

Ciencia ciudadana para la gestión de ruido en la ciudad: mapeo de molestia

Citizen science for noise management in the city: nuisance mapping

Ciência cidadã para a gestão do ruído na cidade: mapeamento de incômodos

Dulce Rosario Ponce Patrón¹ ORCID 0000-0002-9523-4592, Verónica Arroyo Pedroza² ORCID 0000-0002-3656-3361, Laura Angélica Lancón Rivera¹ ORCID 0000-0001-9403-7186, Silvia Gabriela García Martínez¹ ORCID 0000-0001-8759-3942, Ernesto Rodrigo Vázquez Cerón³ 0000-0001-9293-0843

¹Departamento de Procesos y Técnicas de Realización de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (UAM-A)

²Departamento de Evaluación del Diseño en el Tiempo de la UAM-A

³Departamento de Electrónica de la UAM-A

Correo de contacto: drpp@azc.uam.mx

Resumen

Se presenta la aplicación móvil HUBBUB, Alerta ruido©, la cual compila la molestia ciudadana y genera mapas por molestia de ruido en colaboración con la ciudadanía, a partir de un enfoque de ciencia ciudadana, que facilita la recolección de data y contribuye de diversas maneras al desarrollo de conocimiento en el tema. El experimento se plantea a través de un grupo de enfoque conformado por estudiantes de la licenciatura en arquitectura que, utilizando la aplicación móvil, realizaron recorridos en la zona del Centro Histórico de la alcaldía Azcapotzalco, en la Ciudad de México. El estudio permitió, por una parte, sensibilizar a los participantes sobre el tema del ruido y concientizar a futuros arquitectos sobre la percepción del espacio público y su posterior toma de decisiones de diseño. Por otra parte, se obtuvieron datos geolocalizados que generan mapas de molestia por ruido y compilan estadísticamente la situación percibida.

Palabras clave: Ciencia ciudadana, ruido ambiental, aplicaciones móviles y colaboración colectiva

Abstract

The mobile application HUBBUB, Alerta ruido©, is presented, which compiles citizen annoyance and generates noise annoyance maps in collaboration with citizens, based on a citizen science approach, which enables the collection of data and contributes in various ways to the development of knowledge on the subject. The experiment is proposed through a focus group made up of architecture students who, using the mobile application, conducted tours in the Historic Center area of the Azcapotzalco municipality in Mexico City. The study allowed, on one hand, to raise awareness among the participants on the issue of noise and to make future architects aware of the perception of public space and their subsequent design decisions. On the other hand, geolocalized data was obtained to generate noise annoyance maps and statistically compile the perceived situation.

Keywords: Citizen science, environmental noise, mobile applications and crowdsourcing

Resumo

Apresenta-se o aplicativo móvel HUBBUB, Alerta Ruido©, que compila o desconforto da população e gera mapas sobre o incômodo por ruído em colaboração com colaboração dos cidadãos, a partir de uma abordagem de ciência cidadã, que facilita a coleta de dados e contribui de diversas maneiras para o desenvolvimento do conhecimento sobre o assunto. O experimento é proposto por meio de um grupo focal composto por estudantes de graduação em arquitetura que, utilizando o aplicativo móvel, realizaram percursos na área do Centro Histórico da prefeitura de Azcapotzalco, na Cidade do México. O estudo permitiu, por um lado, sensibilizar os participantes sobre a questão do ruído e conscientizar os futuros arquitetos sobre a percepção do espaço público e suas futuras escolhas na criação de projetos. Por outro lado, obtiveram-se dados geolocalizados que geram mapas de desconforto por ruído e compilam estatisticamente a situação percebida.

Palavras-chave: ciência cidadã, ambiente barulhento, aplicativos móveis e colaboração coletiva

PACS: 43.50.Rq, 43.50.Yw

1. INTRODUCCIÓN

Es a finales del siglo XX que el término de *Smart City* o Ciudad Inteligente deviene de la relación del avance tecnológico y el despliegue de todo tipo de herramientas digitales, que coadyuvan en la gestión de una ciudad e instrumentación tecnológica que genera bases de datos, mismos que son procesados por instancias que usan la información para la toma de decisiones enfocadas en política pública. En cuanto al concepto, no se cuestiona su utilidad, sin embargo, se hace necesario plantear la siguiente pregunta: ¿los países latinoamericanos están preparados para ser ciudades inteligentes?

El gobierno de la Ciudad de México informó que, en 2021 será la ciudad del mundo con más acceso a internet público, gratuito y abierto, por arriba de Moscú, Seúl y Tokio (Gob. CDMX, 2021). La mezcla de condiciones económicas, tecnológicas y sociales son las que establecen el que una ciudad con su infraestructura trascienda tecnológicamente, siendo la capital de México desigual y compleja, no solo desde un punto de vista económico, sino que esta disparidad también se observa en educación, salud, ingreso, entre otras (Paniagua, 2017). De tal manera que el objetivo de promover que una ciudad se convierta en inteligente será que la interconexión optimice la vida de las personas, así como, que invite a la población no conectada a beneficiarse de los logros sobre las políticas públicas.

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU-Habitat, 2012), la región de América Latina y el Caribe está en su mayoría urbanizada, por lo que se estima que el 80 % de su población vive en ciudades, considerándose la zona más poblada a nivel mundial, tal estadística obliga a los gobiernos a promover “*un entorno social, tecnológico, ambiental e institucional propicio para el mejor desempeño de las actividades económicas y del bienestar social*” (Hernández, Morales y Rózga, 2021).

La planificación urbana requiere de la implementación de toma de decisiones acordes al crecimiento de estos centros económicos. La gobernanza deberá considerar la participación ciudadana dentro de las políticas públicas, lo que forzosamente cambia la estructura centralista de los gobiernos.

Comunicación y ciudadanía para la gestión pública, sería la medida óptima en tanto la tecnología digital, sigue avanzando en su desarrollo. Siendo los gobiernos quienes pensando en trabajar de la mano de la ciudadanía, debieran diseñar los instrumentos precisos

que motiven a la población a colaborar aportando datos en tiempo real sobre asuntos coyunturales para sus ciudades; transporte, gestión del medio ambiente, salud, entre otras, serían temas que en sinergia ciudadanos-gobierno reditúan en el aporte y recopilación de datos, lo que se traducirá en respuestas más precisas de las medidas gubernamentales, fomentando la democracia participativa y contribuyendo a mejorar la calidad de vida en la ciudad.

2. CIENCIA CIUDADANA

La Ciencia ciudadana es “*Trabajo científico realizado voluntariamente por miembros del público en general, a menudo en colaboración con o bajo la dirección de científicos profesionales e instituciones científicas*” (CONABIO, 2023).

Este tipo de trabajos buscan promover la participación entre la población, esta es una práctica que implica un modo de actuación confiriendo competencia a la ciudadanía sobre los temas relevantes que afectan su entorno. Quienes tienen el interés de mejorar su medio ambiente o participar con la ciencia en temas específicos, podrán hacerlo de manera activa, no requiriendo de un conocimiento especializado, solo voluntad de involucrarse en proyectos afines a sus intereses o de beneficio comunitario. Esto, de tal manera que la participación ciudadana se lleve a cabo a partir de instrumentos previamente diseñados por científicos, bajo una serie de principios básicos como la observación y clasificación para generar datos fiables que más adelante serán analizados e interpretados.

La ciencia ciudadana se encuentra al alcance de un gran porcentaje de la población por medio de la telefonía móvil, que ha abierto posibilidades inéditas de compartir datos en tiempo real a través de aplicaciones diseñadas con objetivos particulares (Jabbour, 2018). Una de las entidades federativas con mayor número de personas usuarias de teléfonos inteligentes con respecto a la población nacional total, es la Ciudad de México con usuarios a partir de seis años que representan el 88.4 % (INEGI, 2022).

Modelos de Ciencia ciudadana

Según Bonney, Ballard, Jordan, McCallie, Phillips, Shirk y Wildermark (2009, p.11), se identifican tres categorías en las que la ciudadanía se puede involucrar con proyectos de este tipo y se detallan a continuación:

- Proyectos contributivos: generalmente diseñados por científicos y donde principalmente ciudadanos aportan datos.
- Proyectos de colaboración: habitualmente están creados por científicos, y los participantes contribuyen con datos, pero también pueden ayudar a refinar el diseño del proyecto, analizar datos o difundir hallazgos.
- Proyectos co-creados: propuestos por científicos y ciudadanos que trabajan juntos y donde, al menos, algunos participantes colaboran activamente en la mayoría o en todas las fases del proceso científico.

3. COLABORACIÓN COLECTIVA (CROWDSOURCING)

Cada día, los usuarios de dispositivos móviles utilizan más aplicaciones que les ayudan a mejorar su bienestar. De esta manera, conocen más sobre sí mismos y su entorno. La información derivada de los sensores y dispositivos móviles que pudiera considerarse “aislada”, es factible de ser recolectada e integrada por un servidor, ser procesada, y en conjunto crear la visión detallada de los datos. Existen diversas técnicas que recolectan información geoespacial entre las que destacan la detección participativa móvil (*Mobile crowdsensing* o *crowdsensing*) y la colaboración colectiva (*crowdsourcing*). Ambas basan su estructura en la captura de la información requerida a través de los dispositivos (y sus respectivos sensores) de los usuarios y ello alimenta las bases de datos, mismas que serán más robustas cuando el número de dispositivos o usuarios activos sea mayor.

En el primer caso, la detección participativa recolecta pasivamente la información de los sensores, es decir, no requiere intervención por parte del usuario. Ésta es procesada y resulta explicativa del problema de investigación, como se muestra en la Figura 1a y 1b. El uso común del *crowdsensing* es la creación de mapas de tráfico, por ejemplo, el trazo de una ruta que depende de sensores urbanos de tráfico vehicular o la velocidad media del conductor, entre otras cosas.

Si se busca la intervención activa del usuario, se utiliza el término de *crowdsourcing*. En este caso, el problema a investigar será segmentado en diversos elementos que lo resuelven y asignados como “tareas” para el usuario. Por ejemplo, continuando con los sistemas de tráfico vehicular, la ubicación de controles policiales, vías

bloqueadas, accidentes, entre otros, solo podrá ser identificada por los usuarios que decidan compartir la información. Ambas herramientas muestran diferentes perspectivas de un problema y, en situaciones como la anterior, consiguen ser complementarias.



Figura 1. Comparación de técnicas de recolección de la información: a) *Crowdsensing* y b) *Crowdsourcing*. Fuente: Adaptado de O'mahony, 2018.

4. RUIDO AMBIENTAL

En la ciudad, las dinámicas de la población generan ruidos comunes y de baja aportación de información que se considera contaminación por ruido o ruido ambiental. Algunos de estos comportamientos son esporádicos, pero otros se identifican en su temporalidad (horarios, semanas, meses o años). Ello ha obligado a definir parámetros o herramientas que caracterizan dichas dinámicas haciendo uso de indicadores representativos a la audición humana, y para determinar la exposición nociva se consideran diversos métodos, como las encuestas de opinión, la estadística de distribución del ruido, indicadores de distribución temporal (t), el nivel sonoro, y mapas de ruido.

La evaluación subjetiva del ruido se ha realizado por medio de encuestas de opinión estandarizadas (EPA, 2003), utilizando usualmente el término “molestia”; como la perturbación o malestar que el ruido produce en una persona. Aunque el término es abstracto, la sensación de molestia está asociada a la sensibilidad del grupo o usuarios, la actividad que realiza y su grado de enfoque requerido y es una de las consecuencias primarias de la exposición al ruido (sonido nocivo) que se manifiestan con mayor desenvoltura. El usuario puede no saber las causas o consecuencias, pero identifica que se encuentra en un ambiente nocivo.

La exposición al ruido ambiental está relacionada con disturbios en: la comunicación, la concentración, el sueño y emocionales. Dichas afectaciones se revelan en periodos cortos de tiempo como la irritabilidad,

falta de concentración, fatiga o ira, o a mediano o largo plazo como complicaciones gastrointestinales, hipoacusia o efectos cardiovasculares.

El monitoreo del ruido ambiental por métodos cuantitativos está orientado a conocer el continuo sonoro en diferentes escalas de la ciudad a lo largo del día y a fin de caracterizar la exposición promedio a la que está expuesta la ciudadanía en una relación de dosis-respuesta. Ello permite identificar las zonas geográficas conflictivas y gestionar a partir de la planeación los objetivos de calidad acústica y definir acciones para alcanzarlos.

El indicador más común en la caracterización del ruido ambiental es el nivel sonoro continuo equivalente (L_{Aeq}) en ponderación A, que se utiliza para conocer la influencia del nivel de presión sonora en un periodo de tiempo y área determinados o que incide sobre una edificación. El L_{Aeq} se desarrolla matemáticamente como el nivel eficaz de sonido en el intervalo de medición a partir de la expresión [1].

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \left[\frac{1}{T} \left(\sum_i^n t_i \cdot 10^{(0.1 \cdot L_{AE(i)})} \right) \right] \text{ (dBA)} \quad [1]$$

L_{Aeq} = Nivel sonoro equivalente (dBA)

L_{AE} = Nivel sonoro equivalente en 1 unidad de tiempo (dBA)

T = Tiempo total de medición (s)

t_i = Tiempo que está presente el nivel para L_{AE}

El tiempo de integración por un intervalo horario de interés también puede variar dependiendo de las necesidades del estudio. Por ejemplo, si es necesario conocer el impacto que tiene el sonido en una vivienda en horario nocturno de 22:00 h a 6:00 h, el tiempo de integración (T) será de 8 h, basándose en la misma fórmula. Los intervalos horarios más utilizados en mapas de ruido y normativas son: el nivel sonoro continuo equivalente día (L_{day})³, el nivel sonoro continuo equivalente tarde ($L_{evening}$), y el nivel sonoro continuo equivalente noche (L_{night})⁴. El L_{Aeq} se utiliza porque es flexible y permite evaluar los diversos flujos urbanos y sus necesidades. En México, de acuerdo con la norma NOM-081-SEMARNAT-1994 (D.O.F. 2013) el nivel de exposición de fuentes fijas indica que en horarios de 22:00 a 06:00 h (L_{night}) el límite máximo permisible será de 50 dBA en zonas residenciales y en el periodo diurno de 06:00 a 22:00 h (L_{day}) el límite máximo será de 65 dBA.

5. APLICACIONES MÓVILES PARA RUIDO AMBIENTAL

La creación de mapas de ruido debe ser representativa de las dinámicas de la ciudad, un mapa de estas características requiere abarcar grandes escalas y densidades poblacionales. Se utilizan diversos métodos de toma de datos, tales como la caracterización de los flujos de tráfico vehicular, aéreos o de trenes en periodos de tiempo determinados para su posterior modelización. Éstos se basan en algoritmos de cálculo que predicen o modelan la intensidad sonora y el comportamiento de la movilidad en la ciudad. Aunque, debido a la complejidad de los modelos, se suele simplificar y en bastantes casos la información está incompleta. Otras metodologías se basan en mediciones con sonómetros y equipo especializado, realizadas en sitio que ‘normalizan’ la intensidad sonora en el punto geográfico tomado. Sin embargo, los altos costes de tiempo, equipo y personal especializado para la actualización y diversificación de los mapas de ruido obstaculizan el acceso a la información y la modernización de políticas que solventen la problemática actual.

En años recientes, la tecnología de sensores ha crecido significativamente, mejorando el desempeño con costes menores; un ejemplo de ello es su uso en los dispositivos móviles, en los que además del uso regular, diversas aplicaciones móviles han aprovechado para generar y mostrar al usuario, datos de desempeño como de salud, finanzas, movilidad entre otros. Ello abre la posibilidad de construir bases de datos de poblaciones determinadas en microescala, mesoescala o macroescala.

Entre la variedad de opciones, aplicaciones móviles de medición del sonido con fines recreativos y profesionales se han desarrollado haciendo uso del micrófono interno de los dispositivos, y aunque difícilmente suplen a un micrófono de un sonómetro de medición de Clase 1, diferentes investigaciones muestran que los micrófonos de los dispositivos móviles pueden ser compatibles con los requerimientos para el análisis del ruido ambiental (Piacut et al., 2019). Algunos de estos alcanzan una precisión equivalente a un sonómetro tipo 2 (Rozzi et al., 2022) (Quintero, Balastegui y Romeu, 2019), en la mayoría de los casos se considera ± 5 dB de incertidumbre (Padilla, Machuca e Ibarra, 2022), y

³ de 7:00 a 19:00 h, con tiempo de integración de 12 h,

⁴ de 19:00 a 23:00 h, con un tiempo de integración de 4 h y

permiten la captura de los datos en un tiempo determinado; mediante el post procesamiento de la señal se obtiene el espectro del sonido aplicando la transformada rápida de Fourier (FFT) y una ventana Hann a la señal de tiempo. Una vez obtenidos los niveles sonoros por bandas de frecuencia los valores promedios como el nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq} , dB), el uso de ponderación A (dBA) y los promedios temporales se obtienen de la forma usual. Ahora bien, en el mercado existe variedad de dispositivos en diversas gamas basados principalmente en dos sistemas operativos *Android* (OS) y *iOS* (*iPhone Operating System*), usualmente los segundos presentan un mejor desempeño. Otras investigaciones (Ákos, 2017) declaran que la precisión dependerá del micrófono del equipo, aunque dada la diversidad de dispositivos, sistemas operativos y la diferencia en la calidad de las marcas en el mercado, se consideraría necesaria la calibración para afinar la precisión que depende de factores como la calidad del Hardware y Software, del sistema operativo, las condiciones de medición y procedimientos internos, ya que habrá que hacer notar que el micrófono no está diseñado para medición, sino para preferenciar y optimizar la voz y la música (de la manera más económica posible), y en modelos recientes incluso se consideran sistema de enmascaramiento de los sonidos ‘lejanos’ al micrófono. En estos casos, Picaut et al. (2019) sugieren calibración del micrófono interno o el uso de micrófono externo de mejor calidad. A pesar de que este enfoque provee menor calidad en los datos de medición, posibilita abarcar mayor extensión territorial y cantidad de datos con menores costes en un marco de ciencia abierta (*Open science*).

De acuerdo con lo antes expuesto, los sensores en los dispositivos móviles permiten medir la intensidad sonora (dB) y las frecuencias (Hz) del ruido; es decir, muestra cómo suena y los tonos que lo componen. Existen métodos que a partir de un análisis de frecuencia pueden diferenciar entre ambientes sonoros específicos como el producido por tráfico vehicular, ruido de trenes o aviones. Sin embargo, el ruido comunitario, al ser producto de diferentes fuentes con espectros tan diversos, complejiza el post procesamiento.

Diversas aplicaciones móviles están enfocadas en la medición durante periodos de tiempo determinados del nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq}) usualmente en ponderación A (L_{Aeq}), y algunos muestran análisis en bandas de frecuencia y comparten los datos

estadísticos por el usuario como: *Decibel th*, *Decibel X*, *Sound Meter*, *NoiseTube*, *Sound level meter*, *Spectral view analyzer*; pocos casos comparten además datos geoespaciales como la Calculadora de ruido de tránsito (Suárez y Arenas, 2018) y *Noise Capture* (Piacut et al., 2019). Y existen casos concretos que se enfocan en qué y cómo los usuarios perciben el ambiente sonoro limitándose a un indicador que no define, por ejemplo, el tipo de ruido, las condiciones de medición como posición del equipo o la sensación que la situación sonora le provee al usuario.

Zappatore, Longo y Bochicchio (2017) detallan diez alcances para las aplicaciones móviles, de los que se han seleccionado siete que definen el enfoque del diseño desde una perspectiva de *crowdsourcing*:

- a) Datos de localización: debe crear datos de ubicación georreferenciada.
- b) Definición de obtención de datos: el usuario debe ser consciente y decidir si la colaboración será activa (*crowdsourcing*) o la recolección de datos se realizará de forma autónoma en segundo plano (*crowdsensing*).
- c) Resolución y fiabilidad de los datos: la recolección de datos deberá ser clara y efectuarse con alta resolución para su posterior manipulación y gestión.
- d) Efectividad en la comunicación: la aplicación deberá presentar la información visual de manera asertiva, de forma que la visualización sea cómoda, los conceptos, claros y las acciones, intuitivas.
- e) Continuidad espaciotemporal: la recolección de datos no será limitada geográficamente y los horarios de recolección serán abiertos.
- f) Intervención del usuario: la aplicación deberá motivar la participación y la aportación del usuario en el conocimiento colectivo.
- g) Oportunidades de aprendizaje: la interfaz deberá proveer al usuario herramientas de conocimiento del ambiente que desarrollen su conciencia.

En la práctica, se encuentran iniciativas complementarias que cumplen con dichos requisitos como *Noise Planet* (DECIDE y UMRAE, 2023) en la que dos grupos de investigación han generado herramientas científicas didácticas para la valoración del ruido ambiental como *Noise Capture* (Piacut et al., 2019), que genera una medición de nivel sonoro,

valores estadísticos, valoración perceptual y produce mapas colaborativos de ruido ambiental (con énfasis en el nivel sonoro) mostrados tanto en la aplicación móvil como en la página *web community maps* (Bocher, Petit, Picaut, Fortin y Guillaume, 2017) y *OnoMap* basado en sistemas SIG (Bocher et al., 2016) con enfoque en ciencia abierta tanto a los datos como a la construcción de sus modelos didácticos. Además, mantiene campañas de instrucción y sensibilización conocidas como “*Noise Party*”, enfocadas en alumnado y comunidad en general.

Rozzi *et al.* (2022) identifican, además, la importancia de campañas de sensibilización y detección participativa en estas experiencias y define debilidades a considerar:

- a) Con relación al usuario, la retención es baja, ya que por una parte el uso suele ser inmediato y no siempre prioritario, ya que el peso de la aplicación en aparatos de baja capacidad minimiza la probabilidad de descarga o uso a largo plazo. Los participantes no capacitados pueden proveer datos poco valiosos si no se instruyen adecuadamente.
- b) Con relación a los datos, dada la poca retención hay mayor probabilidad que los datos correspondan a una minoría y existe riesgo de sesgo,
- c) Con relación a los dispositivos y sistemas operativos, habrá que poner atención en la evolución sistemática de la herramienta debido al rápido desarrollo tecnológico de los dispositivos móviles.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

La propuesta metodológica de este trabajo se basa en el uso y evaluación de la aplicación móvil (app) HUBBUB, Alerta ruido©, como herramienta de mapeo y análisis del espacio urbano para alumnos de la licenciatura en arquitectura. Inicialmente, se seleccionó a un grupo de trabajo para realizar el análisis de molestia por ruido en la zona de estudio elegida. Después se instruyó a los participantes en el uso de la aplicación móvil y posteriormente, realizaron la visita del sitio y se les pidió identificar geográficamente los puntos en los que se genera molestia por ruido utilizando la app. Finalmente, a partir de una sesión grupal, se retroalimenta la percepción de los participantes, la comprensión de los conceptos presentados y del proceso de medición.

A. Aplicación móvil: HUBBUB, Alerta ruido©

HUBBUB, Alerta ruido© es una aplicación móvil (app) desarrollada para monitorear geográficamente la molestia por ruido en la ciudad. El diseño de la app está enfocado en que participantes no especializados en temas acústicos la utilicen de forma intuitiva, por lo cual, el diseño de la interfaz se planteó bajo tres principios: ser minimalista y claro, que la visualización de la información se basará en códigos cotidianos, y considerar (prioritario) al usuario y sus necesidades en el proceso de diseño (*user experience design, UX*). La interfaz se desarrolla en tres objetivos: obtener la información básica requerida para ‘alertar sobre el ruido’, la creación de un repositorio para la consulta ciudadana, y la estimulación y consolidación de la experiencia de usuario tanto individual como colectiva.

Protocolo de medición, permite al participante la generación de la alerta a partir de 6 pasos (Figura 2.1):

1. Grabar el ruido (10 s) y que el participante observe el nivel de presión sonora (dBA) al que está expuesto,
2. Determinar la geolocalización de la medición,
3. Determinar la posición del participante: ‘Exterior’ o ‘Interior’
4. Determinar la fuente de ruido: ‘Tráfico vehicular’, ‘Tráfico aéreo’, ‘Animales’, ‘Bocinas’, ‘Fiesta’, ‘Servicios’, ‘Industria’, ‘Maquinaria’ y ‘Otros’.
5. Determinar la percepción de molestia en tres categorías: ‘Poco molesto’, ‘Molesto’ y ‘Muy molesto’
6. Enviar la alerta, y corroborarlo.

Repositorio de consulta ciudadana, para consolidar la experiencia social, se genera un mapa colectivo que muestra la percepción de molestia por ruido en la ciudad. Los datos generados por los participantes son transmitidos a un servidor remoto en la UAM-A que se encarga del post procesamiento, registro y catalogación, retroalimentar a la app y al finalizar el día, integrar los datos (nuevos) en el Mapa colaborativo de molestia por ruido, que se observa en la figura 2.2. El mapa permite a los usuarios visualizar los datos que generados a partir de tres elementos de información:

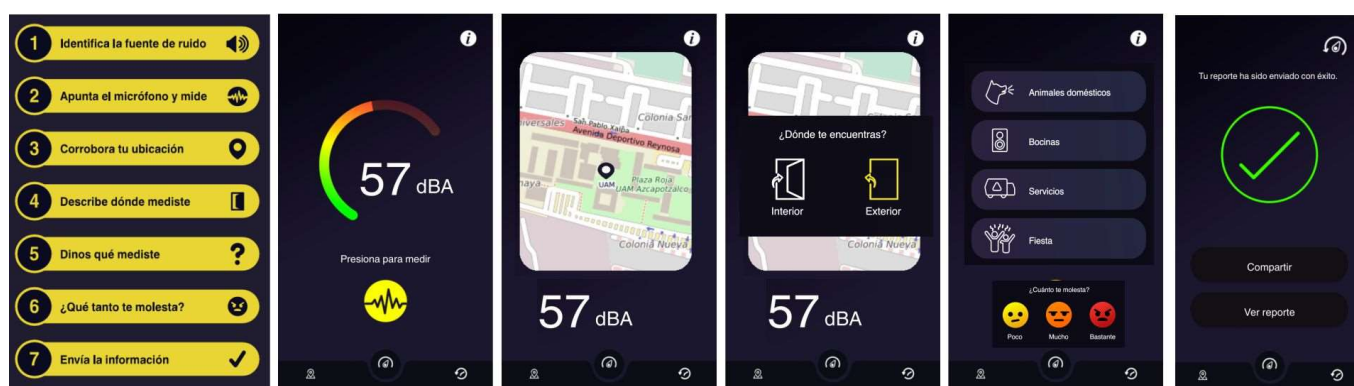


Figura 2.1. Guía de uso rápida: Pantalla de aplicación móvil HUBBUB, Alerta ruido©: Medición. Fuente: propio.

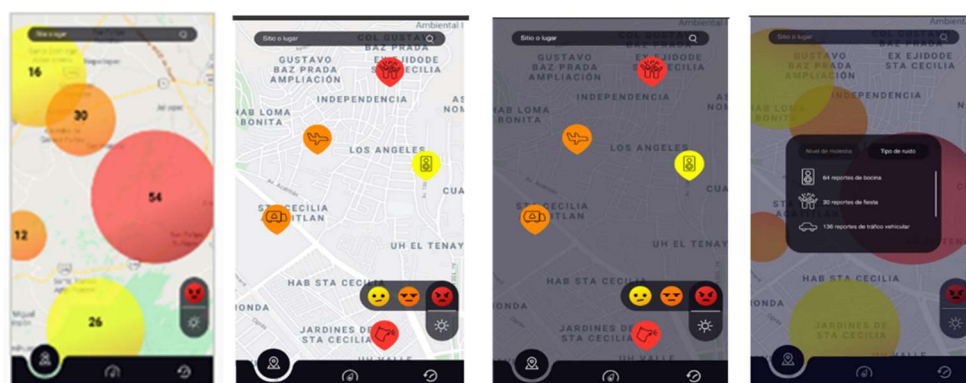


Figura 2.2. Pantalla de aplicación móvil HUBBUB, Alerta ruido©: Mapa de molestia por ruido. Fuente: propio.

1. Ubicación georreferenciada estadística de los puntos de medición.
2. Grado de molestia utilizando el recurso visual de escala de color.
3. Horario de medición; se plantean dos temporalidades de análisis de acuerdo con la norma mexicana (D.O.F. 2013) día de 06:00 a 22:00 h y noche de 22:01 a 05:59 h

El mapa se muestra en diversas escalas, que se adaptan a dos tipos de pantalla:

Nivel urbano MANZANA (o microescala): acercamiento en el que se observan las mediciones puntuales, y una vez seleccionadas individualmente, se despliegan ventanas emergentes que muestran los datos de la medición. Y nivel urbano DISTRITO (meso escala o macroescala): visualización a nivel regional, colonia o zona en la que se observa el promedio de un grupo de mediciones, las cuales, al seleccionarse, despliega una ventana emergente que muestra el número de mediciones por molestia y por tipo de ruido.

Experiencia de usuario, se plantea la creación de una comunidad HUBBUB, Alerta ruido© que busca

estimular la creación de una cuenta personalizada eligiendo un avatar, e incentiva compartir las experiencias y mediciones en redes sociales. Además, se crea un repositorio personal con almacenamiento de reportes y estadísticas personales que muestran los niveles de molestia, el tipo de ruido que los generó y su ubicación geográfica y temporal.

B. Perfil de usuario

Bajo el enfoque de ciencia ciudadana, donde voluntariamente un grupo de personas colaboran para aportar información con relación a un proyecto, se contó con la participación de 28 estudiantes de la licenciatura en arquitectura inscritos en la materia de Espacio, Sonido y Arquitectura. La edad promedio de los estudiantes es de 21 años.

C. Caso de estudio

Se eligió la zona de estudio que se localiza en la alcaldía Azcapotzalco ubicada al norte-poniente de la Ciudad de México, la sección de estudio corresponde al Centro Histórico de la alcaldía (Fig. 3a). Las vialidades que la limitan corresponden a: Av. Aquiles Serdán, Eje 3 Norte Camarones, Av. 22 de febrero y Calle Castilla Oriente.

Según el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Azcapotzalco (SEDUVI, 2008), la mayor parte de la sección de estudio tiene asignado el uso de suelo habitacional mixto, que conlleva a la permisión de una gran cantidad de actividades en combinación con espacios para vivienda y en la zona central y norte se ubica equipamiento urbano de impacto local, como la Casa de la Cultura Azcapotzalco, el Jardín Parque Hidalgo, un conjunto religioso dominico con un atrio arbolado, le mercado de la alcaldía, el Parque Azcapotzalco, las oficinas de la Alcaldía, con su Plaza Cívica (Fernando Montes de Oca) y explanada. En las otras áreas señaladas como equipamiento se disponen escuelas a nivel básico y hospitales. Cabe señalar que en el área de estudio se genera además comercio informal, estas condiciones atraen a gran cantidad de personas a la zona (Fig. 3b).

D. Método del levantamiento de datos

Se designó una sesión para plantear los conceptos de evaluación y orientar a los participantes en el uso de la app; se sugirió la descarga en el momento y que comenzarán a utilizarla y descartar cualquier duda que

tuvieran al respecto. Después de familiarizarse con la app, en la sesión se puntualizó que la alerta mapea la molestia por ruido, y que el nivel sonoro (dBA) es únicamente un dato complementario; entendiendo al ruido como un sonido molesto o no deseado, que afecta las actividades diarias de las personas. Se plantearon los siguientes objetivos de la medición en sitio:

- Acudir en horarios diversos a lo largo del día,
- Recorrer todas las calles de la zona de estudio,
- Identificar y registrar ruidos ‘molestos’, y
- Realizar el registro fotográfico del sitio (Fig. 4).

Finalmente, a través de una estrategia reflexiva grupal con los participantes se retomaron las impresiones adquiridas tanto del ambiente sonoro del sitio, la percepción de la molestia con relación al ruido ambiental, y experiencias y aportaciones en la metodología e interfaz de la app.

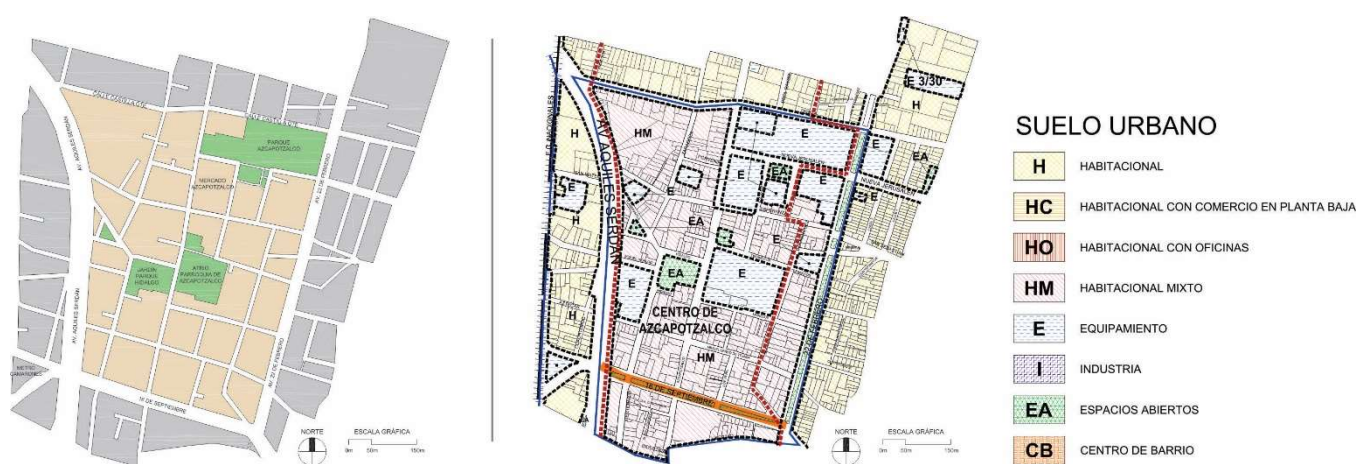


Figura 3. Centro Histórico, Alcaldía de Azcapotzalco: a) Zona de estudio (Fuente: propio) y b) Usos de suelo según el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Azcapotzalco (Adaptado de SEDUVI, 2008).



Figura 4. Registro fotográfico de la zona de estudio, Azcapotzalco, México. Fuente: propio.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Análisis subjetivo

A través de una estrategia reflexiva con los estudiantes, se retomaron impresiones, tales como:

- “No me había dado cuenta que si es molesto ese sonido al escucharlo mucho tiempo”
- “Pasaba por ahí, pero no escuchaba con atención lo que sucedía”
- “Hay espacios donde es muy tranquilo y se pierde el ruido del tráfico”
- “Fui en la tarde y en la noche y se percibe un ambiente diferente a pesar de estar en el mismo lugar”
- “Los sonidos del mercado me agradan”

7.2 Análisis cuantitativo

La base de datos del sistema de la app permite identificar los puntos que cada estudiante registró a través de la aplicación móvil. Se obtuvieron 310 datos de los cuales el 9.6 % se consideran inválidos debidos a la ubicación y valores de niveles sonoros menores a 30 dBA, y el 0.71 % de los datos fueron tomados por la noche, también descartados del análisis para no generar sesgo en las conclusiones. Finalmente, se consideraron 280 valores válidos de la alcaldía Azcapotzalco y la zona de estudio que corresponde principalmente a las colonias Centro de Azcapotzalco, los Reyes, Nueva el Rosario y San Mateo. Con respecto

a la ubicación de los usuarios el 70.0% de los datos corresponden a valores medidos al exterior en las zonas públicas y el 30.0% medidos al interior en zonas privadas.

La molestia con mayor frecuencia es ‘molesto’ y ‘poco molesto’ con 45.4 % y 41.4 % respectivamente, la percepción de ‘muy molesto’ siendo el 12.8% de los casos. El origen de ruido más común es por ‘tráfico vehicular’, ‘bocinas’ y ‘otros’ con presencia de 30.4 %, 30.4 % y 22.1% respectivamente. Los valores medidos de L_{Aeq} oscilan entre los 33 dBA y los 93 dBA y el promedio energético es de 51.8 dBA. En la figura 5a se muestra la distribución geográfica de los puntos de medición en la alcaldía Azcapotzalco y en la figura 5b se muestran los valores promedio de la ‘molestia’ y el nivel sonoro medio en la alcaldía con relación a la Ciudad de México.

Análisis de microescala: sitio de estudio

En el sitio de estudio ‘Centro de Azcapotzalco’ se obtuvieron 242 datos válidos correspondientes a las colonias: Centro de Azcapotzalco (92.9 %), Barrio los reyes (3.7 %), Colonia del maestro (0.8 %), Colonia San Marcos (1.2 %) y San Mateo (1.2 %). Con respecto a la ubicación y posición de los usuarios en la toma de datos, el 74.4 % de los datos corresponden a valores medidos al exterior en las zonas públicas (calle, parque y jardín) y el 25.6 % medidos al interior de los edificios públicos o en zonas privadas: mercado, centro cultural, iglesia, locales comerciales y/o casa-habitación. Como se mencionó previamente, los datos corresponden a mediciones diurnas de entre las 6:00 a las 22:00 h.



Figura 5. a) Mapa de molestia por ruido de alcaldía Azcapotzalco. Identifica la molestia a partir de puntos: amarillo- poco molesto, naranja-molesto y rojo- muy molesto. b) Mapa de molestia por ruido en alcaldías de la Ciudad de México. Fuente: Propio.

La percepción de molestia por ruido en el grupo aprecia que en el 47.1% de los sucesos se juzgan ‘Molesto’, el 41.3% se considera ‘Poco molesto’ y el 13.2% de los casos se percibe ‘Muy molesto’. Las

fuentes que originan el ruido en la zona de estudio son bocinas (33.1%), el tráfico vehicular (31.0%), otros (21.9%), fiesta (4.5%), servicios (4.1%), maquinaria (2.0%) e industria (2.0%). En la figura 6 muestra el

origen del ruido y se observa que los de mayor presencia son las bocinas, el tráfico y otros.

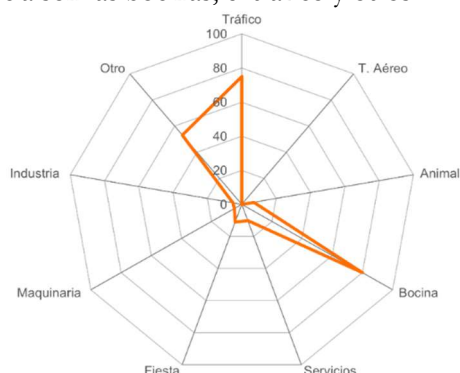


Figura 6. Origen de ruido ambiental por fuentes de ruido comunes en el Centro de Azcapotzalco. Fuente: propio.

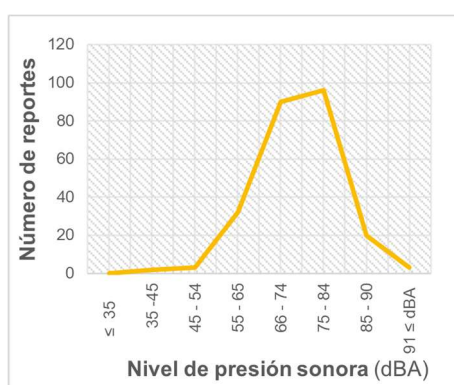


Figura 7. Valores de nivel de sonoro continuó equivalente en Ponderación A reportados en la zona de estudio. Fuente: propio.

Los valores medidos de nivel sonoro en ponderación A en la zona de estudio oscilan entre los 36 dBA y 93 dBA y presentan una media energética de 57.6 dBA. Si se asocia el número de reportes en rangos de 10 decibeles, como se muestra en la figura 5, el rango de 66 a 74 dBA equivale al 37.2 % de los datos obtenidos y el de 75-84 dBA a 39.7% siendo los de mayor frecuencia en el 76.9 % de los casos, los rangos superiores de 85-90 dBA y >91dBA corresponden a 8.3% y 1.2% de los casos, finalmente los valores que cumplen con la norma (D.O.F. 2013), es decir nivel de presión menor o igual a 65 dBA son el 15.2% de los casos; siendo el rango de 65-55 dBA con 13.2% de presencia como el de mayor representación.

Mapa colaborativo de molestia por ruido ambiental

A partir de los datos geolocalizados obtenidos se construyó el mapa de molestia por ruido en la zona de estudio, a fin de tener una mejor observación del problema. De acuerdo a la escala, se dividió en: nivel

alcaldía o macroescala (como se observa en la Fig. 5), nivel mesoescala y microescala (que se observan en la Fig. 9a y b). La mesoescala (Fig. 9a) muestra la geolocalización del nivel de molestia y la microescala (Fig. 9b) muestra la geolocalización del nivel de molestia por ruido, el origen del ruido y ubicación en la zona de estudio.

El mapa de mesoescala (Fig. 8a) muestra que la percepción de 'Muy molesto' (rojo) tiene mayor presencia en los cruces de calles como la Av. Azcapotzalco y Camarones, y a lo largo de la Av. Azcapotzalco principalmente en los puntos cercanos a zonas de recreación como el Jardín Parque Hidalgo y el atrio del conjunto religioso, al relacionarse con el mapa de microescala (Fig. 8b), se observa que la fuente que genera esta percepción es el tráfico vehicular. La figura 8a muestra además agrupación de molestia a lo largo de la Av. Azcapotzalco y equipamiento urbano como el Jardín Parque Hidalgo, el mercado Azcapotzalco y el Parque Azcapotzalco.

El Parque Azcapotzalco se muestra en la figura 9a, al interior del parque la fuente de molestia común es producto de las bocinas y en menor medida del tráfico vehicular. En el mercado de Azcapotzalco (Fig. 9b) las fuentes sonoras presentes en el exterior son bocinas, tráfico vehicular y otros, y al interior, bocinas, fiesta, industria y otros.

En el Jardín Parque Hidalgo, (Fig. 10) las vialidades secundarias que lo flanquean son la Av. Azcapotzalco y Av. Reforma presentan flujos vehiculares que son percibidos como 'Muy molesto', 'Molesto' y 'Poco molesto', es decir es incómodo en diferentes niveles a lo largo de las avenidas. Al interior del Jardín el uso se hace presente y los sonidos (bocina y animales) son percibidos como 'Poco molestos' a excepción de un evento particular que irrumpe con la dinámica: una 'fiesta'.

Finalmente, se concluye que a nivel macroescala los mapas de molestia permiten identificar zonas caóticas en las demarcaciones geográficas de estudio. Por otra parte, el nivel de meso y microescala identifican el grado de molestia y el origen del sonido. Para este caso, las fuentes de ruido comúnmente molestas fueron las bocinas y el tráfico vehicular. Inicialmente se sugiere la regulación normativa de las 'bocinas' ya sea emitiendo una regulación en el límite de nivel sonoro o prohibiéndoles. Con respecto al tráfico vehicular, se sugiere un estudio específico de los flujos vehiculares para evaluar las posibles soluciones para reducir la molestia.

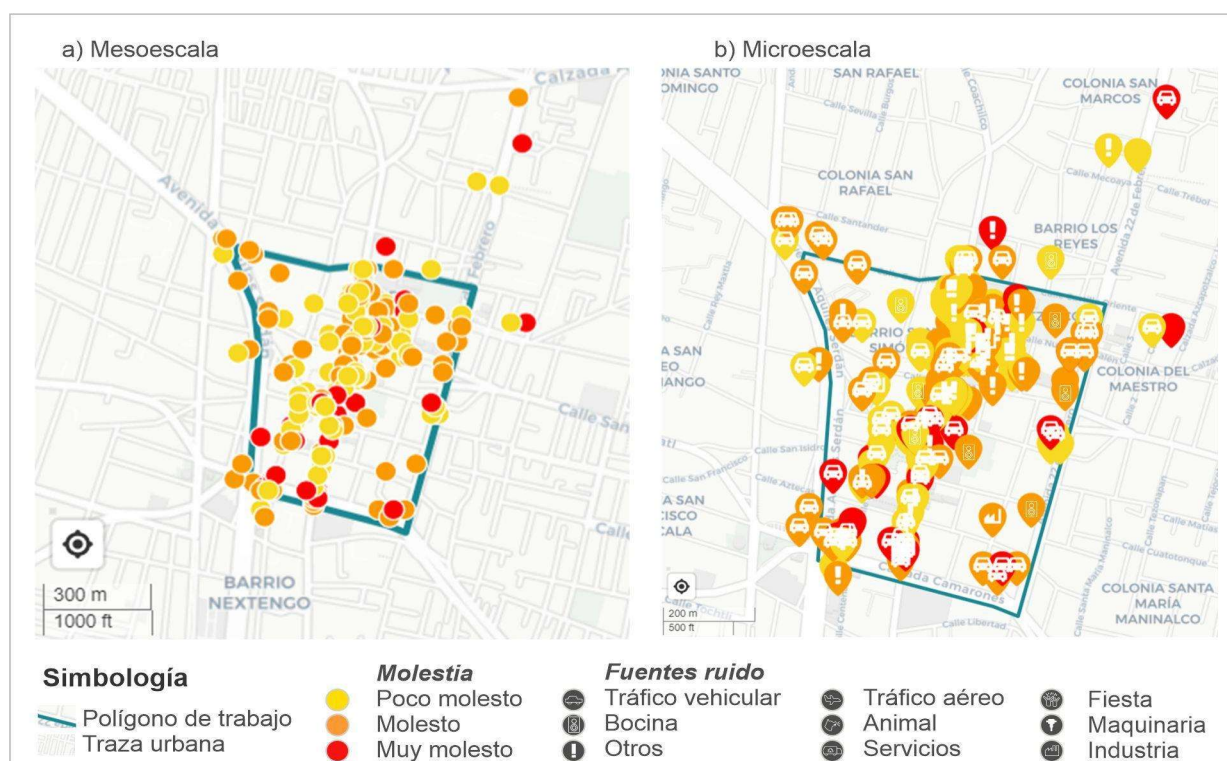


Figura 8. Mapa de molestia por ruido: zona de estudio en la alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

a) mesoescala b) microescala. Fuente: propio.

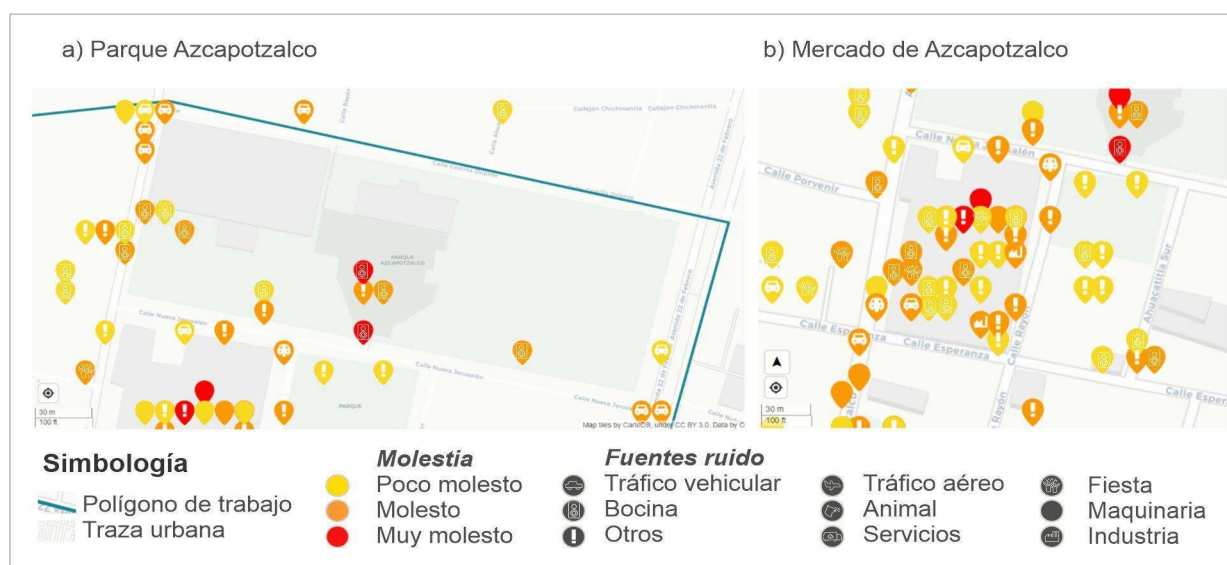


Figura 9. Mapa de molestia por ruido: a) Parque Azcapotzalco b) Mercado de Azcapotzalco. Fuente: propio

8. CONCLUSIONES

La conciencia ante el ruido necesita diversificar sus herramientas y comunicar la información recolectada de otras maneras accesibles a los lenguajes de comunicación actuales para incluir e informar tanto a la población como a los desarrolladores en problemáticas urbanas como el ruido ambiental. En este artículo se propone un método alternativo para el análisis cualitativo del ambiente sonoro urbano,

basado en la participación de usuarios no especializados que generan una alerta a partir de un dispositivo móvil.

En el proceso, los participantes fueron activos en el levantamiento de los datos y posterior a ello mostraron mayor interés y conciencia del entorno, concluyeron que es necesario considerar el sonido y/o ruido en los lineamientos de concepción de espacios urbanos y/o arquitectónicos.



Figura 10. Mapa de molestia por ruido: Jardín Parque Hidalgo y Av. Azcapotzalco. Fuente: propio.

Ahora bien, la aplicación móvil HUBBUB, Alerta ruido©, generó la recolección de los datos de manera eficaz ya sea a partir de matrices de datos o mapeos. Las matrices de datos generan flexibilidad para la lectura, el análisis y post procesamiento de los datos. El análisis estadístico de los primeros datos genera diversas conclusiones: por una parte, muestra la necesidad de georeferenciar los *clusters* de datos con relación a la distribución geopolítica de las zonas de estudio para una mejor lectura y selección.

Por otra parte, el mapeo de molestia resulta complementario a la estadística en la toma de decisiones ya que visualmente facilita la ubicación de las fuentes de ruido y puntos geográficos conflictivos. Se sugiere posteriormente la evaluación del uso de la herramienta en diferentes etapas del proceso de análisis del sitio e identificar las lecturas de los participantes de los mapas de molestia y su influencia en la toma de decisiones de diseño.

Este escrito corresponde a una conferencia llevada a cabo en enero de 2023, en la Semana del Sonido, organizada por el Instituto de Acústica y Vibroacústica del Perú (INPAVAC) y auspiciada por la organización de *International Year of Sound 2020+*. Se han afinado aspectos puntuales para la publicación.

Los autores de este trabajo pertenecen al Cuerpo Académico 'Procesos de Enseñanza Aprendizaje de la Acústica Arquitectónica, Urbana y Ambiental' clave UAM-A-CA-154.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SES-DGESUI por el apoyo recibido en el marco del Programa de Desarrollo

Profesional Docente (PRODEP). Así mismo, se reconoce la participación de los estudiantes de la Licenciatura en Arquitectura del grupo DAESA51 en la materia de Espacio, Sonido y Arquitectura, durante el trimestre 22-O de la UAM-A. Finalmente, se agradece a las y los editores y revisores de la revista ECOS para la publicación de este escrito.

REFERENCIAS

- Ákos, P. (2017). *Crowdsourced noise mapping. Can we use smartphones to measure noise pollution?* (tesis de maestría). Universidad de Oslo, Noruega.
- Bocher, E., Petit, G., Fortin, N., Picaut, J., Guillaume, G., y Palominos, S. (2016). OnoM@p: a Spatial DataInfrastructure dedicated to noise monitoring based on volunteers measurements. *PeerJPreprints*. doi.org/10.7287/peerj.preprints.2273v208
- Bocher, E., Petit, G., Picaut, J., Fortin, N. y Guillaume, G. (2017). Collaborative noise data collected from smartphones. *Data in Brief*, 14, pp. 498-503. doi.org/10.1016/j.dib.2017.07.039
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., y Wilderman, C. (2009). *Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report*. Recuperado el 15 de febrero de 2023 de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED519688.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2023). ¿Qué es la Ciencia ciudadana? *Biodiversidad Mexicana*. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de <https://www.biodiversidad.gob.mx/cienciaciudadana/que-es>

DECIDE (Lab-STICC - CNRS UMR 6285) y UMRAE Laboratory (Université Gustave Eiffel -

- formerly Ifsttar). (2023). *Noise Planet*. Revisado el 23 de abril de 2023 de <https://noise-planet.org/index.html>
- D.O.F. (2013) Norma Oficial Mexicana Nom-081-Semarnat-1994 Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición. México.
- Environmental Protection Agency -EPA- (2003). *Environmental Noise Survey: Guidance Document*. Wexford, Ireland. Revisado: abril 2023: <https://www.leanbusinessireland.ie/includes/documents/EPA%20Environmental%20Noise%20Survey.pdf>
- Quintero, G., Balastegui, A., y Romeu, J. (2019). A low-cost noise measurement device for noise mapping based on mobile sampling. *Measurement*, 148(106894). doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106894.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2021). Somos la Ciudad más conectada del mundo. *Portal de Gobierno de la Ciudad de México*. Recuperado el 18 de abril de 2023 de <https://gobierno.cdmx.gob.mx/noticias/somos-la-ciudad-mas-conectada-del-mundo/>
- Hernández, R., Morales, J. R., y Rózga, R. E. (2021). Gestión y recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) desde la perspectiva de la Ciudad Inteligente (CI): el caso de recolección de basura en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México. En J., Gasca y H. Hoffmann. *Recuperación transformadora de los territorios con equidad y sostenibilidad*, 641-660. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma Metropolitana.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Encuesta Nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares (ENDUTIH) 2021*. Recuperado el 15 de febrero de 2023 de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/OtrTemEcon/ENDUTIH_21.pdf
- Jabbour, J. (2018). Ciencia ciudadana: recopilación masiva de datos agiliza la respuesta a desastres. *ONU programa para el medio ambiente*. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/ciencia-ciudadana-recopilacion-masiva-de-datos-agiliza-la>
- ONU-Habitat. (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana*. Recuperado el 10 de abril de 2023 de <https://unhabitat.org/estado-de-las-ciudades-de-america-latina-y-el-caribe-state-of-the-latin-america-and-the-caribbean>
- Padilla, A. L., Machuca, F. A., e Ibarra, D. (2022). Smartphones, a tool for noise monitoring and noise mapping: an overview. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 3521-3536. doi.org/10.1007/s13762-022-04240-6
- Paniagua, E. (2017). Ciudades inteligentes: la clave NO está en la tecnología. *El País*. Recuperado el 15 de febrero de 2023 de https://elpais.com/retina/2017/04/27/tendencias/1493283914_759472.html
- Picaut, J., Fortin, N., Bocher, E., Petit, G., Aumond, P., y Guillaume, G. (2019). An open-science crowdsourcing approach for producing community noise maps using smartphones. *Building and Environment*, 148, 20-33. doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.049
- Rozzi, C.A., Frigerio, F., Balletti, L., Mattoni, S., Grasso, D., y Fogola, J. (2022). Indoor noise level measurements and subjective comfort: Feasibility of smartphone-based participatory experiments. *PLOS ONE*, 17(1): e0262835. doi.org/10.1371/journal.pone.0262835
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2008). *Programas Delegacionales de Desarrollo Urbano*. Recuperado el 01 de abril de 2023 de <https://www.seduvi.cdmx.gob.mx/programas-delegacionales-de-desarrollo-urbano>
- Suárez, E. y Arenas, J. P. (2018). Educational App for Traffic Noise Mapping. *47th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise)*.
- Zappatore, M., Longo, A., y Bochicchio, M. A. (2017). Crowd-sensing our Smart Cities: a Platform for Noise Monitoring and Acoustic Urban Planning. *Journal of Communications Software and Systems*, 13(2), 53-67.