



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Aplicación móvil de medición y mapeo de molestia por ruido ambiental en la ciudad

Arroyo-Pedroza, Verónica¹; Ponce-Patrón, Dulce R.²

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco (UAM-Azc), Ciudad de México, México, yap@azc.uam.mx ²drpp@azc.uam.mx

Resumen

Las Ciudades Inteligentes o *Smart Cities*, conllevan una serie de recursos y metodologías que evidencian las relaciones entre los ciudadanos y la urbe, y utilizan los datos para su autogestión, aprendiendo e implementando soluciones para optimizar las complejas dinámicas urbanas. Una de esas dinámicas puede ejemplificarse con el ruido ambiental de las grandes ciudades: una serie de sonidos genéricos difíciles de controlar, que usualmente causan molestia y efectos nocivos en la salud de la población. Sin embargo, la contaminación por ruido no se considera un tema primordial que impacte la vida en las grandes urbes. Es por ello que se necesita evidenciar, ver el ruido, para conocer su impacto y la percepción de la población ante su influencia.

El análisis de la problemática se plantea por medio de sistemas de colaboración en los que el usuario provee información de molestia, ubicación, tipo de ruido e intensidad sonora al sistema (abierto). La metodología se fundamenta en dos objetivos: la inclusión de la población como un ente activo en la medición del contaminante y la consolidación de una base de datos que manifieste la molestia colectiva.

Se presenta HUBBUB© Alerta ruido como una aplicación móvil (*app*) activa que busca concientizar y promover un medio ambiente más respetuoso en zonas urbanas, monitoreando la molestia por ruido con la colaboración ciudadana. Los datos recabados por estas observaciones se emplean para el desarrollo de mapas de molestia por ruido donde se observan las zonas de mayor impacto.

Palabras clave: Ruido ambiental, molestia, mapeo, colaboración colectiva, aplicación móvil, conciencia.

PACS: 43.50.Sr, 43.50.Yw

Abstract

Smart Cities entail a series of resources and methodologies that demonstrate the relationships between citizens and the city, and use data for self-management, learning and implementing solutions to optimize complex urban dynamics. One of these dynamics can be exemplified by the environmental noise of large cities: a series of generic sounds that are difficult to control, which usually cause discomfort and have harmful effects on the health of the population. However, noise pollution is not considered a primary issue that impacts life in large cities. This is why it's necessary to make evident, to see the noise, to know its impact and the population's perception of its influence.

The analysis of the problem is proposed through collaboration systems in which the user provides information on annoyance, location, type of noise and sound intensity to the (open) system. The methodology is based on two objectives: the inclusion of the population as an active entity in the measurement of the pollutant and the consolidation of a database that expresses the collective annoyance.

HUBBUB© Alerta ruido (HUBBUB Noise alert) is presented as an active mobile application (*app*) that seeks to raise awareness and promote a more respectful environment in urban areas, monitoring noise annoyance with citizen collaboration. The data collected by these observations is used to develop noise annoyance maps where the areas of greatest impact are observed.

Keywords: Environmental noise, annoyance, mapping, crowdsourcing, mobile app, awareness.



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la densidad de población de los centros urbanos latinoamericanos rebasa los límites del desarrollo. Algunos problemas comunes de infraestructura urbana son la contaminación ambiental, deficientes servicios de movilidad, escasos espacios habitables de calidad, entre otros.

De acuerdo con Cabrero, Orihuela y Ziccardi [1], el desarrollo regional dependerá de las ciudades latinoamericanas, por lo que promover “un entorno social, tecnológico, ambiental e institucional propicio para el mejor desempeño de las actividades económicas y de bienestar social”, aumenta la competitividad de las ciudades en el siglo XXI. Los centros urbanos se enfrentan al incremento poblacional en las principales ciudades y a la revolución digital y tecnológica, lo cual promueve complejas y variadas interrelaciones.

En este contexto, para Rozga y Hernández [2] es prioritaria la planificación urbana, el desarrollo de mecanismos de toma de decisión dinámicos que se enfoquen en el crecimiento y la inclusión de procesos de participación ciudadana. Esto implica la transformación de las ciudades tradicionales a Ciudades Inteligentes. Parte del futuro para estas será integrar una base de datos que coadyuve a gobiernos locales o nacionales para que la información sea utilizada en políticas públicas que involucren directamente a los afectados por el tema.

Ahora bien, el reto radica en que la ciudadanía sea capaz de apropiarse de dichos métodos en su propio beneficio y acceder a las tecnologías de la información y comunicación (TIC) con el compromiso de incidir en un nuevo desarrollo participativo. En una visión humanista de las Ciudades Inteligentes, Domingo Sáenz [3] propone tres variables:

1. Instrumentación: una ciudad necesita sentir. Al igual que los seres humanos vemos, oímos o tocamos, la ciudad requiere sensores que sean capaces de recoger el máximo de información de lo que está sucediendo en sus calles, edificios, etc.

2. Interconexión: la ciudad debe disponer de una red de comunicaciones que pueda soportar el movimiento de la información que circula por ella, y ser capaz de transmitir los datos a los centros de decisión.
3. Inteligencia: para extraer valor de toda la información. ¿De qué sirven los datos si no hay un cerebro que los analice, procese, considere riesgos, tome decisiones y finalmente actúe de la mejor manera posible para solucionar o minimizar el impacto de los problemas?

De esta manera, no se puede ver el futuro de las ciudades sobrepobladas sin la colaboración de la ciudadanía, principalmente a través de aplicaciones móviles, una práctica común para medir el desempeño de las diferentes variables urbanas. Siendo algunas de estas variables transporte, contaminación o utilidades como ubicación en tiempo real (GPS) que le permite al usuario conocer su ubicación y/o trayectos hasta un punto de referencia.

Esta investigación surge de la necesidad de sensibilizar a las personas e involucrarlas en el conocimiento del ambiente sonoro que los rodea, así como el impacto que el ruido genera en su salud. Los recursos utilizados para este fin son la detección móvil, el diseño basado en el usuario y la comunicación gráfica.

Este problema se aborda a partir del desarrollo de la aplicación móvil HUBBUB© Alerta ruido [4] presentada en 2016 con los objetivos de:

- Generar una herramienta de bajo costo que permitirá la adquisición de datos a gran escala.
- Introducir a los usuarios que no posean conocimientos técnicos y que los adquieran a través de una interfaz sustentada en el conocimiento científico a partir de una lectura asequible, intuitiva y de baja complejidad técnica, y apoyada en el lenguaje iconográfico.
- Ofrecer a los gobiernos una herramienta de recolección de molestia ciudadana georreferenciada.

En esta comunicación, HUBBUB© Alerta ruido amplía su estructura con el fin de mejorar el desempeño y generar una apropiación enfocada a diversos rangos etarios por parte de la ciudadanía. Así también, plantea una opción para alertar la molestia por ruido con diversas lecturas: desde y hacia la ciudadanía, los

gobiernos y proyectos de educación e investigación.

2. COLABORACIÓN COLECTIVA CROWDSOURCING

Cada día más, los usuarios de dispositivos móviles utilizan aplicaciones que les ayudan a mejorar su bienestar, así como obtener su geolocalización; 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 y, ya procesada, permitir en conjunto la creación de una 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 sensores/dispositivos de los usuarios y ello alimenta las bases de datos, mismas que serán más robustas cuando el número de dispositivos/usuarios activos sea mayor.

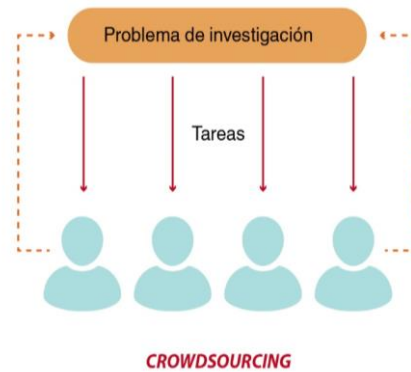
En el primer caso, la detección participativa recolecta pasivamente la información de los sensores, es decir, no requiere intervención por parte del usuario. Esta es procesada y resulta explicativa del problema de investigación, como se muestra en la **Figura 1a**. El uso común del *crowdsensing* es 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.

Figura 1: Comparación de técnicas de recolección de la información: a) *Crowdsensing* y b) *Crowdsourcing*. Adaptado de O'mahony, 2018 [5]

a)



b)



Si se busca la intervención activa del usuario, hablaremos de *crowdsourcing*. El problema a investigar será segmentado en diversos elementos que lo resuelven y asignados como ‘tareas’ para el usuario [5]. 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.



2.1 Aplicaciones móviles para ruido ambiental

La creación de mapas de ruido debe ser representativa de las dinámicas de la ciudad, es por ello que se utilizan diversos métodos de toma de datos, tal como la caracterización de los flujos de tráfico vehicular, aéreos o de trenes en períodos de tiempo determinados para su posterior modelización. Éstos se basan en algoritmos de cálculo que predicen y/o enmarcan la intensidad sonora y el comportamiento de la movilidad en la ciudad. Otras metodologías se basan en mediciones 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, por ende, la modernización de políticas que solventen la problemática actual.

El uso de sensores en los dispositivos móviles ha crecido significativamente en años recientes. Asimismo, aplicaciones de medición del sonido con fines recreativos y profesionales se han desarrollado con el propósito de generar métodos de medición a bajo costo con una precisión equivalente a un sonómetro tipo 2 [6] y medición del nivel sonoro medido en decibeles (dB) y sus promedios temporal. Otras investigaciones [7] 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.

Además de medir la intensidad sonora (dB), los sensores permiten mostrar 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 del LAeq. Sin embargo, existen limitados casos 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.

Finalmente, Zappatore et al. [8] detalla 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: la *app* debe crear datos de ubicación georreferenciada.
- b. Definición de obtención de datos: el usuario debe ser consiente 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.

3. RUIDO AMBIENTAL

En las ciudades, los sonidos ‘intensos’ no están confinados en las zonas industriales, sino que se perciben otros cada vez más comunes, como: los derivados del transporte (automóviles, autobuses, aviones, trenes), la industria, la construcción, las actividades lúdicas y actividades comerciales de la población. A este conjunto lo podemos definir como Ruido ambiental.

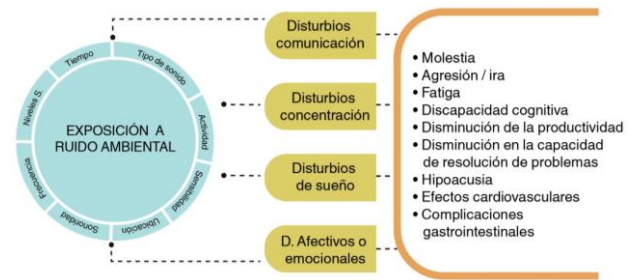
3.1 Molestia

Al compararse los términos ‘sonido’ y ‘ruido’ desde la física no existirá distinción alguna. Sin embargo, el ruido se asocia a las connotaciones perceptuales negativas del sonido: molesto, desagradable e incómodo. Y aquí se encuentran diversas perspectivas, como investigaciones médicas que relacionan la exposición de la población a niveles sonoros (dB) elevados durante periodos prolongados de tiempo, e identifican que existe un déficit en la salud física y mental. Las principales influencias del ‘ruido’ se relacionan con la pérdida auditiva, el aumento en la producción de cortisol (la hormona del estrés) y problemas de sueño. Sin embargo, las consecuencias transversales que ambos ocasionan no deberían ser excluidas [9].

Otras perspectivas se enfocan en la caracterización de ‘la molestia’ como la perturbación o malestar que el ruido produce en la persona. Esto es una cualidad ‘percibida’ del ambiente. El concepto es abstracto y el grado de ‘molestia’ resultará diferente en cada ciudadano, como por ejemplo, en irritabilidad, tendencia a la violencia, aumento de estrés, entre otros [9].

Las consecuencias de esta molestia, se asocian a la actividad que la persona realice al percibir el ruido. Por ejemplo, un ruido constante y alto, reduce la calidad de la comunicación y disminuye la capacidad de atención y resolución de problemas. Otros factores a tomar en cuenta son: la sensibilidad del individuo, la predictibilidad del ruido, la familiaridad con el evento auditivo, los gustos del escucha, las expectativas temporales (si el sonido terminará pronto o empeorará con el tiempo) así como su capacidad de controlar la fuente del sonido molesto [10].

Figura 2: Efectos primarios del ruido ambiental y sus efectos patológicos a largo plazo. Fuente: propio, adaptado de Miedema [11].



De acuerdo con lo antes planteado, la molestia, así como otras consecuencias primarias de la exposición al ruido (aun perceptuales o esporádicas), son las que se manifiestan con mayor facilidad cuando el individuo se encuentra en un entorno ruidoso. Estas exponen condiciones nocivas que se podrían revelar a largo o mediano plazo en los escenarios patológicos antes expuestos, como se muestra en la **Figura 2**. Incluso Malchaire [12] sugiere que el uso de encuestas de molestia por ruido será de gran utilidad para identificar las problemáticas y la toma de decisiones de los recursos técnicos a utilizar.

3.2 Monitoreo de ruido ambiental

El enfoque metodológico de los gobiernos está orientado en conocer y caracterizar el continuo sonoro y la exposición promedio a la que está expuesta la ciudadanía a lo largo del día en una relación dosis-respuesta. De esta forma, se ubican geográficamente las zonas problemáticas y se gestionan los objetivos acústicos de calidad.

El indicador más común para la caracterización del ruido ambiental es el nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq}), que considera el nivel de presión sonora presente en un determinado periodo de tiempo expresado en la ecuación [a]. A este indicador se le realiza una corrección, conocida como ponderación A; método por el cual se realiza un ajuste de la medición para que coincida con el umbral de la sensibilidad del oído humano. En este caso, al indicador se agregará el sufijo A, L_{Aeq} .



$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \left(\sum 10^{0.1 * L_{1h}(i)} \right) \right] \quad [a]$$

El L_{Aeq} se utiliza para conocer la influencia sonora en un área o que incide sobre una edificación. El tiempo de integración por un intervalo horario de interés también puede variar. Por ejemplo, si es necesario conocer el impacto que tiene el sonido en una edificación de oficinas en horario laboral de 09:00 a 16:00 h, el tiempo de integración será de 6 h, basándose en la misma fórmula. Se citan los intervalos horarios más utilizados en mapas de ruido y normativas en [13] [14] [15][16]:

- Nivel sonoro continuo equivalente día (L_{day}); de 7:00 a 19:00 h, con tiempo de integración de 12 h,

- Nivel sonoro continuo equivalente tarde ($L_{evening}$); de 19:00 a 23:00 h, con un tiempo de integración de 4 h y
- Nivel sonoro continuo equivalente noche (L_{night}); medido de 23:00 a 7:00 h, con un tiempo de integración de 8 h

Como se puede observar, esta fórmula se enfoca en diferenciar horarios de flujos urbanos y sus necesidades. Por ejemplo, L_{night} considera el periodo de tiempo de ‘descanso’ y, a partir de este, se generan normativas que indican los niveles óptimos para que ello ocurra; para México, el nivel de exposición de fuentes fijas [17] indica que en horarios de 22:00 a 06:00 h el límite máximo permisible será de 50 dBA en zonas residenciales.

4. DESARROLLO DE APLICACIÓN MÓVIL HUBBUB® Alerta ruido

4.1 Diseño de interfaz versiones alfa y beta

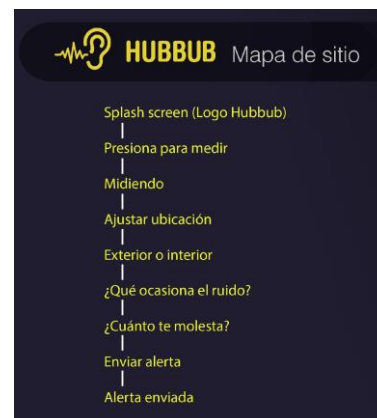
El diseño de la aplicación HUBBUB® Alerta ruido planteó inicialmente tres principios: a) un diseño de interfaz sencillo y claro, b) que la visualización de la información se basara en códigos cotidianos, y c) tomar en cuenta al usuario para lograr un diseño receptivo y sensible a sus necesidades.

Lo anterior se logró a partir de mesas de trabajo con usuarios potenciales a partir de la técnica de prototipado en papel (*paper prototyping*). Dicha metodología permitió conocer la información básica requerida por el usuario para ‘alertar sobre el ruido’. La versión alfa se generó con más de veinte prototipados y se determinó que cinco pulsaciones (*taps*) son suficientes para enviar la alerta: 1. Tiempo para grabación del ruido, 2. Determinar la geolocalización, 3. Determinar la fuente de ruido, 4. Determinar el grado de molestia y 5. Enviar la alerta [4].

Con la versión alfa terminada, se implementaron nuevas mesas de trabajo para corroborar su funcionalidad, observando las consideraciones de un sexto *tap* para determinar

si la medición fue interior o exterior y el ajuste manual de la geolocalización. Para consulta opcional se incluyeron los permisos, un manual de usuario, y la posibilidad de compartir la medición en redes sociales. Finalmente, la versión beta se muestra en la **Figura 3**.

Figura 3: Mapa de sitio de HUBBUB® Alerta ruido Versión beta. Enfoque de medición: 1. Tiempo para grabación del ruido, 2. Determinar la geolocalización, 3. Determinar la fuente de ruido, 4. Determinar el grado de molestia y 5. Enviar la alerta. Fuente: propio.



Las primeras versiones cumplieron con cinco de los siete puntos propuestos previamente por Zappatore et al. [8] y generaron datos relevantes con aportes a los proyectos de investigación. Sin embargo, se evidenció que la prevalencia de una *app* de este tipo requiere de la motivación en la participación por parte de los usuarios y que la

experiencia de conocimientos debía ser ampliada.

4.2 Diseño de la interfaz HUBBUB© Alerta ruido versión gamma

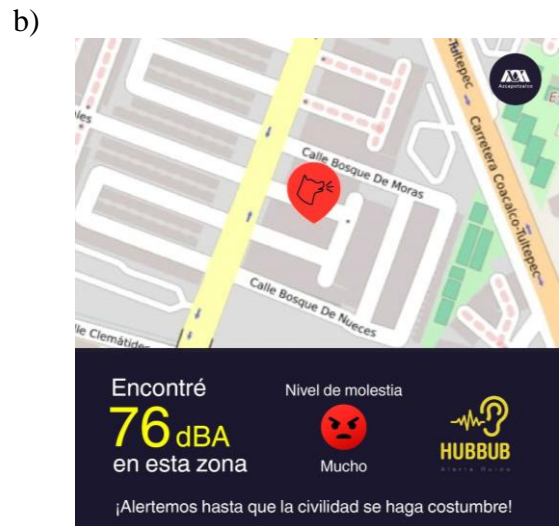
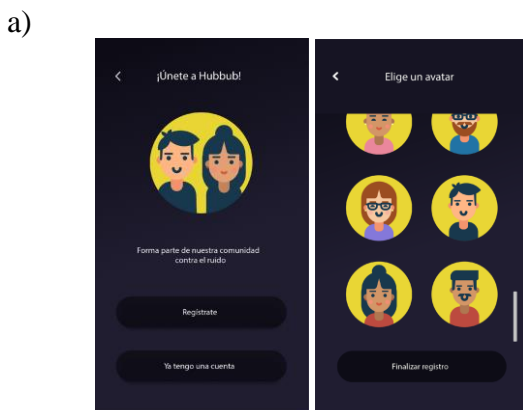
La versión gamma resulta a partir del trabajo con usuarios de diferentes grupos etarios; esta consolida la experiencia de usuario haciéndola más atractiva e incluyente, y brinda a los usuarios un amplio repertorio de mapas con la visualización de los datos obtenidos.

4.2.1 Consolidación de experiencia de usuario

Esta versión plantea una comunidad HUBBUB© Alerta ruido desde lo particular, al identificar al usuario, hasta lo colectivo, al compartir datos con contactos y conocidos.

La versión gamma busca estimular la creación de una cuenta personalizada eligiendo un avatar, e incentiva compartir las experiencias y mediciones en redes sociales, tal como se ve en la **Figura 4**.

Figura 4: Comunidad HUBBUB© Alerta ruido. a) Creación de usuario, b) Imagen para redes sociales. Fuente: propio.



Esta versión genera 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, como se muestra en la **Figura 5**.

4.2.2 Creación de un repositorio para consulta ciudadana

Para consolidar la experiencia social, se genera un mapa colectivo que busca mostrar la molestia por ruido en la ciudad. Los datos generados por usuarios alimentan la base de datos para la misma y, al finalizar el día, todos los datos son integrados.

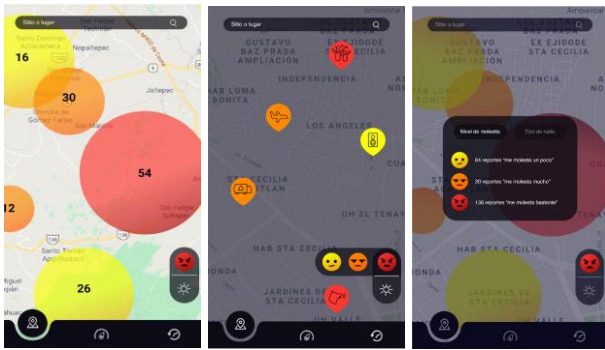
De esta manera, los usuarios pueden visualizar la información que generan a partir de tres elementos de información:

1. Ubicación georreferenciada y 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 [17]: día de 06:00 a 22:00 h y noche de 22:01 a 05:59 h

Otra situación a considerar en los mapas es la escala y los diferentes criterios de información. La escala se adapta a dos tipos de pantalla que se muestran en la **Figura 5**.



Figura 5: Mapa de molestia por ruido ambiental. Grado de molestia noche y día. Fuente: propio.



5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las actualizaciones de la versión gamma convierten a HUBBUB© Alerta ruido en una aplicación más amigable, y la aportación a los usuarios se muestra de una forma objetiva e interactiva.

La interfaz conserva como objetivo central la medición en seis *taps*. Los demás elementos de la *app* (el mapa y la información personal) se podrán consultar por medio de los botones en la base inferior de la interfaz. En la **Figura 6** se muestra la evolución del mapa de sitio.

Con relación al mapeo, fue necesario el filtrado de la información, y, con esto, se obtuvieron siete datos, de los cuales, la *app* solo se enfoca actualmente en tres. Aun así, los recursos utilizados como escala, y color asignados en el

6. CONCLUSIONES

Las *app* basadas en el diseño de usuario permiten acercar el conocimiento de su entorno a los ciudadanos de una forma accesible e intuitiva.

Sin embargo, el éxito de estas no se basará solo en su sencillez y diseño, sino en la forma en la que comprendan al colectivo social y se introduzcan en la vida cotidiana.

Además, la conciencia ante el ruido necesita diversificar sus herramientas y comunicar la información recolectada de otras maneras

- Nivel urbano MANZANA: acercamiento en el que se observan las mediciones puntuales, y una vez seleccionadas individualmente, se despliegan ventanas emergentes que muestra los datos de la medición.
- Nivel urbano DISTRITO: 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.

mapa, denotan de forma intuitiva las zonas problemáticas de la ciudad.

Figura 6: Mapa de sitio de *app* HUBBUB© Alerta ruido Versión gamma. a) Medición, b) Mapeo, c) Comunidad, d) Exposición sonora del individuo. Fuente: propio.



accesibles a los lenguajes de comunicación actuales.

Por ejemplo, es necesaria una página web que permita hacer estas mismas consultas con mayor definición y/o con otras lecturas que le permitan al usuario tener la información y conocimiento del medio ambiente que le rodea.

Los usuarios requieren poder *ver el ruido* y sensibilizarse con los niveles dañinos que las grandes urbes generan y, de esta manera, generar conciencia en sí mismos y en quienes les rodean.

REFERENCIAS

- [1] Cabrero, E., Orihuela, I., & Ziccardi, A. (2003). Ciudades competitivas-ciudades cooperativas: conceptos claves y construcción de un índice para ciudades mexicanas. Documento de trabajo, 139, 32.
- [2] Rózga Luter, R. E., & Hernández Mar, R. (2019). El Concepto de Ciudad Inteligente y Condiciones para su implementación en las ciudades latinoamericanas más importantes.
- [3] S Sáenz, D. (2011). Smart environments: las TIC en las ciudades inteligentes. Informe breve de Tendencias.
- [4] Arroyo-Pedroza, V., Rodríguez-Manzo, F., García-Madrid, R., Diaz-de-León, I., & Reyes-Aguilar, H. (2016). A proposal for a mobile phone's application alerting and warning about noise pollution. PROCEEDINGS of the 22nd International Congress on Acoustics (pp. 1-10). Buenos Aires.
- [5] O'Mahony Alonso, M. (2018). Crowdsensing en smart cities. Propuesta arquitectónica para un sistema de crowdsensing.
- [6] G. Quintero, A. Balastegui, J. Romeu (2019). A low-cost noise measurement device for noise mapping based on mobile sampling. Journal of measurement vol 148 106894.
- [7] Ákos, P. (2017). Crowdsourced noise mapping. Can we use smartphones to measure noise pollution? Oslo: University of Oslo.
- [8] Zappatore, M., Longo, A., & 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.
- [9] World Health Organization. (2018). Environmental noise guidelines for the European region. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- [10] Rozzi, C. A., Frigerio, F., Balletti, L., Mattoni, S., Grasso, D., & Fogola, J. (2022). Indoor noise level measurements and subjective comfort: Feasibility of smartphone-based participatory experiments. PloS one, 17(1), e0262835.
- [11] Miedema, H. M. (2007). Annoyance caused by environmental noise: Elements for evidence-based noise policies. Journal of social issues, 63(1), 41-57.
- [12] Lester, H., Malchaire, J., Arbey, H. S., & Thiery, L. (2001). Strategies for noise surveys. Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control, 141-146.
- [13] ISO 1996-2: 1987. (1987). Acoustics—Description and Measurement of Environmental Noise—Part 2: Acquisition of Data Pertinent to Land Use.
- [14] Cowan, J. P. (1993). Handbook of environmental acoustics. John Wiley & Sons.
- [15] Rasmussen, B. (2006). Facade sound insulation comfort criteria in European classification schemes for dwellings. In Proceedings of EuroNoise2006.
- [16] Locher, B., Piquerez, A., Habermacher, M., Ragetti, M., Röösl, M., Brink, M., ... & Wunderli, J. M. (2018). Differences between outdoor and indoor sound levels for open, tilted, and closed windows. International journal of environmental research and public health, 15(1), 149.
- [17] DOF. (2013) NOM-081-SEMARNAT-1994NORMA Límites máximos permisibles para fuentes fijas en México.

