los equipos que se encontraban en cada radial. Los equipos de medición eran de dos personas por punto de medición. La medición del evento iniciaba cuando se tenía la primera percepción de que se aproximaba el tren, la toma de datos fue cada 5 segundos, hasta el momento en que el tren ya se alejaba lo suficiente de la estación como para no percibir un aporte significativo de su sonido. Se montaron equipos de medición por evento, colocados para medición simultánea en tres distancias a saber: directamente en la estación, aproximadamente a 100 metros de distancia de la estación y luego a 200 metros de distancia. Para cada estación se definieron 4 ejes de medición, dos sobre la línea del tren propiamente y dos perpendiculares, lo más aproximado posible pero siempre medidos sobre la vía pública. El medidor de ruido se colocó a 1,5 m por encima nivel del suelo, las lecturas se tomaron en días sin lluvia ni niebla. Se anotó en las bitácoras de registro cuando había fuentes sonoras externas fuertes.

Las mediciones se realizaron durante al menos 3 días diferentes en cada uno de los horarios disponibles, para cada una de las estaciones en estudio, iniciando con los primeros trenes de las 6 de la mañana y finalizando con los trenes de las 6:30 de la tarde. Se debe considerar que en el ramal en estudio se tienen solo dos franjas horarias, la de la mañana de 6:00 a.m. a 8:50 a.m. y la de la tarde - noche de 3:00 p.m. a 8:30 p.m. Se excluyeron los horarios nocturnos por una situación de seguridad de las personas que realizaban las mediciones y por el peligro que aporta la oscuridad al estar cerca de recorrido del tren.

Se recomienda que para las mediciones sonoras se considere que el tiempo de medición sea de al menos una (1) hora; también indica que lo recomendable es realizar las mediciones de forma continua o con intervalos no menores a 15 minutos; se agrega que, para capturar la información necesaria, se deben realizar como mínimo 3 mediciones de 5 minutos cada una, para que los resultados sean representativos [13]. Estas recomendaciones fueron seguidas para definir las pautas de medición sonora y se cumplieron a cabalidad.

Posteriormente, con cada serie de datos del evento de llegada y salida del tren a la estación se realizaron estadísticas generales que permitieron evaluar los niveles sonoros reportados en campo. Para el análisis se acomodaron los datos por percentiles y se determinó el percentil 10 (nivel sonoro que se sobrepasa el 10% del tiempo, correspondiente a los niveles máximos registrados), el percentil 50 (nivel sonoro que se sobrepasa el 50% del tiempo, que puede considerarse como una media) y el 90 (nivel sonoro que se sobrepasa el 90% del tiempo, compatible prácticamente con el ruido ambiente de cada estación).

Con base en los datos encontrados se procedió a realizar una comparación con los niveles de sonido permitidos para las diferentes zonificaciones establecidas en el reglamento de Control de la Contaminación por Ruido (N° 39428-S). Para luego proceder a montar la información en un modelo gráfico (mapa de ruido) que permitió visualizar la distribución espacial del sonido asociada al evento de llegada – partida del tren urbano a cada estación. Los mapas de ruido o mapas sonoros son una técnica cartográfica que permite conocer las condiciones sonoras de una zona producto de un evento sónico particular; se trata de un sistema espacial donde tres

variables se ponen en relación: las dos dimensiones ortogonales que definen el plano y, los fenómenos representados, que aparecen como manchas que en este caso representan zonas con la misma intensidad de exposición sonora [14].

Determinación de tamaños de muestra para el estudio de percepciones

Para la selección de la muestra de usuarios se tomó como dato el número de pasajeros reportado por el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) [15], en el cual se contabiliza un total de 980 585 pasajeros al año 2019 para la línea en estudio. Con este dato, bajo un margen de error del 5%, y el 95% de confianza, se determina que la muestra representativa debe contar con un mínimo de 385 cuestionarios. La elección de los pasajeros a encuestar se hizo al azar en las estaciones de interés y se manejaron tres dimensiones de análisis: el perfil sociodemográfico, el perfil del usuario y la percepción de los usuarios.

Con el fin de concretar el tamaño de las otras dos muestras utilizó el catastro del área de influencia directa (AID) de 200 m a la redonda de cada una de las estaciones de tren. Con respecto a las poblaciones residentes, no se cuenta con datos concretos de la población total que habitaba en ese momento en el AID, en especial porque la población estudiantil que vive en las cercanías de las estaciones ligadas a alguna universidad cambia frecuentemente, por ende, en este caso se decidió tratar de alcanzar la mayor cantidad de encuestas posibles. Finalmente, para el caso de la consulta a locales comerciales, la consulta se realizó al encargado o dependiente principal que se encontrara en cada local en ese momento, tratando de que se lograra tener un censo de dicha población. Como material de apoyo se contó con el catastro de las áreas en estudio y se complementó con un levantamiento actualizado de usos del suelo detallado durante el mismo período del estudio. Se debe considerar que el sondeo de poblaciones se vio interrumpido por los protocolos del COVID 19 de la Universidad de Costa Rica, por lo que la muestra se tomó en dos años diferentes. Finalmente, la composición de las muestras alcanzada se evidencia en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tamaño de muestras alcanzados.

Año de sondeo	Cantidad de personas encuestadas		
	Residentes	Comerciantes	Usuarías
2019 – 2020	68	164	382
2022	168	72	120
TOTAL	236	236	502

Nota: de abril de 2020 a dic 2021, la UCR no permitió el trabajo de campo en contacto con personas.

El instrumento de consulta fue elaborado por los autores del presente artículo, y luego fue validado en la Estación del Atlántico, en el mes previo del inicio de la toma de datos.

Análisis espacial y de uso del suelo

Como parte de las investigaciones se generaron levantamientos exhaustivos de uso del suelo, donde se determinó la ocupación actual (2019 – 2020) de cada predio en el AID, y se clasificaron por tipo (residencial, comercial, baldío, institucional, mixto). En esta parte del estudio los levantamientos se hicieron entre otros motivos, para determinar zonas sensibles al impacto sonoro, por ejemplo, porque tenían predominancia de residencias, y centrar los esfuerzos en sondear a las personas que habitaban allí.

Posteriormente, para el análisis de los resultados se tomaron todos los insumos espaciales y se definieron los mapas de ruido, con el fin de ver si las zonas preliminarmente detectadas como sensibles estaban recibiendo un impacto significativo por el ruido generado. A las curvas extrapoladas por los SIG y que tienen igual nivel sonoro se les llamó isonoras, pues permiten tener un modelo espacial de descripción del evento que genera el impacto de forma más clara y en la interfaz gráfica, por lo que fácilmente se puede comparar con la normativa existente y reflejar zonas de potencial incumplimiento o puntos donde se puede estar generando mayor inconformidad. Según se indica la teoría, para control, la evaluación y medición del ruido se delimita mediante el uso de herramientas como estos mapas de ruido y sus respectivas derivaciones, además de bases de datos espaciales [15]; por ello la presente investigación toma como principal forma para presentar los resultados obtenidos este tipo de representaciones gráficas, atreviéndose a hacerlo para un evento que no es puntual, ya que la fuente del sonido se mueve en una línea hacia y desde el punto de interés.

Resultados

Niveles de exposición sonora medidos en campo

El impacto sonoro del tren resulta ser un reto de evaluación ambiental en el país, pues no se han realizado estudios específicos y tampoco existe una legislación específica para el tema. Los resultados de la presente investigación evidenciaron como realmente en los alrededores de las estaciones del tren (troncal San José – Tres Ríos) existe un grado elevado de exposición sonora, atenuado en alguna medida por la densidad de estructuras que existen en algunos sitios, como por ejemplo en el caso de la estación CFIA, donde las mediciones de campo a los 200 metros de distancia de la estación, y en los puntos situados entre las estructuras residenciales, reflejaron patrones de atenuación importantes (del rango de entre 10 a 15 dB menos que en la misma distancia medida en espacios abiertos).

En el material complementario se pueden visualizar algunos de los mapas de ruido generados con el apoyo del estudiantado del Trabajo Comunitario de la UCR (TC-727), accesible en: (https://drive.google.com/drive/folders/1G7sFwrqZbuDX3lap2QBq5DQJkZuyQLI4?usp=share_link). El modelo clásico de atenuación del sonido indica que la percepción del receptor varía, no solo por la distancia al punto de origen del ruido, sino por la existencia de barreras. En este sentido, las mediciones de campo evidenciaron que las estructuras urbanas robustas (edificaciones residenciales o comerciales) pueden ser una barrera importante para atenuar el impacto sonoro. Es ahí donde procesos de planificación urbana que busquen que las estructuras más cercanas a las estaciones tengan usos más tolerantes del ruido, es una muy buena estrategia de mitigación de los impactos, más cuando no se tienen recursos para la construcción de otro tipo de medidas ambientales como la colocación de pantallas acústicas. Así, la planificación efectiva del transporte tradicionalmente ha ayudado a mejorar la salud pública [4].

En el cuadro 2 se muestran los principales percentiles detectados por estación, considerando los valores medidos en el punto A que corresponde a la ubicación directa en el andén:

Cuadro 2. Niveles sonoros promedio identificados en las estaciones en estudio.

Percentil	Estación UCR	Estación U Latina	Estación CFIA	Estación Tres Ríos
L 90 (ambiente)	50 dB	55 dB	42 dB	50 dB
L 50 (media)	55 dB	70 dB	45 dB	70 dB
L 10 (máximos)	75 dB	80 dB	65 dB	80 dB

Se evidenció, de manera sistemática en todas las estaciones analizadas en campo, que en los momentos en que el tren va a salir de la estación o que requiere realizar el cruce de una vía transitada, el uso de la pitoreta es el momento más crítico registrado para el evento en estudio (alcanzando registros de hasta 110 dB). También se pudo evidenciar que el uso de dispositivos para detener el tránsito en las inmediaciones de las estaciones contribuye a disminuir el uso de las pitoretas, lo que a la vez ayuda a reducir el impacto sonoro.

Finalmente, se evidenció que otras fuentes de ruido pueden estar alterando la dinámica de contaminación sónica de un lugar. Según [5] cuando se realizan las mediciones de ruido es importante definir el ruido residual que se pueden generar por otras fuentes (principalmente el ruido de las carreteras). También es importante definir los momentos ideales para realizar estas mediciones dado que pueden ser afectadas por diferentes variables. Los mapas de ruido también reflejaron este comportamiento; por ejemplo, en la estación UCR, donde el ruido de circunvalación representa mayores niveles sonoros que el tren.

Análisis de percepciones de usuarios

El análisis de percepciones expuesto en este artículo permitió medir indirectamente los impactos sensoriales que el evento de llegada y salida del tren generan en las personas. Se debe considerar que la contaminación acústica genera consecuencias a largo plazo que las personas pueden no tener tan conscientemente mapeadas. El reto en este sentido fue definir un método de valoración de dichas percepciones que aportara información significativa, y que complementara las mediciones directas de campo.

De la población usuaria encuestada en las estaciones de estudio, se determinó que el 42% usan el tren para ir a estudiar, y 43% para ir al trabajo; ambas son actividades en general muy repetitivas, lo que concuerda con que el 45% lo usan todos los días. La gran mayoría de las personas usuarias camina para llegar al tren (52%), el segundo lugar lo ocupan las que llegan en autobús (31%), en general estas dos poblaciones califican predominantemente como mala la facilidad de conexión del tren con otros medios. Entre los resultados obtenidos de los sondeos realizados la población usuaria se logró evidenciar que el 56 % de las personas usuarias entrevistadas en 2019 indicaban que se percibía mucho ruido, contra solo el 25,5% en las encuestadas en 2022; si concuerda la mayor parte de la población total en que esto afecta la calidad del servicio que reciben y les genera molestias (94 %). Se mostró, al 95% de confianza, que no hay dependencia entre el género de la persona y la percepción de ruido. Al respecto, se menciona en la literatura que a nivel mundial se estima que un tercio de la población padece algún grado de sordera o pérdida auditiva dado a la exposición a sonidos de alta intensidad, lo que causa enfermedades físicas progresivas, es decir mientras más expuesta se encuentren las personas a estas condiciones de contaminación acústica de forma constante son peores las consecuencias de salud [16]. En este sentido quedaría para un segundo abordaje estudiar el impacto sonoro por el uso diario del tren o en sus trabajadores.

Percepciones de la población en el área de influencia directa

Al analizar la percepción de las poblaciones que están en el AID, se pudo evidenciar cómo perciben el tren de forma diferente, pero que en general todas perciben su impacto sonoro.

Entre la población que habita en el AID para el impacto sonoro se obtuvieron resultados congruentes, pues las estaciones que reportan más afectación por ruido son las que se encuentran en usos de suelo predominantemente residencial (CFIA y Tres Ríos). Los datos totales indican que el 37 % de la población siente un alto impacto sonoro y la mayoría de estas personas se ubican en las viviendas que están en los primeros 100 metros de radio de influencia; esa percepción del impacto disminuye levemente para las residencias encuestadas entre los 100 y 200 metros. Al evaluar la interrelación entre el nivel de afectación por ruido según la estación, se encuentra que las variables son dependientes, al 95% de confianza.

Adicionalmente, se sondeó entre los vecinos la importancia de otros impactos del tren, con lo que se encontró que el impacto sonoro es el más relevante, pues en general reportan poca o muy poca afectación por congestión vial o por la cantidad de personas ajenas, entre otros.

El comportamiento es algo diferente para el caso de las personas comerciantes que se evaluaron en la muestra. En esta población el 85% indicaron percibir poco o muy poco la afectación del impacto sonoro e indicaron percibir muy poca variación en comparación con la situación antes de la reactivación del tren. Esto concuerda con la teoría que indica que usos de suelo menos sensibles al ruido pueden adaptarse mejor a estar en las inmediaciones del tren. Adicionalmente, se les consultó si con el tren habían percibido alguna otra variación en el comportamiento de sus negocios, y en general reportaron muy baja variación en la variedad y cantidad de clientes o en la cantidad de ventas, tampoco sienten que la dinámica del tren haya atraído problemas como parqueo informal o seguridad en sus locales; por lo que el impacto más significativo lo representa el ruido generado. Al analizar el grado de independencia, se obtiene que no hay dependencia entre el nivel de afectación de ruido y la estación en estudio para el caso de los comercios, al 95 % de confianza; se necesitaría indagar más a fondo si esto se debe a que las personas comerciantes se suelen acostumbrar más al ruido del tren o están más expuestas a otras fuentes de sonido.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados evidenciaron la importancia de contemplar los patrones urbanos que se van a propiciar en las zonas de influencia del tren urbano, no solo por los beneficios que este sistema puede tener para la ciudadanía, sino para compatibilizar los usos del suelo con los potenciales impactos adversos. En particular se demostró que el impacto sonoro del tren, en el evento de llegada y salida de la estación, puede generar una afectación significativa, y estar por encima de la cantidad de decibeles permitidos en la regulación nacional vigente para zonas residenciales y no así en zonas comerciales. Es por ello que usos de suelo más tolerantes al ruido al menos en los primeros 100 metros desde una estación puede ser muy oportuno para balancear la necesidad del servicio, el ruido que genera y la alteración de las condiciones de vida de los habitantes cercanos.

Al mismo tiempo, se evidenció como eventos extremos se producen por el uso de los dispositivos tipo pitoretas, lo que agrava la contaminación sónica urbana. Por tanto, la implementación de medidas de mitigación indirectas, como la separación física entre el tren y los otros medios de transporte, evidenció una mejoría en el nivel sonoro crítico (L10).

Los mapas de ruido resultaron ser una herramienta muy valiosa para entender el comportamiento espacial de la variable en estudio (contaminación sónica), y permitieron evidenciar cómo los niveles de sonido a los que se está expuesto en un conglomerado de puntos (AID) pueden tener

diferentes fuentes detonantes del impacto, que se suman al impacto del sistema en evaluación, e incluso pueden llegar a enmascararlo. Por ejemplo, cuando las estaciones se encuentran muy cercanas a carreteras altamente transitadas, como el caso de la estación UCR, el mapa reflejó cómo es mayor el nivel sonoro en las cercanías de estas vías que lo que aporta la estación. Esto puede no ser adecuadamente interpretado por las personas afectadas, quienes identifican más claramente el ruido del tren y lo sienten más perturbador que el de la carretera, que es un ruido más continuo y al que se acostumbran.

Autores como [3] plantean como opciones para mitigar este impacto sonoro métodos pasivos que consisten en el uso de muros de protección acústica y ventanas aislantes, no obstante, esto requiere una mayor inversión monetaria. También existen las medidas dirigidas a la fuente generadora del ruido, que por lo general va orientada al cambio de tecnología vieja por tecnología moderna que generan un menor impacto ambiental. Este último punto si pudo verse reflejado en los datos de campo, pues cuando llegaba la locomotora más vieja, los niveles registrados por los sonómetros aumentaban en el orden de los 5 a 8 dB por encima de los parámetros medidos para los trenes más nuevos.

Finalmente, sería recomendable realizar estudios similares en otros ramales del tren urbano en Costa Rica, para reforzar las conclusiones a las que se ha podido llegar y para identificar potenciales zonas de conflicto en cuanto al impacto sonoro existente en sitios con usos del suelo sensibles al ruido (residenciales, educacionales, hospitalarios). Esto permitiría contar con mejores insumos para los procesos de planificación urbana orientada al transporte. Se concuerda con lo expresado por Quezada [17]: “La lucha contra el ruido está basada en una serie de estrategias tanto técnicas como administrativas... habría que insistir en que la existencia de una legislación adecuada es fundamental, así como un alto nivel de conciencia ciudadana”.

Referencias

- [1] L Abad, D Colorado, D Martín y M Retana. *Ruido ambiental: seguridad y salud*. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 8(9),696-8085. [En línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3719298> [Consultado el 12 de mayo de 2019]
- [2] D Amo, Contaminación Acústica Causada por el Transporte en el País Vasco y Cataluña: una aproximación estadística-Proyecto TransP1, 2016. Disponible en: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/22223/629357.pdf>. [Consultado el 12 de mayo de 2019]
- [3] U Clausen, C Doll, F Franklin, G Franklin, H Heinrichmeyer, J Kochsiek, W Rothengatter y N Sieber, Reducción de la Contaminación Acústica en el Sector Ferroviario (PE 474.533), 2012. Disponible en: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/474533/IPOL-TRAN_ET\(2012\)474533\(SUM01\)_ES.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/474533/IPOL-TRAN_ET(2012)474533(SUM01)_ES.pdf). [Consultado el 25 de mayo 2019]
- [4] R Lee y I Sener, Transportation planning and quality of life: Where do they intersect?, 2016. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X16300968?via%3Dihub>. [Consultado el 01 de agosto de 2022]
- [5] M Nemec, A Danihelová, T Gergel, M Gejdos, V Ondrejka y Z Danihelová, Measurement and Prediction of Railway Noise Case Study from Slovakia, 2020. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7277611/>. [Consultado el 30 de junio de 2022]
- [6] M Wrótny y J Bohatkiewicz, Impact of Railway Noise on People Based on Strategic Acoustic Maps. sustainability, 12(14), 2020. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5637>. [Consultado el 30 de junio de 2022]
- [7] J Jiménez y C Linares, Efectos en salud del ruido de tráfico: Más allá de las “molestias”, 2015. Disponible en: <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/download/709/714>. [Consultado el 30 de junio de 2022]
- [8] Real Academia Española, Contaminación Acústica, 2020. Disponible en: <https://dpej.rae.es/lema/contaminaci%C3%B3n-ac%C3%BAstica>. [Consultado 16 de julio de 2020]

- [9] Y González y Y Fernández, Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares, *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 1561-3003, vol.52, no.3, set-dic 2014. [En línea]. Disponible: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300012
- [10] L Madrigal, Hace 20 años, José María Figueres cerró el INCOFER y el país sufre hoy las consecuencias, 2015. Disponible en: <https://www.elmundo.cr/costa-rica/hace-20-anos-jose-maria-figueres-cerro-el-incofer-y-el-pais-sufre-hoy-las-consecuencias/>. [Consultado el 14 de setiembre de 2022]
- [11] R Ayala, Plan de ruido: Plan ordenación urbana contra el ruido. Stop Ruido, 2017. Disponible en: <http://www.abogadosruidos.com/blog/plan-ordenacion-urbana-prevenir-ruidos.php>. [Consultado el 18 de setiembre de 2022]
- [12] M Frost y S Ison, S, Comparison of noise impacts from urban transport, 2007. Disponible en: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/epdf/10.1680/tran.2007.160.4.165>. [Consultado el 30 de junio 2022]
- [13] J Romero, A Jiménez, A Marín, A Sanchis y S Cerdá, Un primer estudio del ruido en los actuales trenes de la red ferroviaria española, 2016. Disponible en: http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/revista_VOL34-12_01_01.pdf. [Consultado el 20 de mayo 2021]
- [14] A Segundo, W Contreras, J Delgado, M Owen, M Rondón, A Contreras, Estudio de Distribución Espacial de la contaminación acústica en la ciudad de Mérida, Venezuela, 2017. Disponible en: <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/bitstream/handle/654321/534/21921923834.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Consultado el 20 de febrero 2020]
- [15] Instituto Costarricense de Ferrocarriles, Informe de estadísticas operativas II semestre 2019. Disponible en: <http://www.incofer.go.cr/estadisticas/index.htm>. [Consultado el 25 de agosto 2022]
- [16] L Morales, D Aldás, S Collantes y J Reyes, “Implicaciones en la salud ocupacional por exposiciones de luz y ruido en trabajadores de manufactura de calzado”, vol.14, no.1, ene-jul 2015. [En línea]. Disponible: <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/sathiri/article/view/817>
- [17] R Quezada, “El Ruido en la Planificación Territorial Comuna de Providencia”, 2002. Disponible en: <http://cyber-tesis.uach.cl/tesis/uach/2002/bmfciq.5r/doc/bmfciq.5r.pdf>. [Consultado el 25 de mayo 2022]