

Soundless

Plataforma de ciencia ciudadana para auditar los efectos de la contaminación acústica en la ciudad de Tarragona

Daniel Alejandro Coll Tejeda
Sergi Domingo Basora
Pedro García Lopez



**UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI**

Tabla de contenido

Soundless	1
Introducción.....	3
Arquitectura del proyecto.....	5
Soundless para Android.....	6
Google Cloud Platform	7
Privacidad	8
Análisis de los datos	9
Detección de incidencias	9
Fiabilidad de los datos.....	10
Correlación entre ruido y salud	12
Resultados finales	13
Límite legal	13
Fuentes de los sonidos.....	14
Problemática de cada barrio	16
Incidencias periódicas	19
Conclusiones y recomendaciones	21
Referencias bibliográficas	23

Introducción

Actualmente, y desde hace algunos años, el ruido provocado por la actividad humana ha sido objeto de estudio de múltiples investigaciones sobre el tema. Este problema no es algo local o estatal, es un problema que lleva ocurriendo a nivel global desde hace décadas.

El proyecto Soundless se originó con la finalidad de estudiar la **afectación del ruido** producido por medios de transporte como coches, trenes, entre otros. Este problema ha sido objeto de estudio a nivel global, ya que, en 2011, la OMS comenzó a advertir sobre los posibles efectos del ruido en la **salud humana** [1]. Para que posteriormente, en 2019, publicara un estudio confirmando la gravedad de esta problemática y el impacto que tiene en los ciudadanos europeos [2].

Se habla de que niveles superiores a 45 dB durante la noche, suponiendo este, el nivel máximo permitido en horas de descanso supone más personas con insomnio, estrés, poca productividad, obesidad, ... Muchos problemas que afectan a la salud y algunos de forma irreversible.

Estas fueron las motivaciones que originaron la creación del proyecto Soundless. Este es un proyecto de **ciencia ciudadana** desarrollado por el grupo de investigación *Cloud and Distributed Systems Lab* [3] de la Universitat Rovira i Virgili, junto con la cofinanciación por parte de la Diputación de Tarragona a través del Conveni Marc.

Este proyecto se ha creado con el único y principal objetivo de la creación de una plataforma que permitiese mediante un exhaustivo estudio del ruido generado por las noches en la ciudad de Tarragona, identificar esos problemas de sonido y darles más visibilidad. A la vez que se demuestra si estos superan la normativa actual, cosa que no debería de ser posible, y si estos mismos ruidos producen graves alteraciones en la salud de la ciudadanía.

Para ello hemos contado con la participación de la *FAVT (Federación de Asociaciones de Vecinos de Tarragona)*, junto con las asociaciones de vecinos del barrio del Francolí y de Tarragona 2. Finalmente, también se ha contado con la colaboración de una comunidad de vecinos proveniente del barrio del Serrallo, sin ellos este estudio no habría sido posible.

Cabe destacar que el periodo de obtención de datos del proyecto ha sido durante los meses de noviembre y diciembre. Meses de invierno, en los cuales los residentes cierran ventanas para evitar el frío. Este hecho hace que las mediciones realizadas sean menos propensas a captar el ruido exterior de lo que realmente lo hace en meses de verano. Por ello, el grupo tiene la intención de realizar una segunda fase

de obtención de datos con un mayor número de participantes, en meses de calor, donde las personas abren ventanas y puertas.

Arquitectura del proyecto

Soundless es la evolución de un proyecto donde originariamente había una aplicación móvil sencilla, que se encargaba de la recogida de datos, y un único servidor para las tareas de procesamiento, generación, análisis, y demás tareas. La aplicación hoy en día cuenta con una gran variedad de funciones nuevas, junto con una implementación y utilización de la nube de Google a gran escala.

La arquitectura actual del proyecto consiste en una pieza central, que sería Soundless, la aplicación móvil, junto con una serie de servicios interconectados. Entre ellos se encuentra Fitbit Cloud Platform [6], una plataforma de Fitbit, la cual nos ha permitido la gestión y obtención de datos de salud como serían el ritmo cardiaco y el sueño. Finalmente, junto a estos servicios, coexisten múltiples servicios de la plataforma en la nube de Google Cloud, esta nos ha proporcionado las herramientas necesarias para la gestión, almacenamiento, procesado, generación y análisis de todos los datos obtenidos.

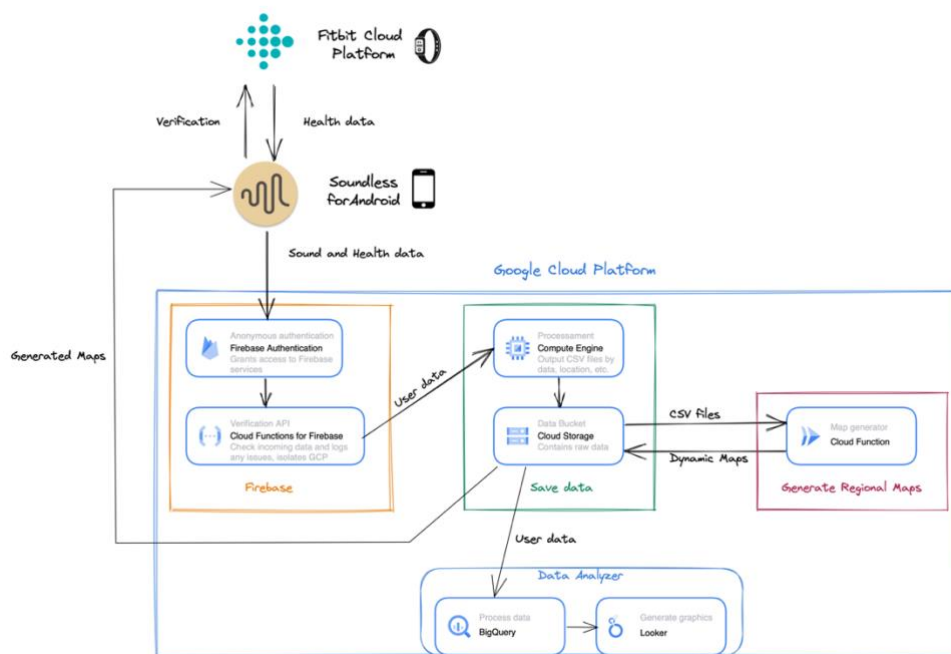


Figura 1. Arquitectura del proyecto.

Como vemos en el diagrama anterior [Figura 1], la aplicación móvil es la encargada de obtener los datos de ruido a través del micrófono, recoge los datos de salud de la API de Fitbit y los envía finalmente a la nube de Google Cloud. Una vez ahí se almacenan, procesan y analizan en diferentes procesos.

Soundless para Android

Como decíamos anteriormente, la aplicación de Soundless es **la pieza central** del proyecto, es la encargada de registrar los datos, gestionarlos y transferirlos a la nube, todo ello de forma independiente y anonimizada para el usuario. Teniendo en cuenta siempre la protección de los datos y la información de los participantes.

Esta herramienta tiene varias partes importantes para la gestión de los datos, la primera y principal es la captura de los niveles de ruido. En este punto entra en juego un gran desafío, este es el propio cálculo del nivel de decibelios captados por el micrófono. Debido a que no existe ninguna forma de obtenerlos de forma sencilla, es necesario realizar una serie de cálculos para su obtención.

El método utilizado está basado en la detección del nivel de decibelios a partir de una serie de fórmulas que nos permiten, gracias a un valor de referencia y una potencia dada, obtener el valor con el que poder trabajar. Tras las pruebas realizadas en los laboratorios de los investigadores con distintos dispositivos en distintas situaciones, podemos afirmar que contamos con **una precisión de +-5dB** en comparación con el dispositivo especializado (*SPL*) utilizado en el laboratorio [5].

Tras esto, el segundo desafío es la obtención de los datos de salud. Una vez capturados los datos registrados por el micrófono, es momento de la captura de los datos de salud. Para ello es necesario llevar consigo una **pulsera de actividad** que se les proporcionó a los participantes cuando se añadieron a este proyecto. Esta pulsera está diseñada por Fitbit y permite la captura de datos como el ritmo cardíaco de la persona durante la noche y el estado del sueño.

Google Cloud Platform

A grandes rasgos, el funcionamiento de esta plataforma en nuestra arquitectura ha sido la siguiente:

- El usuario realiza la grabación de decibelios en su dispositivo móvil, a la vez que, mediante la pulsera, realiza la grabación de sus datos de salud.
- Una vez finalizada, envía los datos de forma voluntaria a los servidores de Google Cloud, una vez ahí, se inicia un proceso diario para la autenticación y almacenado de los datos en la nube.
- Tras esto, y también de forma diaria, se inicia un proceso el cual es capaz de detectar las incidencias ocurridas durante la noche y se generan unos mapas de calor mostrando las incidencias por zonas.
- Estos mapas son almacenados nuevamente en el almacenamiento en la nube, para que los usuarios puedan acceder a ellos y obtener los mapas generados diariamente en cualquier momento.

Esto se ejecuta todas las mañanas, por lo que los mapas son generados **diariamente**. Esto es un punto muy importante para el estudio, ya que, tener información prácticamente a tiempo real de las zonas con un mayor número de incidencias, el tipo de incidencias, y la hora en la que han ocurrido con mayor frecuencia es de vital importancia.

Ayuntamientos, gobiernos y demás órganos gubernamentales, realizan estudios periódicos mediante diferentes auditorías. El problema principal de estos estudios es que se realizan cada varios años, haciendo así que la información brindada a los ciudadanos se vea reducida en gran medida.

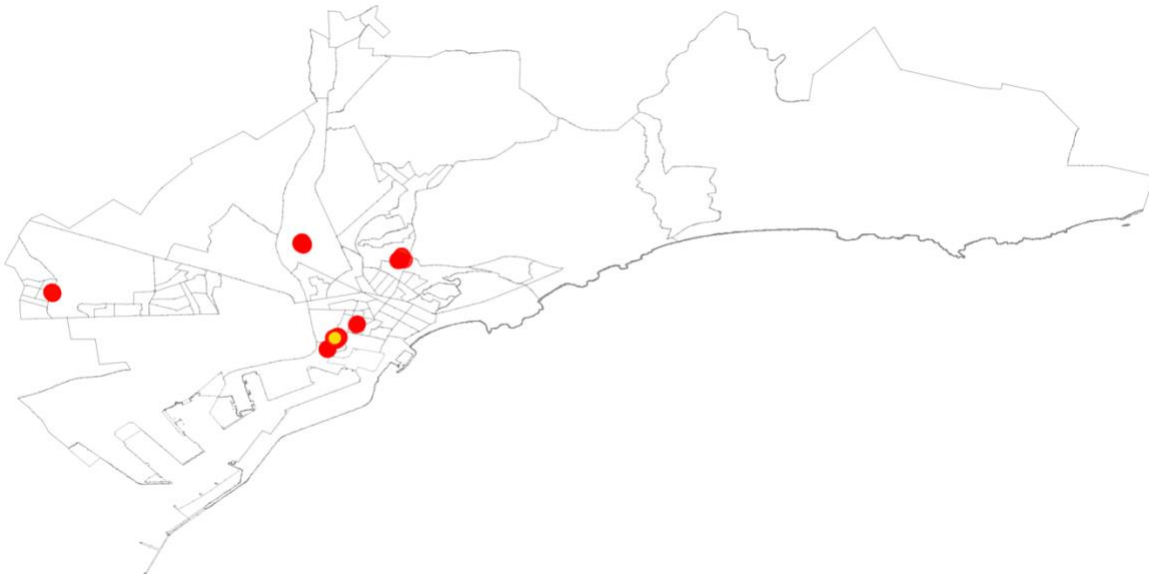


Figura 2. Mapa dinámico de la ciudad de Tarragona.

Privacidad

Desde la primera concepción de este proyecto, este ha sido uno de los mayores puntos a tener en cuenta. Siempre se ha buscado tener la **mayor privacidad, anonimidad y transparencia** con el usuario sobre el tratamiento y utilización de sus datos, por ello durante el desarrollo se introdujeron diferentes medidas para tratar de dar una mayor seguridad.

Con esa premisa se introdujo la primera medida de privacidad. Como se ha explicado en puntos anteriores, todo el proceso de autenticación necesario se realiza mediante una serie de procesos entre el dispositivo y la nube. Esto quiere decir, que nosotros como investigadores de la URV **no almacenamos ningún tipo de información** de la persona detrás de él. Esto a su vez, ha supuesto un desafío extra a la hora de hacer el análisis de los datos, ya que al **no poder identificar a las personas** ni a sus grabaciones se ha hecho más complicada esta tarea, pero creemos que el esfuerzo ha merecido por tener un sistema totalmente privado y seguro.

Tras este proceso de autenticación, el resto de las comunicaciones entre dispositivo y servidores se realiza de forma anonimizada. Todas y cada una de las grabaciones conllevan un identificador generado aleatoriamente en el propio dispositivo del usuario, haciendo así una tarea imposible de identificar el dispositivo que ha generado esas grabaciones.

Otro punto de vital importancia era la viabilidad de introducir datos geolocalizados en las propias grabaciones. Esto suponía un riesgo en el registro de la localización de las personas, por ello, junto a la medida implementada para evitar tener ningún seguimiento de la persona ni de sus grabaciones se introdujo una medida que permitía hacer una pequeña modificación totalmente aleatoria a la ubicación de la persona.

Esta medida permitió obtener una **localización aproximada**, en ningún momento la real, de cada una de las grabaciones para poder obtener información sobre el barrio en el que estaba ocurriendo, pero a su vez, no poder obtener ninguna información sobre el domicilio de los participantes.

Estas medidas juntas han supuesto que, durante la realización del estudio, nadie que haya podido o pueda tener acceso a los datos registrados, pueda llegar a obtener en ninguna circunstancia ningún tipo de información privada sobre las personas. Por ello, todas las gestiones y comunicaciones fueron a través de las distintas asociaciones de vecinos que nos sirvieron como intermediarios en este proceso.

Análisis de los datos

Detección de incidencias

Para realizar el análisis de los datos han sido necesarios superar y enfrentarse a una serie de desafíos o retos que se han propuesto en el camino. Uno de los principales y más importantes ha sido la realización de la detección de incidencias.

Para empezar, una incidencia se entiende como la subida repentina y de forma anómala de una variable, es decir, si en una grabación de 2 horas, con una media de 30 dB, existe un momento de la noche donde este valor aumenta en pocos segundos hasta los 50 dB, se entiende como una incidencia y una infracción de la normativa actual de ruido nocturno.

Por ello se realizó un estudio previo sobre las diferentes opciones y alternativas que existen actualmente sobre la detección de valores anómalos en diferentes grabaciones. Tras una búsqueda exhaustiva se decidió por el algoritmo basado en el principio de dispersión llamado *z-scores* [7].

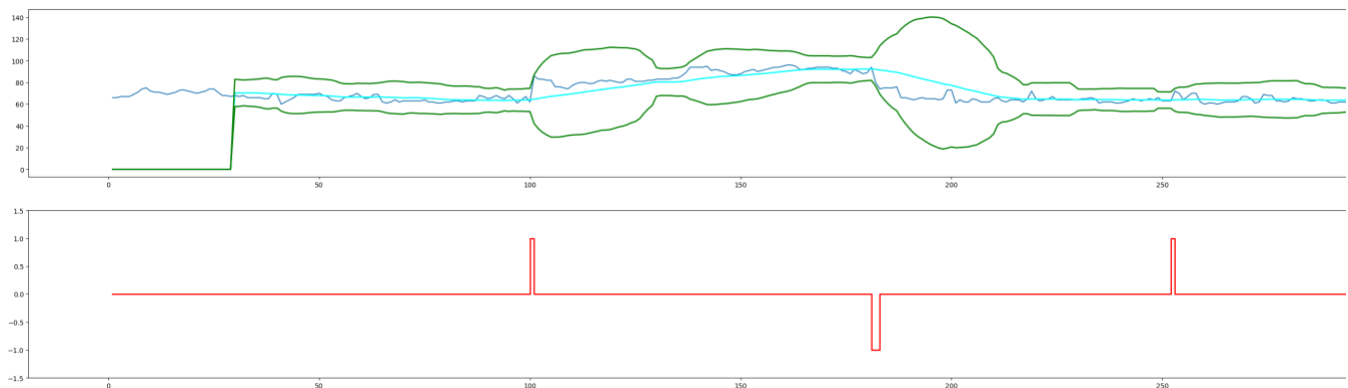


Figura 3. Ejemplo de z-scores.

Antes de empezar con la detección fue necesaria una pequeña limpieza de datos para tratar de que los resultados fueran lo más fiable. Para ello se descartaron todas aquellas grabaciones las cuales tenían datos incorrectos o irreales. Tras este exhaustivo proceso de filtrado, se hizo otro paso previo al análisis y fue la agrupación por zonas geográficas de los datos, también llamado *clustering* [8].

Una vez finalizado el preprocesado de los datos se realizó la detección de incidencias como tal. Para ello, se utilizó un algoritmo matemático y estadístico basado en el principio de dispersión. Este algoritmo es ideal, ya que, **este es capaz de detectar cambios en el tiempo.**

En otras palabras, si en una grabación en un momento dado, los decibelios empiezan a subir lentamente por cualquier razón externa, el algoritmo reconocerá este patrón y no lo detectará como una incidencia, ya que es un aumento gradual. Pero en cambio, si el aumento es muy pronunciado en un periodo corto de tiempo, lo detectará como incidencia y lo marcará.

Fiabilidad de los datos

Una vez encontrado el algoritmo que se ajustaba más a nuestra casuística se propuso realizar un pequeño estudio en busca de dar una mayor fiabilidad y eficiencia al mismo. Para ello se hizo una comparación entre varios algoritmos.

Para su realización se propuso coger la media de incidencias detectadas en 100 grabaciones por un algoritmo simple, definiendo el rango máximo de incidencia con un valor calculado simple, y un algoritmo complejo como z-scores basado en el principio de dispersión.

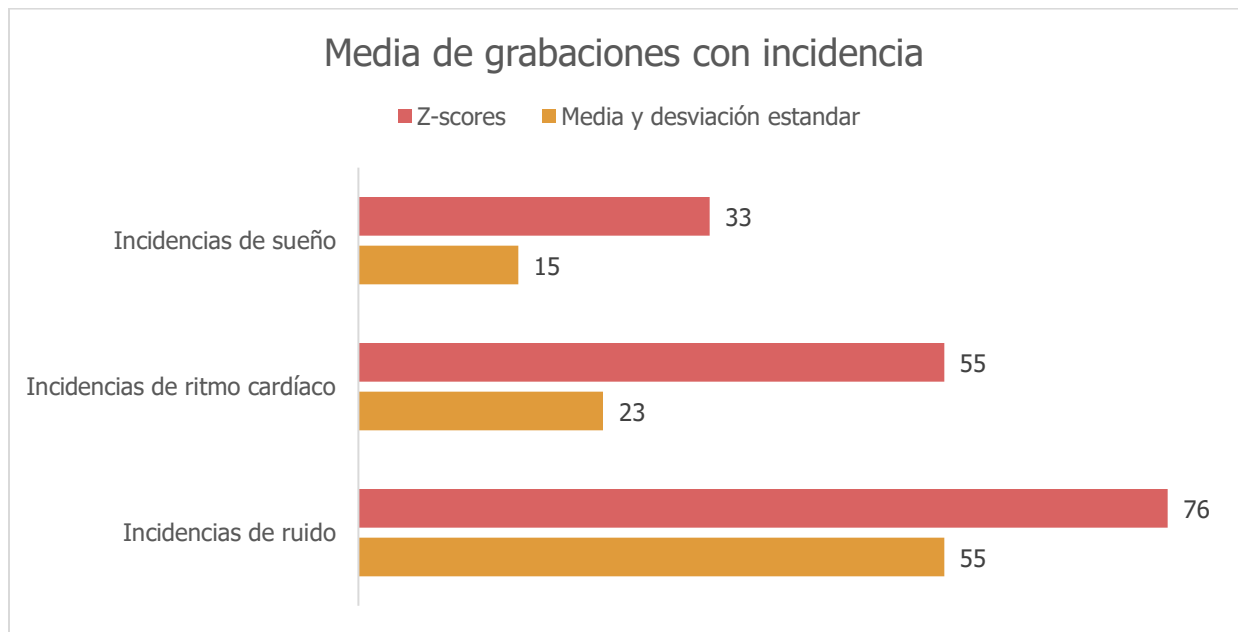


Figura 4. Media de grabaciones con incidencia.

Tras este estudio y corroborando que los resultados obtenidos en el algoritmo complejo tienen una mejor aproximación a las diferentes situaciones vividas en la realidad y en las grabaciones, se propuso a z-scores como algoritmo escogido para el estudio.

Posteriormente, y para dar aún más fiabilidad a los datos se realizó una comparativa entre un **estudio desarrollado por el ayuntamiento de Tarragona** con el propósito de buscar una problemática de ruido en distintas calles objetivo. Este estudio se centró especialmente, en la búsqueda de esta problemática en los barrios cercanos a las vías del tren.

		C/Tomàs Forteza (Savinosa)			C/Robert d'Aguló (Miracle)			C/Xavier Montsalvatge (Torres Jordi)		
		L _d (7h-21h)	L _e (21h-23h)	L _n (23h-7h)	L _d (7h-21h)	L _e (21h-23h)	L _n (23h-7h)	L _d (7h-21h)	L _e (21h-23h)	L _n (23h-7h)
L _{Aeq}		71	70	68	63	54	61	61	57	56
Objectius de qualitat del mapa de capacitat acústica		65	65	55	65	65	55	65	65	55
L10		57.1	54.7	53	59	52.2	50	64.3	60.1	58.7
L90 (fons)		48	46	43.3	47	44.1	41.2	54.2	45.7	36.9
L _{Amax}		96	95	97	95	81	89	87	75	76
Valor límit L _{Amax} per noves infraestructures ferroviàries		85	85	85	85	85	85	85	85	85
Trens		Núm.	102	15	22	96	11	27		
Trens amb L _{Amax} > 85 dBA		Núm.	69	9	16	6	0	2		
		%	68%	60%	73%	6%	0%	7%		
Temps de pas mitjana aritmètica (s)			15	14	22	24	17	42		
Temps de pas Percentil 50 (s)			10	11	19	18	15	41		

Figura 5. Resumen de las métricas acústicas del ayuntamiento de Tarragona.

Como se puede comprobar en esta tabla [Figura 6], según este estudio, la media del tiempo en que un tren tiene presencia en estas calles, y por tanto, generando una problemática de ruido es entre 22 y 27 segundos. Comparado con nuestros resultados donde la mayoría del tiempo, las incidencias de ruido duran entre 20 y 30 segundos, se puede comparar que estos datos y los datos obtenidos en el estudio concuerdan entre ellos.

Otro dato interesante a destacar es la cantidad de decibelios que llegan a alcanzar estos trenes, suponiendo un **73% del tiempo un nivel superior a 85 dB**, en horas de descanso entre las 23:00 y las 07:00, siendo un dato también observado en nuestros datos.

Esto viene a demostrar una vez más y a dar mayor importancia el hecho de que **son necesarias unas medidas de contención de ruido** y de mitigación de este, ya que es un problema detectado por el propio ayuntamiento en uno de sus estudios y recientemente demostrado por este proyecto de investigación ciudadana.

Correlación entre ruido y salud

Una vez finalizado el proceso de detección de incidencias, se centraron esfuerzos en el siguiente objetivo del proyecto, y es la demostración de que realmente estos ruidos excesivos y repetitivos que afectan a los vecinos provocan daños o influyen en la salud de las personas.

Por ello se propusieron diferentes métodos matemáticos y estadísticos con tal de poder llegar a una conclusión. Tras varios intentos de estudio, se decidió realizar una **correlación temporal y causal** de los hechos. Es decir, si una acción específica, en este caso provocar un ruido, producía una reacción determinada, en este caso una alteración en el ritmo cardiaco o sueño de las personas.

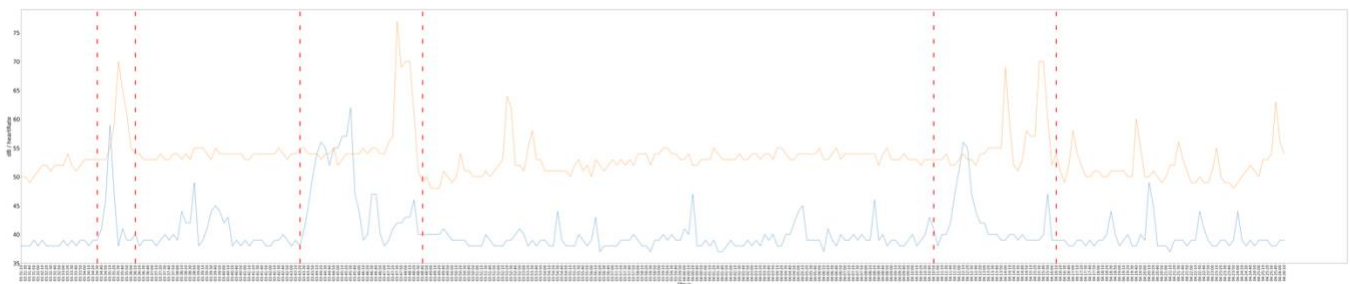


Figura 6. Nivel de dB (azul) y ritmo cardiaco (naranja) de una grabación.

En este gráfico [Figura 6] se puede observar dos líneas destacadas, una de ellas de color azul que representa el nivel de decibelios de una grabación escogida aleatoriamente en el Serrallo y en color naranja el nivel de ritmo cardiaco de dicha grabación.

Una vez explicado el gráfico anterior, y tras varios estudios y búsqueda exhaustiva de los datos, se pudo comprobar como sí, **1 de cada 3 incidencias de ruido afectaron a la salud** de la persona sea en el ritmo cardiaco, en el sueño o incluso afectando a las dos al mismo tiempo, provocando que un simple ruido despierte y altere a varios vecinos en su momento de descanso personal.

Resultados finales

Tras explicar el proyecto, como está estructurado y como ha sido su desarrollo, es el momento de hablar de los resultados obtenidos en esta investigación.

Límite legal

Como bien decíamos al inicio del documento, la OMS y los organismos gubernamentales de esta región, establecieron que el límite legal y recomendado para el ruido nocturno generado es de 45 dB, siendo este valor el punto máximo al cual se podría llegar a alcanzar. Y después de un exhaustivo análisis de los datos recogidos durante 61 días de estudio, el número de veces que se ha superado este límite es **cientos o miles de veces mayor** del permitido.



Figura 7. Número de infracciones en los barrios de Tarragona 2, Francolí, el Serrallo y el total.

En el gráfico anterior [Figura 7], se pueden observar el número de infracciones cometidas, y las horas a las que se cometieron, todo ello distribuido por los diferentes barrios donde se ha focalizado el estudio. En

estas tablas se puede observar cómo los datos no son uniformes en todas las partes de la ciudad, y esto es debido al origen del ruido, factores de los cuales se dará más detalle en este mismo documento más adelante.

Observando estas tablas se puede comprobar como una gran parte del tiempo de descanso de los ciudadanos se superan los límites establecidos, provocando que las personas en estas zonas deban de convivir con unos niveles de ruido superiores a 45 dB, valores que no deberían de ser posibles y no deberían de permitirse por parte de la administración. **Superando los límites** hasta un máximo de **63.363 veces durante el periodo de estudio**, mostrando aún más la gran problemática que existe entre los vecinos de la ciudad.

Fuentes de los sonidos

Pudiendo haber observado y comprobado que realmente **sí que existe una problemática de sonido**, es momento de hablar los orígenes y que provoca el ruido realizado en los distintos barrios.

Para ello, nos hemos basado en la ubicación geográfica de estos mismos barrios, los comentarios y opiniones recibidas por los participantes del estudio y los datos obtenidos, para tratar de corroborar todos estos y dar una respuesta firme a la fuente del sonido que provoca estas incidencias por barrios.

Tras algunas entrevistas con los diferentes vecinos de los barrios de **Tarragona 2 y el Francolí**, nos indicaron que su mayor problemática era denominada **Autovía del Mediterráneo, la A-7**. Una autovía donde circulan miles de coches diariamente, provocando ruidos que afectan a los vecinos.

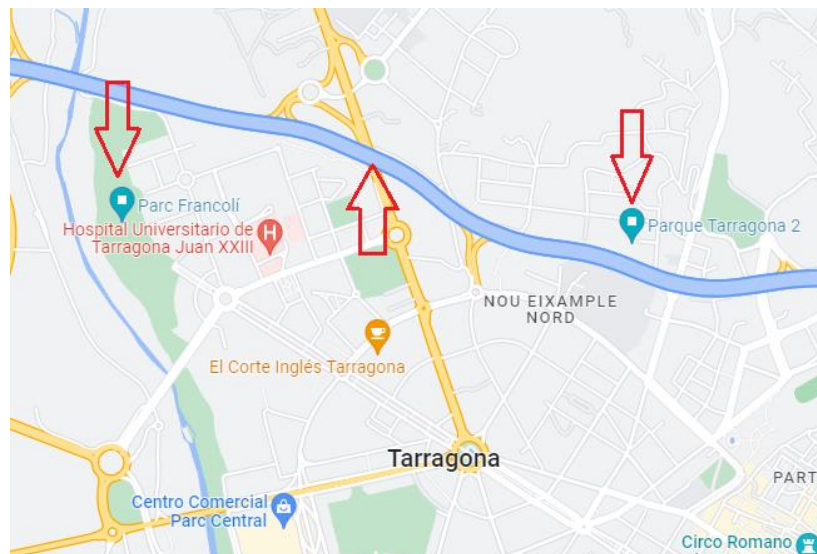


Figura 8. Mapa de Tarragona 2, Francolí y A-7.

Esta carretera supone la mayor fuente de ruido de estas zonas, y así se puede ver en la imagen anterior [Figura 7], donde **las horas de mayor incidencia son aquellas horas donde la actividad en el tráfico es mayor**, como podrían ser las últimas horas de la noche o las primeras de la mañana. Haciendo que las horas de menor tráfico sean a su vez las horas con menor número de infracciones.

Tras esto, se hizo lo propio en el barrio del **Serrallo**, y como veníamos anticipando anteriormente, los mayores problemas de este barrio son las vías del tren y los trenes de mercancías que viajan hacia y desde el puerto de Tarragona.

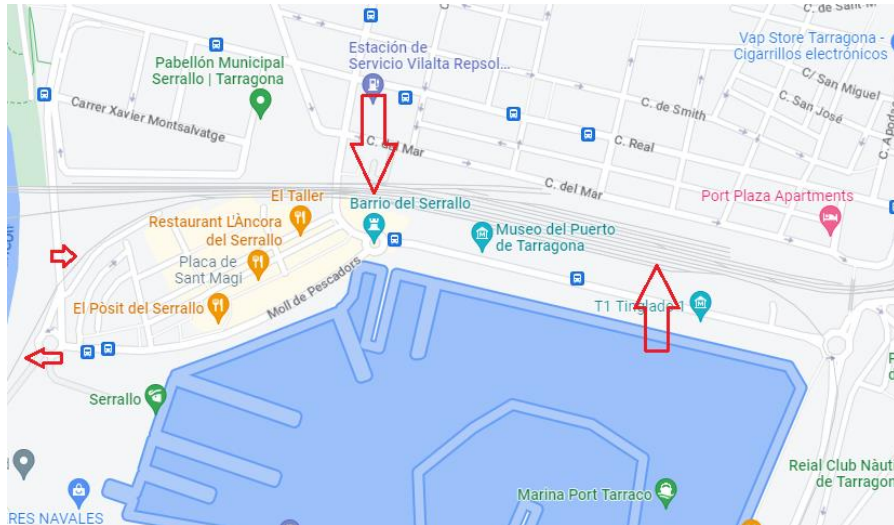


Figura 9. Mapa del Serrallo y las vías del tren.

Como en el caso anterior, el primer paso fue hacer unas series de preguntas a los vecinos de la zona para comprender cuál era la principal problemática que ellos vivían, y si esta se contrastaba con los datos mostrados. En este barrio, el problema principal es la falta de barreras acústicas para tratar de mitigar los ruidos generados por los trenes que circulan por **las vías hacia el puerto de Tarragona** de forma nocturna.

Después de una exhaustiva investigación sobre esta misma problemática se detectó, que, a diferencia de los barrios anteriores, la problemática no era a ciertas horas, sino que era periódica durante prácticamente toda la noche, pero, sobre todo con ciertos patrones preocupantes entre las **04:00 y 06:00**. Intervalo donde, realiza su recorrido un tren comprobado por los investigadores.

Una vez realizado el foco en los orígenes del ruido causado en los distintos barrios, es hora de realizar un estudio más extenso sobre estos y dar a conocer más detalles para tratar de dar luz a un problema cada vez mayor.

Problemática de cada barrio

Tras esto, el primer punto en el que buscamos inferir es si en realidad estos problemas ocurren solo ciertas noches concretas, las cuales producen un exceso de ruido superando los límites legales, o en realidad es un problema recurrente que ocurre diariamente en estas zonas.

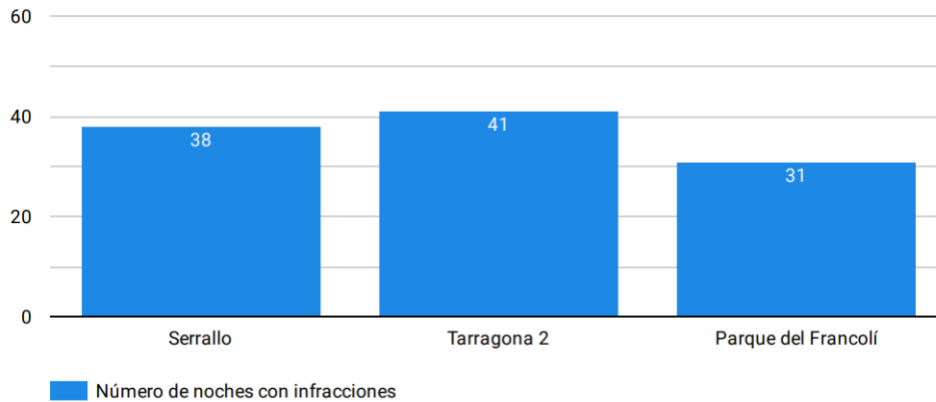


Figura 10. Número de noches con infracciones de sonido por barrio.

Estos gráficos muestran la cantidad de noches con infracciones de sonido distribuidas por barrios. Para poder entender estos datos hay que destacar que estos datos son recogidos a partir de las grabaciones voluntarias de las personas. Estas mismas grabaciones fueron realizadas en fechas festivas incluidas, por lo tanto, no hay un registro de las 61 noches en estos dos meses. Pero quitando de este punto, podemos afirmar que durante **TODAS** las noches que ha habido grabaciones, **sufrieron en algún punto alguna incidencia de sonido** que superó los 45 dB, infringiendo así la legislación actual.

Tras esta visión empezaron a surgir dudas y cuestiones sobre los problemas que ocurren en cada barrio. En primer lugar, los picos máximos en cada una de las zonas nos ayudan a poder conocer la gravedad de ciertas incidencias que sobresalen exageradamente de lo normal.

Barrio de Tarragona	Nivel máximo de dB
Bonavista	96
Tarragona 2	84
Serrallo	83
Parc del Francolí	73

Figura 11. Niveles máximos de dB registrados con el usuario durmiendo.

Viendo este gráfico [Figura 11], podemos observar cómo los picos máximos en cada uno de los barrios han superado por prácticamente el doble los límites establecidos. Suponiendo el **pico máximo en 96 dB**, cifra que es muy superior al límite y que interfiere evidentemente en la salud de las personas.

Tras esto, la siguiente cuestión nos trae a preguntarnos la variabilidad a lo largo de los diferentes días de la semana, y el nivel de ruido que hay en estos días. Para ello se realizaron diferentes estudios demostrando que sí, **el ruido es un problema mayor entre semana que los fines de semana**.

Esta misma conclusión podría relacionarse con los tipos de ruido que existen en las diferentes zonas y cuáles son sus orígenes. En los barrios de Tarragona 2 y el Francolí podemos observar cómo estos ruidos se relacionan una vez más con la premisa anterior de que estos ruidos son generados por personas que salen o entran a sus correspondientes trabajos, provocando ruido. Y en el barrio del Serrallo, relacionando aún más el hecho de que estos ruidos son generados por los trenes de mercancías que entran y salen del puerto de Tarragona.

Posteriormente a esto, y habiendo respondido a las cuestiones anteriores, entra en juego la cuestión de si estos ruidos son más propensos a generar alteraciones en el ritmo cardiaco o en el sueño. Según nuestro estudio, los datos demuestran que **un ruido es más propenso a generar afectaciones en el ritmo cardiaco que en el estado de sueño**.

Y finalmente, la última pregunta sobre las horas con mayor número de incidencias, no confundir con las infracciones de sonido mencionadas anteriormente.

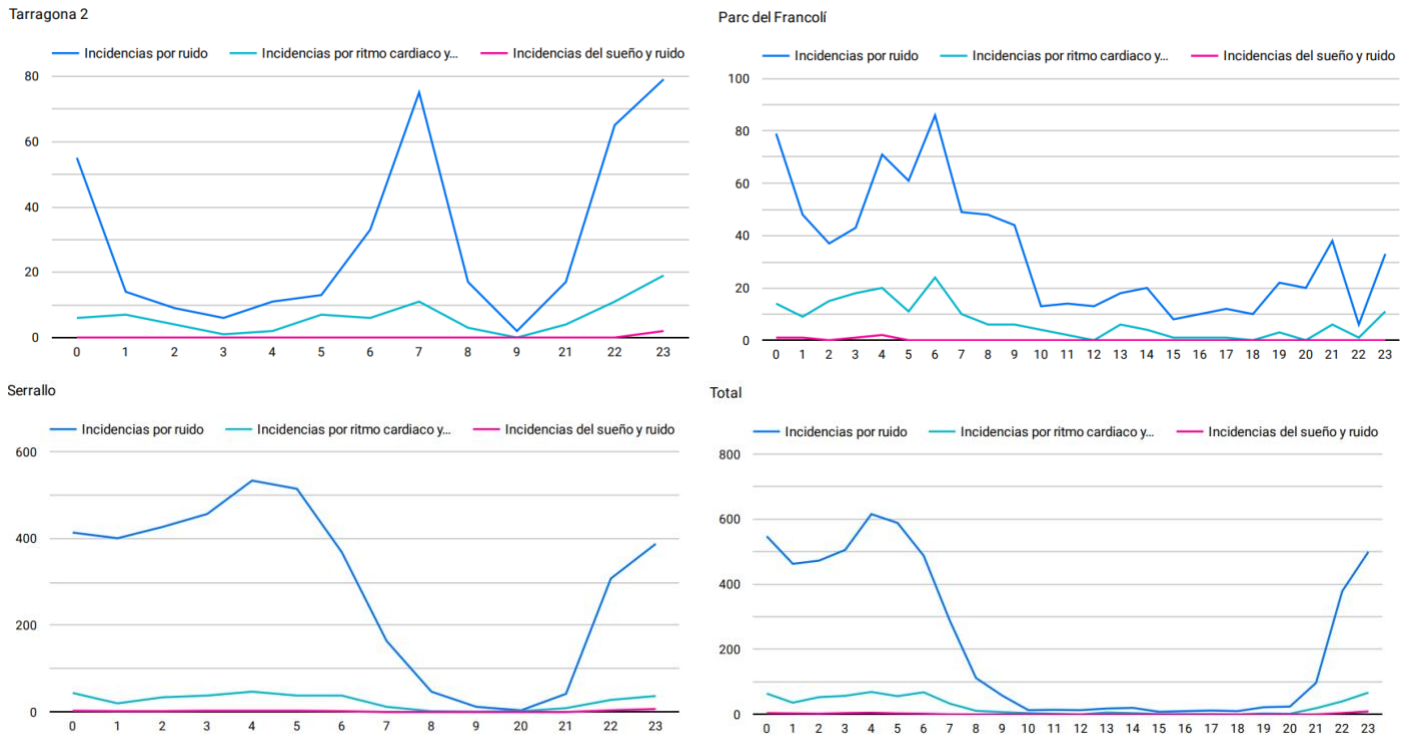


Figura 12. Incidencias registradas por horas en Tarragona 2, Francolí, Serrallo y el total.

Observando el gráfico de incidencias [Figura 12], se puede ver como estos datos corresponden y se correlacionan con lo visto anteriormente [Figura 7]. Se observa como las horas donde hay una mayor cantidad del tiempo que los residentes tienen un nivel de ruido superior a 45 dB, se refleja en las horas con un mayor número de incidencias, tanto de ruido como ritmo cardiaco y sueño.

En adición a esto, también se puede observar como en la mayoría de los casos, los momentos con **una mayor incidencia de ruido**, también son las horas con **una mayor incidencia de ritmo cardiaco y sueño**. Evidenciando una vez más como estos problemas también afectan a la salud de las personas, cambiándoles sus ciclos cardiacos, evitándolas de un sueño profundo y reparador o incluso despertándolas por completo por un ruido totalmente ajeno a sus vidas.

Incidencias periódicas

Tras la realización del estudio del origen de las problemáticas por barrios, un estudio para poder conocer con mayor detalle como es el comportamiento habitual en estos, hemos considerado importante hablar y mostrar a la comunidad, los **ruidos periódicos que se viven en el Serrallo**.

El ruido periódico en este barrio es un problema alarmante que afecta la salud de sus habitantes. Según nuestra investigación, y como hemos venido mostrando hasta este punto, el barrio se encuentra en una posición muy cercana a las vías del tren, posición que provoca el ruido de trenes a altas horas.

Estos trenes, además, son especialmente ruidosos y ocurren en un rango de horas específico. Según nuestros algoritmos y estudios realizados, estos se encuentran en un rango de **3 de a 4, y de 5 a 6**, afectando de manera alarmante a la salud. Prácticamente todos los días, estos trenes atraviesan el barrio, produciendo ruidos excesivos haciendo que la calidad de vida de las personas se vea afectada.



Figura 13. Nivel de dB de 05:00 a 06:00 en el barrio del Serrallo en diferentes días.

El gráfico [Figura 13] que se muestra, es un pequeño ejemplo de algo que ocurre **casi diariamente** en esta zona, revelando así una incidencia generalizada en el barrio del Serrallo. Cada línea en este gráfico representa los decibelios capturados en diferentes días escogidos aleatoriamente, y como se puede observar, todos y cada uno de estos días presentan un problema recurrente en el sonido entre las 05:00 de la madrugada y las 06:00. Llegando incluso a niveles de prácticamente 60 dB.

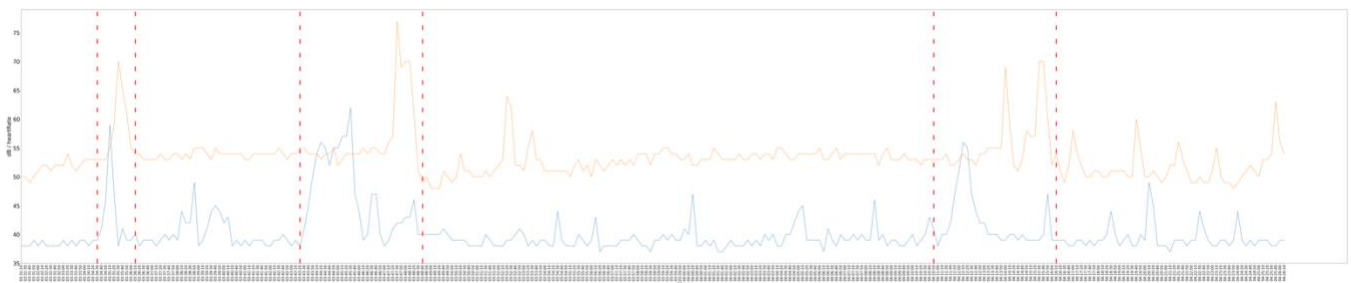


Figura 14. Nivel de dB y ritmo cardíaco de un usuario de 05:00 a 06:00.

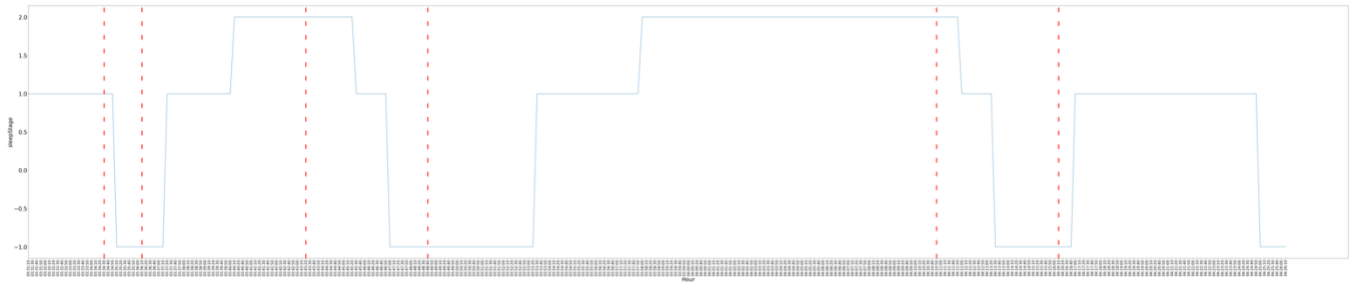


Figura 15. Nivel de sueño de un usuario de 05:00 a 06:00.

Estos trenes de mercancías tienen graves consecuencias en la salud de las personas, como se puede observar en los anteriores gráficos [Figura 14 y 15]. Entre los datos se encuentran, en el gráfico superior, una línea azul y otra naranja, representando el nivel de decibelios y el ritmo cardiaco respectivamente. En el gráfico inferior se muestra, en ese mismo espacio de tiempo, el sueño de la persona.

Como se puede observar, hay tres momentos marcados en rojo donde hay fuertes incidencias realizadas entre estas horas mencionadas anteriormente, que afectan al ritmo cardiaco [Figura 14] y al estado del sueño [Figura 15].

Estos gráficos muestran como **un simple ruido excesivo**, superando los niveles permitidos, **hace que la persona se altere** en todas estas situaciones, y adicionalmente, **provocando que se despierte**, evitándola de un sueño reparador una noche cualquiera.

Además de esta problemática, **los habitantes del barrio del Serrallo están expuestos a niveles alarmantes de ruido en sus propias casas**, durante horas cruciales del día en las que se supone deben estar descansando. Este tipo de ruido no solo interrumpe su sueño, sino que también puede causar graves problemas de salud a largo plazo, como estrés, ansiedad y hasta posibles problemas de sueño.

Conclusiones y recomendaciones

Concluyendo el proyecto, podemos afirmar que hemos desarrollado unas tecnologías en la nube y móvil, estas nos han permitido la captura de información acústica y de salud de los vecinos. Esta novedosa herramienta se ha comprobado a lo largo del estudio cómo es útil y cumple su propósito. Esta puede ser aplicable a cualquier lugar del mundo con este mismo objetivo, haciendo así que pueda ser aplicada en el futuro en otras ciudades del planeta si así se desea.

Finalmente, el éxito del proyecto fue mayor a lo previsto inicialmente, se finalizó el estudio contando con **4.320 horas de grabación**, repartidas en 736 grabaciones diferentes, cada una de estas, conteniendo muestras de ruido y datos de salud de los participantes, generalmente durante una noche completa. Esta información ha permitido a los investigadores tener una comprensión más detallada y completa del ruido y la salud de los habitantes de Tarragona.

En este estudio hemos identificado problemas concretos de contaminación acústica que generan problemas relevantes en tres barrios de la ciudad de Tarragona. En concreto, vemos diferentes fuentes de ruido muy relevantes que requieren actuaciones de urgencia:

1. **Port de Tarragona.** El puerto mantiene trenes de mercancías internos que han de transitar por el Serrallo/Torres Jordi para moverse entre muelles del puerto. La locomotora Diesel en mal estado y la antigüedad del tren, generan un ruido atronador y excesivo que llega los 90 dB de día y de noche con vecinos a pocos metros. Este tren de mercancías pasa además por la noche dos veces, superando en exceso los 45 dB permitidos, y alterando gravemente la salud de los vecinos. No existe ningún apantallamiento acústico en todo el recorrido.
2. **ADIF.** El corredor del Mediterráneo pasa por la ciudad de Tarragona a pocos metros de zonas habitables. El incremento de trenes de mercancías de día y de noche también contribuye a la contaminación acústica en la zona del Serrallo. No existe ningún apantallamiento acústico en todo el recorrido. Las obras del tercer carril son posteriores a las viviendas y no se ha tomado ninguna medida.
3. **Dirección general de carreteras del Ministerio de Transporte, movilidad y agenda urbana.** Carreteras y autovías como la A-7 que pasan junto a residencias de los barrios Francolí y Tarragona 2. También hemos detectado umbrales de ruido muy por encima de la normativa europea (45 dB) y de manera continuada durante la noche. No existe ningún apantallamiento acústico en todo el recorrido.

Este informe será compartido con la prensa, pero también con los responsables de la contaminación acústica para que tomen medidas. En concreto, sugerimos las siguientes acciones:

1. **Port de Tarragona.** El tren de mercancías en malas condiciones del Port de Tarragona es la fuente de contaminación acústica más grave en la actualidad. Una solución sencilla sería reemplazar esta vieja máquina por una moderna y silenciosa. Es increíble que trenes de mercancías de 60 vagones hagan menos ruido que este pequeño convoy. También se podrían suprimir los dos trenes nocturnos para respetar la normativa. El mantenimiento de esta máquina es un maltrato a la población.
2. **ADIF (Corredor).** La solución a corto plazo es apantallar completamente el recorrido a su paso por Tarragona o con residencias a pocos metros. Un túnel o apantallamiento completo sería idóneo. La solución más razonable es que los trenes de mercancías no pasen por la ciudad con materiales peligrosos. La asociación "Mercaderies per l'Interior" ya ha propuesto una solución adecuada al problema para que las mercancías vayan por las vías de alta velocidad de pasajeros.
3. **Dirección general de carreteras del Ministerio de Transporte, movilidad y agenda urbana (A-7, carreteras).** Apantallamiento de las vías a su paso por viviendas.
4. **Ayuntamiento de Tarragona.** Finalmente, es el ayuntamiento el encargado de proteger la salud de los vecinos. Lo más grave es que el Ayuntamiento es consciente de estos problemas porque tiene un informe acústico reciente que muestra los problemas en diferentes barrios. El Ayuntamiento debería sancionar a los responsables si no se toman medidas que eviten esta contaminación acústica.

Referencias bibliográficas

1. World Health Organization. (2011, 30 de marzo). *New evidence from WHO on health effects of traffic-related noise in Europe*. <https://www.who.int/europe/news/item/30-03-2011-new-evidence-from-who-on-health-effects-of-traffic-related-noise-in-europe>
2. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2019). *Night noise guidelines for Europe*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/326486>
3. *CLOUDLAB - URV*. (s. f.). <http://cloudlab.urv.cat/web/>
4. *Soundless - Apps on Google Play*. (s. f.). <https://play.google.com/store/apps/details?id=cat.urv.cloudlab.soundless>
5. *Wensn WS1361*. (s. f.). Amazon. <https://www.amazon.com/-/es/Wensn-WS1361-Medidor-sonido-digital/dp/B07896MDTX>
6. *Fitbit Development: Developer Blog*. (s. f.). <https://dev.fitbit.com/blog/>
7. Wikipedia contributors. (2022, 19 diciembre). *Standard score*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_score
8. Wikipedia contributors. (2022a, diciembre 17). *Cluster analysis*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Cluster_analysis