

# Soundless

**Plataforma de ciència ciutadana per a auditar els efectes de la contaminació acústica a la ciutat de Tarragona**

Daniel Alejandro Coll Tejeda  
Sergi Domingo Basora  
Pedro García Lopez



UNIVERSITAT  
ROVIRA i VIRGILI

# Taula de continguts

<b>Soundless .....</b>	<b>1</b>
<b>Introducció.....</b>	<b>3</b>
<b>Arquitectura del projecte .....</b>	<b>4</b>
Soundless per Android .....	5
Google Cloud Platform .....	5
Privacitat.....	7
<b>Anàlisis les dades .....</b>	<b>8</b>
Detecció d'incidències .....	8
Fiabilitat de les dades .....	9
Correlació entre soroll i salut .....	11
<b>Resultats finals.....</b>	<b>12</b>
Límit legal .....	12
Font dels sorolls .....	13
Problemàtica de cada barri .....	15
Incidències periòdiques.....	18
<b>Conclusions i recomanacions.....</b>	<b>20</b>
<b>Referències bibliogràfiques .....</b>	<b>22</b>

---

## Introducció

Actualment, i des de fa alguns anys, el soroll provocat per l'activitat humana ha estat objecte d'estudi de múltiples recerques sobre el tema. Aquest problema no és una cosa local o estatal, és un problema que porta passant a nivell global des de fa dècades.

El projecte Soundless es va originar amb la finalitat d'estudiar **l'afectació del soroll** produït per mitjans de transport com a cotxes, trens, entre altres. Aquest problema ha estat objecte d'estudi a nivell global, ja que, en 2011, l'OMS va començar a advertir sobre els possibles efectes del soroll en la **salut humana** [1]. Perquè posteriorment, en 2019, publicà un estudi confirmant la gravetat d'aquesta problemàtica i l'impacte que té en els ciutadans europeus [2].

Es parla que a nivells superiors a 45 dB durant la nit, sent aquest, el nivell màxim permès en hores de descans, suposa més persones amb insomni, estrès, poca productivitat, obesitat... Molts problemes que afecten la salut i alguns de forma irreversible.

Aquestes van ser les motivacions que van originar la creació del projecte Soundless. Aquest és un projecte de **ciència ciutadana** desenvolupat pel grup de recerca *Cloud and Distributed Systems Lab* [3] de la Universitat Rovira i Virgili, juntament amb el cofinançament per part de la Diputació de Tarragona a través del Conveni Marc.

Aquest projecte s'ha creat amb l'únic i principal objectiu de la creació d'una plataforma que permetés mitjançant un exhaustiu estudi del soroll generat a les nits a la ciutat de Tarragona, identificar aquests problemes de so i donar-li més visibilitat. Alhora que es demostra si aquests superen la normativa actual, cosa que no hauria de ser possible, i finalment si aquests mateixos sorolls produeixen greus alteracions en la salut de la ciutadania.

Per a això hem comptat amb la participació de la *FAVT (Federació d'Associacions de Veïns de Tarragona)*, juntament amb les associacions de veïns del barri del Francolí i de Tarragona 2. Finalment, també s'ha disposat de la col·laboració d'una comunitat de veïns provinent del barri del Serrallo, sense ells aquest estudi no hauria estat possible.

Cal destacar que el període d'obtenció de dades del projecte ha estat durant els mesos de novembre i desembre. Mesos d'hivern, en els quals els residents tanquen finestres per a evitar el fred. Aquest fet fa que els mesuraments realitzats siguin menys propenses a captar el soroll exterior del que realment fa en els mesos d'estiu. Per això, el grup té la intenció de dur a terme una segona fase d'obtenció de dades amb un major nombre de participants, en mesos de calor, on les persones obren finestres i portes.

## Arquitectura del projecte

Soundless és l'evolució d'un projecte on originàriament hi havia una aplicació mòbil simple, que s'encarregava de la recollida de dades, i un únic servidor per a les tasques de processament, generació, anàlisi, i altres. L'aplicació avui dia compta amb una gran varietat de funcions noves, juntament amb una implementació i utilització del núvol de Google a gran escala.

L'arquitectura actual del projecte consisteix en una peça central, que seria Soundless, l'aplicació mòbil, juntament amb una sèrie de serveis interconnectats. Entre ells es troba Fitbit Cloud Platform [6], una plataforma de Fitbit, la qual ens ha permès la gestió i obtenció de dades de salut com serien el ritme cardíac i el somni. Finalment, al costat d'aquests serveis, coexisteixen múltiples serveis de la plataforma en el núvol de Google Cloud, aquesta ens ha proporcionat les eines necessàries per a la gestió, emmagatzematge, processament, generació i anàlisi de totes les dades obtingudes.

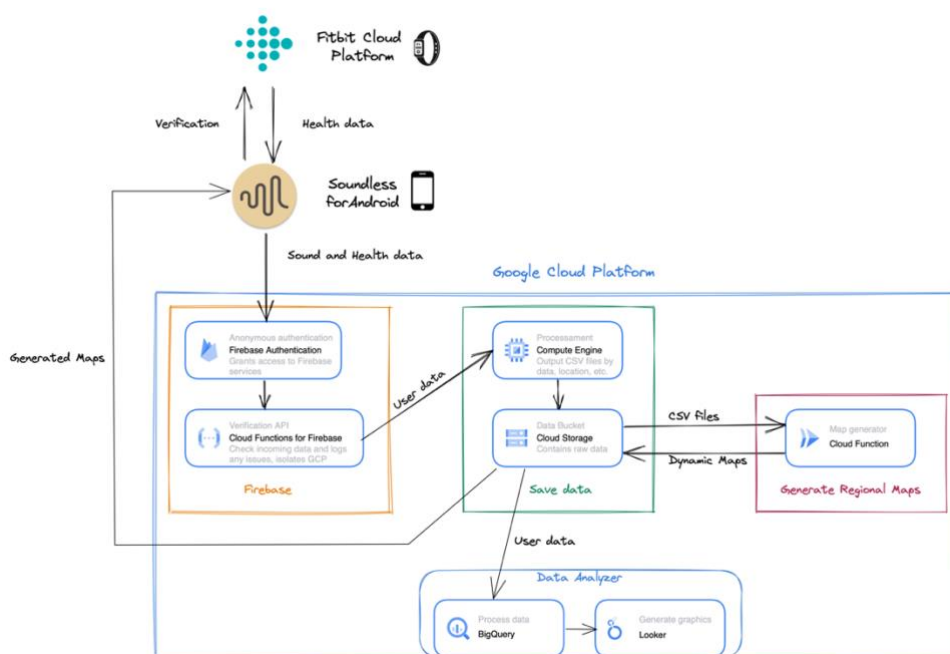


Figura 1. Arquitectura del projecte.

Com veiem en el diagrama anterior [Figura 1], l'aplicació mòbil és l'encarregada d'obtenir les dades de soroll a través del micròfon, recollir les dades de salut de l'API de Fitbit i enviar-les finalment al núvol de Google Cloud. Una vegada aquí s'emmagatzemen, processen i analitzen en diferents processos.

# Soundless per Android

Com dèiem anteriorment, l'aplicació de Soundless és **la peça central** del projecte, és l'encarregada de registrar les dades, gestionar-les i transferir-les al núvol, tot això de forma independent i anonimitzada per a l'usuari. Tenint en compte sempre la protecció de les dades i la informació dels participants.

Aquesta eina té diverses parts importants per a la gestió de les dades, la primera i principal és la captura dels nivells de soroll. En aquest punt entra en joc un gran repte, aquest és el propi càlcul del nivell de decibels captats pel micròfon. Pel fet que no existeix cap forma d'obtenir-los de forma senzilla, és necessari realitzar una sèrie de càlculs per a la seva obtenció.

El mètode utilitzat està basat en la detecció del nivell de decibels a partir d'una sèrie de fórmules que ens permeten, gràcies a un valor de referència i una potència donada, obtenir el valor amb el qual poder treballar. Després de les proves portades a terme en els laboratoris dels investigadors amb diferents dispositius en diferents situacions, podem afirmar que comptem amb **una precisió de +-5 dB** en comparació amb el dispositiu especialitzat (*SPL*) utilitzat en el laboratori [5].

Després d'això, el segon repte és l'obtenció de les dades de salut. Una vegada capturades les dades registrades pel micròfon, és moment de la captura de les dades de salut. Per a això és necessari tindre posada una **polsera d'activitat** que se'ls va proporcionar als participants quan es van afegir a aquest projecte. Aquesta polsera està dissenyada per Fitbit i permet la captura de dades com el ritme cardíac de la persona durant la nit i l'estat del somni.

## Google Cloud Platform

A grans trets, el funcionament d'aquesta plataforma en la nostra arquitectura ha estat la següent:

- L'usuari realitza l'enregistrament de decibels en el seu dispositiu mòbil, alhora que, mitjançant la polsera, realitza l'enregistrament de les seves dades de salut.
- Una vegada finalitzat, envia les dades de forma voluntària als servidors de Google Cloud, una vegada aquí, s'inicia un procés diari per a l'autenticació i emmagatzemat de les dades al núvol.
- Després d'això, i també de forma diària, s'inicia un procés el qual és capaç de detectar les incidències ocorregudes durant la nit i es generen uns mapes de calor mostrant les incidències per zones.
- Aquests mapes són emmagatzemats novament en el núvol, perquè els usuaris puguin accedir a ells i obtenir els mapes generats diàriament en qualsevol moment.

Això s'executa cada matí, per la qual cosa els mapes són generats **diàriament**. Això és un punt molt important pel nostre estudi, ja que, tenir informació pràcticament a temps real de les zones amb un major nombre d'incidències, el tipus d'incidències, i l'hora en la qual ha passat amb major freqüència és de vital importància.

Ajuntaments, governs i altres òrgans governamentals, realitzen estudis periòdics mitjançant diferents auditories. El problema principal d'aquests estudis és que es duen a terme cada diversos anys, fent així que la informació brindada als ciutadans es vegi reduïda en gran mesura.

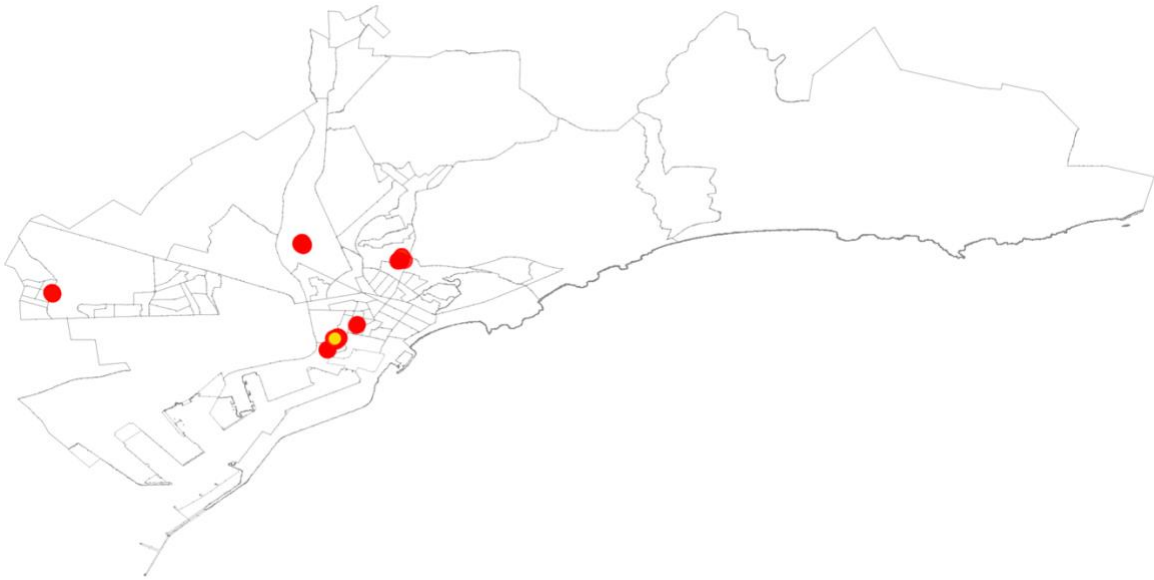


Figura 2. Mapa dinàmic de la ciutat de Tarragona.

# Privacitat

Des de la primera concepció d'aquest projecte, aquest ha estat un dels majors punts a tindre en compte. Sempre s'ha buscat tenir la **major privacitat, anonimat i transparència** amb l'usuari sobre el tractament i utilització de les seves dades, per això durant el desenvolupament es van introduir diferents mesures per a tractar de donar una major seguretat.

Amb aquesta premissa es va introduir la primera mesura de privacitat. Com s'ha explicat en punts anteriors, tot el procés d'autenticació necessari es realitza mitjançant una sèrie de processos entre el dispositiu i el núvol. Això vol dir, que nosaltres com a investigadors de la URV **no emmagatzemem cap mena d'informació** de la persona darrere d'ell. Això al mateix temps, ha suposat un repte extra a l'hora de fer l'anàlisi de les dades, ja que al **no poder identificar a les persones** ni als seus enregistraments s'ha fet més complicada aquesta tasca, però creiem que l'esforç ha valgut la pena per tindre un sistema totalment privat i segur.

Després d'aquest procés d'autenticació, la resta de les comunicacions entre dispositiu i servidors es du a terme de forma anonimitzada. Totes i cadascun dels enregistraments contenen un identificador generat aleatòriament en el propi dispositiu de l'usuari, fent així una tasca impossible d'identificar al dispositiu que ha generat aquests enregistraments.

Un altre punt de vital importància era la viabilitat d'introduir dades geolocalitzades en els mateixos enregistraments. Això suposava un risc en el registre de la localització de les persones, per això, amb la mesura implementada per a evitar tenir cap seguiment de la persona ni dels seus enregistraments es va introduir una nova mesura que permetia fer una petita modificació totalment aleatòria a la ubicació de la persona.

Aquesta mesura va permetre obtenir una **localització aproximada**, en cap moment la real, de cadascuna dels enregistraments per a poder obtenir informació sobre el barri en el qual estava passant, però al mateix temps, no poder obtenir cap mena informació sobre el domicili dels participants.

Aquestes mesures juntes han suposat que, durant la realització de l'estudi, ningú que hagi pogut o pugui tindre accés a les dades registrades, pugui arribar a aconseguir en cap circumstància cap mena d'informació privada sobre les persones. Per això, totes les gestions i comunicacions van ser a través de les diferents associacions de veïns que ens van servir com a intermediaris en aquest procés.

# Anàlisi les dades

## Detecció d'incidències

Per a elaborar l'anàlisi de les dades han estat necessaris superar i enfrontar-se a una sèrie de reptes que s'han proposat en el camí. Un dels principals i més importants ha estat la realització de la detecció d'incidències.

Per a començar, una incidència s'entén com la pujada sobtada i de manera anòmla d'una variable, és a dir, si en un enregistrament de 2 hores, amb una mitjana de 30 dB, conté un moment de la nit on aquest valor augmenta en pocs segons fins als 50 dB, s'entén com una incidència i una infracció de la normativa actual de soroll nocturn.

Per això es va realitzar un estudi previ sobre les diferents opcions i alternatives que existeixen actualment sobre la detecció de valors anòmls en diferents enregistraments. Després d'una cerca exhaustiva es va decidir per l'algorisme basat en el principi de dispersió anomenat z-scores [7].

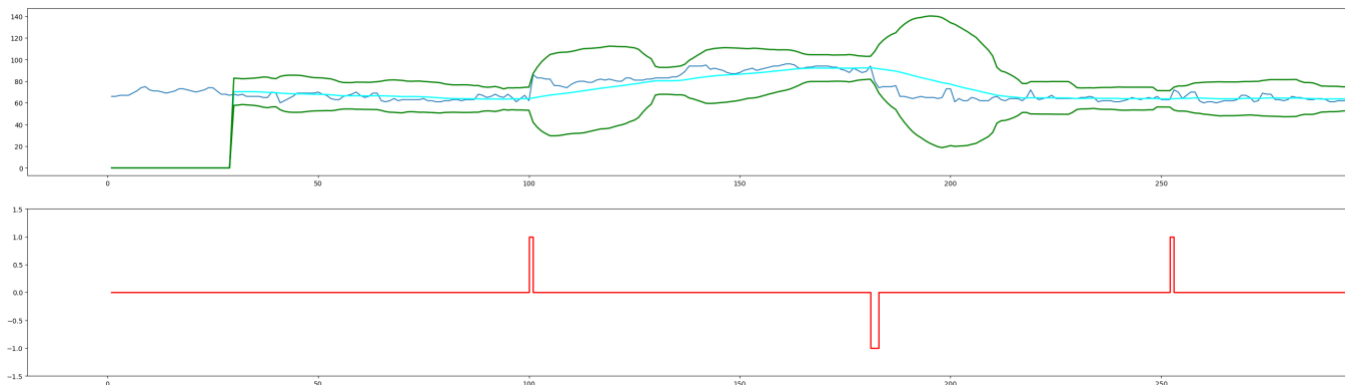


Figura 3. Exemple de z-scores.

Abans de començar amb la detecció va ser necessària una petita neteja de dades per assegurar-se que els resultats fossin el més fiable. Per a això es van descartar tots aquells enregistraments els quals tenien dades incorrectes o irreal. Després d'aquest exhaustiu procés de filtratge, es va fer un altre pas previ a l'anàlisi i va ser l'agrupació per zones geogràfiques de les dades, també anomenat clustering [8].

Una vegada finalitzat el preprocessament de les dades es va realitzar la detecció d'incidències com a tal. Per a això, es va utilitzar un algorisme matemàtic i estadístic basat en el principi de dispersió. Aquest algorisme és ideal, ja que, **aquest és capaç de detectar canvis en el temps.**



En altres paraules, si en un enregistrament en un moment donat, els seus decibels comencen a pujar lentament per qualsevol raó externa, l'algorisme reconeixerà aquest patró i no el detectarà com una incidència, ja que és un augment gradual. Però, en canvi, si l'augment és molt pronunciat i en un període curt de temps, el detectarà com a incidència i el marcarà.

## Fiabilitat de les dades

Un cop trobat l'algorisme que s'ajustava més a la nostra casuística es va proposar realitzar un petit estudi per la cerca de l'algoritme que doni una major fiabilitat i eficiència. Per a això es va fer una comparació entre diversos algorismes.

Per a la seva realització es va proposar agafar la mitjana d'incidències detectades en 100 enregistraments per un algorisme simple, definint el rang màxim d'incidència amb un valor calculat simple, i un algorisme complex com a z-scores basat en el principi de dispersió.

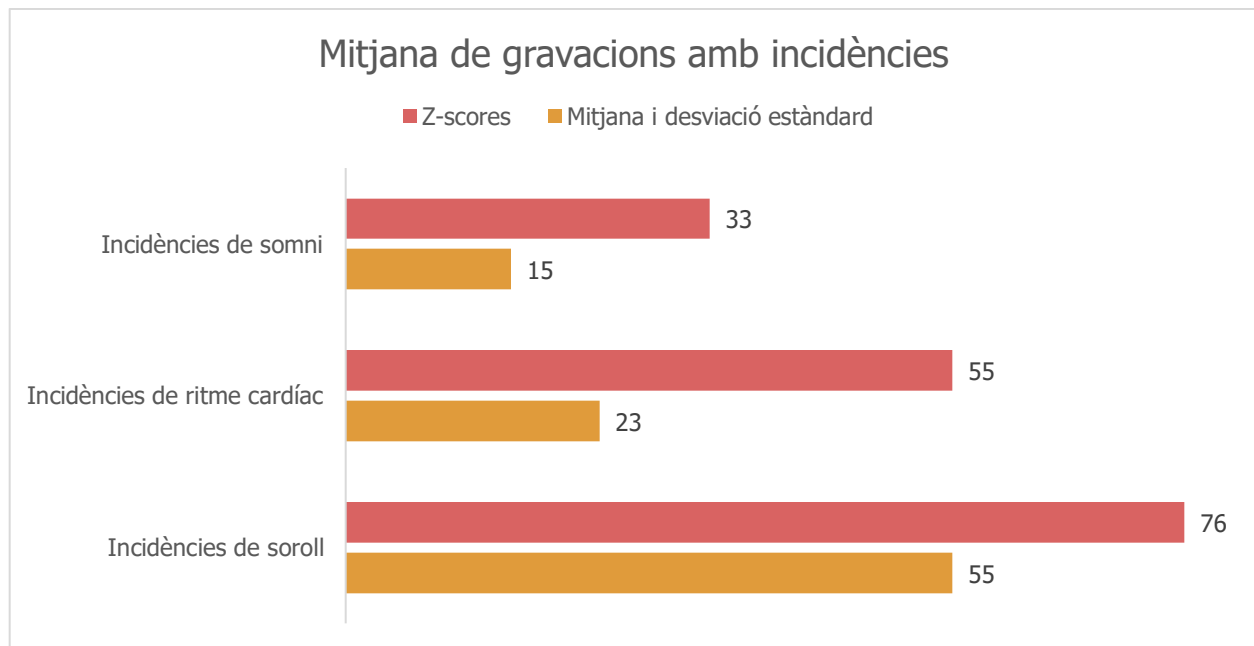


Figura 4. Mitjana de gravacions amb incidències.

Després d'aquest estudi i corroborant que els resultats obtinguts en l'algorisme complex tenen una millor aproximació a les diferents situacions viscudes en la realitat i en els enregistraments, es va proposar a z-scores com a algorisme triat per a l'estudi.

Posteriorment, i per a donar encara més fiabilitat a les dades es va realitzar una comparativa entre un **estudi desenvolupat per l'Ajuntament de Tarragona** amb el propòsit de buscar una problemàtica de soroll en diferents carrers objectius. Aquest estudi es va centrar especialment, en la cerca d'aquesta problemàtica en els barris pròxims a les vies del tren.

		C/Tomàs Forteza (Savinosa)			C/Robert d'Aguló (Miracle)			C/Xavier Montsalvatge (Torres Jordi)		
		L <sub>d</sub> (7h-21h)	L <sub>e</sub> (21h-23h)	L <sub>n</sub> (23h-7h)	L <sub>d</sub> (7h-21h)	L <sub>e</sub> (21h-23h)	L <sub>n</sub> (23h-7h)	L <sub>d</sub> (7h-21h)	L <sub>e</sub> (21h-23h)	L <sub>n</sub> (23h-7h)
L <sub>Aeq</sub>		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 <sub>Amax</sub>		96	95	97	95	81	89	87	75	76
Valor límit L <sub>Amax</sub> per noves infraestructures ferroviàries		85	85	85	85	85	85	85	85	85
Trens		Núm.	102	15	22	96	11	27		
Trens amb L <sub>Amax</sub> > 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. Resum de les mètriques acústiques del Ajuntament de Tarragona.

Com es pot comprovar en aquesta taula [Figura 6], segons aquest estudi, la mitjana del temps en què un tren té presència en aquests carrers, i per tant generant una problemàtica de soroll és entre 22 i 27 segons. Comparat amb els nostres resultats on la majoria del temps, les incidències de soroll duren entre 20 i 30 segons, es pot comparar que aquestes dades i les dades obtingudes en l'estudi concorden entre ells.

Una altra dada interessant a destacar és la quantitat de decibels que arriben a aconseguir aquests trens, suposant un **73% del temps un nivell superior a 85 dB**, en hores de descans entre les 23:00 i les 07:00, sent una dada també observada en les nostres dades.

Això ve a demostrar un cop més i a donar major importància al fet que **són necessàries unes mesures de contenció de soroll** i de mitigació d'aquest, ja que és un problema detectat pel propi ajuntament en un dels seus estudis i recentment demostrat per aquest projecte de recerca ciutadana.

## Correlació entre soroll i salut

Un cop finalitzat el procés de detecció d'incidències, es van centrar esforços en el següent objectiu del projecte, i és la demostració que realment aquests sorolls excessius i repetitius que afecten els veïns provoquen danys o influeixen en la salut de les persones.

Per això es van proposar diferents mètodes matemàtics i estadístics amb la finalitat de poder arribar a una conclusió. Després de diversos intents d'estudi, es va decidir realitzar una **correlació temporal i causal** dels fets. És a dir, si una acció específica, en aquest cas provocar un soroll, produïa una reacció determinada, en aquest cas una alteració en el ritme cardíac o somni de les persones.

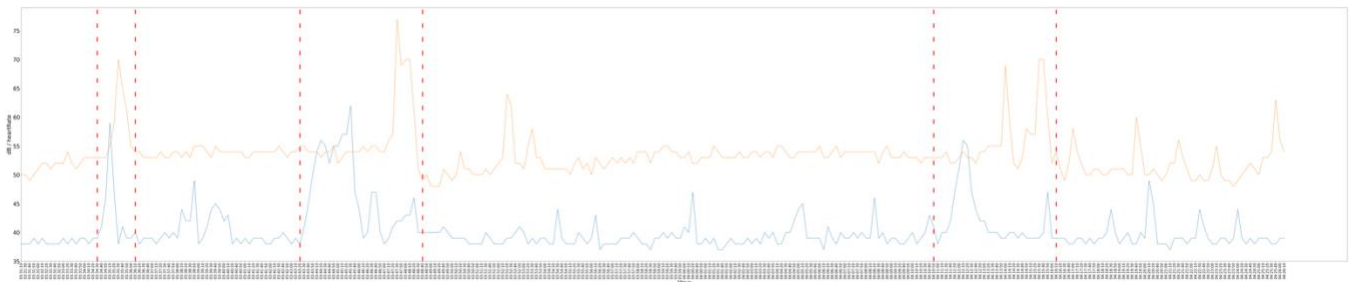


Figura 6. Nivell de dB (blau) i ritme cardíac (taronja) d'una gravació.

En aquest gràfic [Figura 6] es pot observar dues línies destacades, una d'elles de color blau que representa el nivell de decibels d'un enregistrament triat aleatòriament en el Serrallo i en color taronja el nivell de ritme cardíac d'aquest enregistrament.

Una vegada explicat el gràfic anterior, i després de diversos estudis i cerca exhaustiva de les dades, es va poder comprovar que sí, **1 de cada 3 incidències de soroll van afectar la salut** de la persona sigui en el ritme cardíac, en el somni o fins i tot afectant les dues al mateix temps, provocant que un simple soroll desperti i alteri a diversos veïns en el seu moment de descans personal.

## Resultats finals

Després d'explicar el projecte, com està estructurat i com ha estat el seu desenvolupament, és el moment de parlar dels resultats obtinguts en aquesta recerca.

### Límit legal

Com bé dèiem a l'inici del document, l'OMS i els organismes governamentals d'aquesta regió, van establir que el límit legal i recomanat per al soroll nocturn generat és de 45 dB, essent aquest valor el punt màxim el qual es podria arribar a aconseguir. I després d'una exhaustiva anàlisi de les dades recollides durant 61 dies d'estudi, el nombre de vegades que s'ha superat aquest límit és **centenars o milers de vegades major** del permès.

Tarragona 2

Hora de la incidència ^	Nombre de vegades que ha passat
0	335
1	75
2	9
3	9
4	51
5	15
6	66
7	333
8	31
9	3
21	234
22	501
23	742

Parc del Francolí

Hora de la incidència ^	Nombre de vegades que ha passat
0	422
1	589
2	435
3	414
4	619
5	555
6	890
7	589
8	744
9	943
10	938
19	467
20	608
21	384
22	250
23	272

Serrallo

Hora de la incidència ^	Nombre de vegades que ha passat
0	4.445
1	4.250
2	4.549
3	4.083
4	5.777
5	7.245
6	8.250
7	3.583
8	1.128
9	376
20	4
21	424
22	4.588
23	4.543

Total

Hora de la incidència ^	Nombre de vegades que ha passat
0	5.202
1	4.914
2	4.993
3	4.506
4	6.447
5	7.815
6	9.206
7	4.505
8	1.903
9	1.322
10	938
19	467
20	612
21	1.042
22	5.339
23	5.557

Figura 7. Número d'infraaccions en els barris de Tarragona 2, Francolí, el Serrallo i el total.

En el gràfic anterior [Figura 7], es poden observar el nombre d'infraccions comeses, i les hores a les quals es van cometre, tot això distribuït pels diferents barris on s'ha focalitzat l'estudi. En aquestes taules es pot veure com les dades no són uniformes en totes les parts de la ciutat, i això és degut a l'origen del soroll, factor del qual es donarà més detall en aquest mateix document més endavant.

Analitzant aquestes taules es pot comprovar com una gran part del temps de descans dels ciutadans se superen els límits establerts, provocant que les persones en aquestes zones hagin de conviure amb uns nivells de soroll superiors a 45 dB, valors que no haurien de ser possibles i no haurien de permetre's per part de l'administració. **Superant els límits fins a un màxim de 63.363 vegades durant el període d'estudi**, mostrant encara més la gran problemàtica que existeix entre els veïns de la ciutat.

## Font dels sorolls

Havent observat i comprovat que realment **sí que existeix una problemàtica de so**, és moment de parlar dels orígens i que provoca el soroll realitzat en els diferents barris.

Per a això, ens hem basat en la ubicació geogràfica d'aquests mateixos barris, els comentaris i opinions rebudes pels participants de l'estudi i les dades obtingudes, per a tractar de corroborar tots aquests punts i donar una resposta ferma a la font del so que provoca aquestes incidències per barris.

Després d'algunes entrevistes amb els diferents veïns dels barris de **Tarragona 2 i el Francolí**, ens van indicar que la seva major problemàtica era denominada **Autovia del Mediterrani, l'A-7**. Una autovia on circulen milers de cotxes diàriament, provocant sorolls que afecten els veïns.



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

Aquesta carretera suposa la font més gran de soroll d'aquestes zones, i així es pot veure en la imatge anterior [Figura 7], on **les hores de major incidència són aquelles hores on l'activitat en el trànsit és major**, com podrien ser les últimes hores de la nit o les primeres del matí. Fent que les hores de menor trànsit siguin al mateix temps les hores amb menor nombre d'infraccions.

Després d'això, es va fer el propi en el barri del **Serrallo**, i com anàvem anticipant anteriorment, els majors problemes d'aquest barri són les vies del tren i els trens de mercaderies que viatgen cap a i des del port de Tarragona.

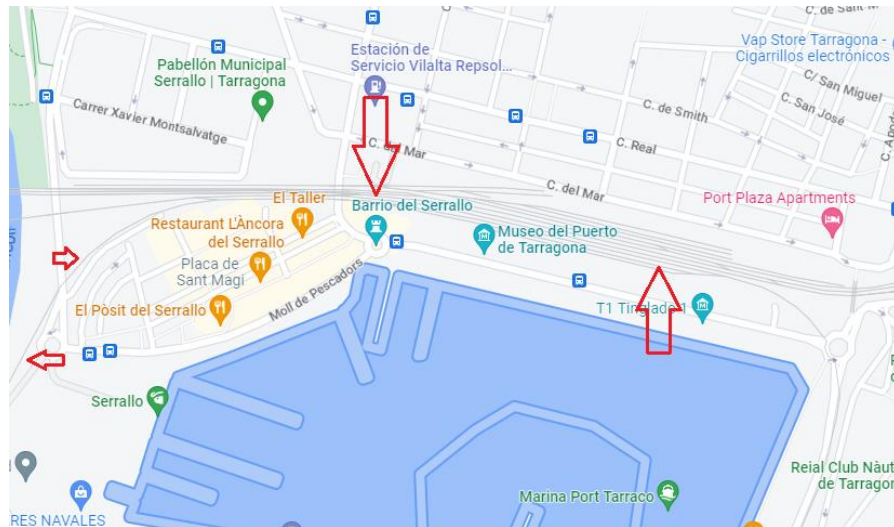


Figura 9. Mapa del Serrallo i les vies del tren.

Com en el cas anterior, el primer pas va ser fer una sèrie de preguntes als veïns de la zona per a comprendre quina era la principal problemàtica que ells vivien, i si aquesta es contrastava amb les dades mostrades. En aquest barri, el problema principal és la falta de barreres acústiques per a tractar de mitigar els sorolls generats pels trens que circulen per **les vies cap al port de Tarragona** de forma nocturna.

Després d'una exhaustiva recerca sobre aquesta mateixa problemàtica es va detectar, que, a diferència dels barris anteriors, la problemàtica no era a unes certes hores, sinó que era periòdica durant pràcticament tota la nit, però, sobretot amb uns certs patrons preocupants entre les **04:00 i 06:00**. Interval on realitza el seu recorregut un tren comprovat pels investigadors.

Una vegada fet el focus en els orígens del soroll causat en els diferents barris, és hora de realitzar un estudi més extens sobre aquests i donar a conèixer més detalls per a poder de donar llum a un problema cada vegada major.

## Problemàtica de cada barri

Després d'això, el primer punt en el qual busquem inferir és si en realitat aquests problemes ocorren només unes certes nits concretes, les quals produeixen un excés de soroll superant els límits legals, o en realitat és un problema recurrent que passa diàriament en aquestes zones.

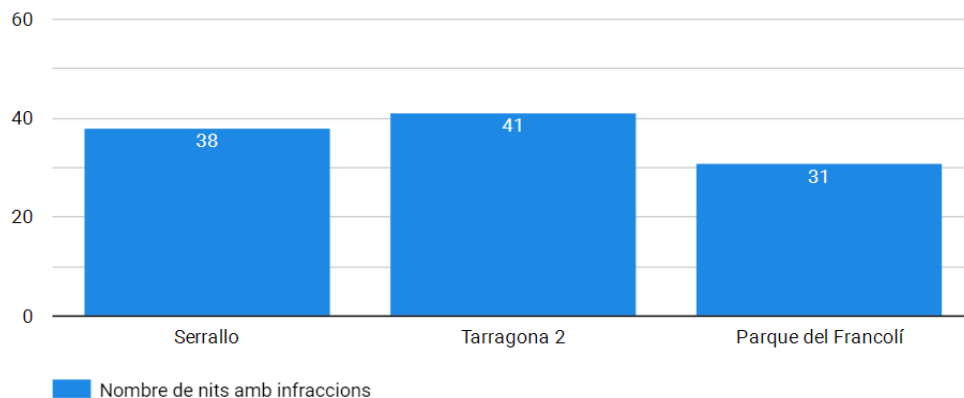


Figura 10. Número de nit amb infraccions de so per barri.

Aquests gràfics mostren la quantitat de nits amb infraccions de so distribuïdes per barris. Per a poder entendre aquestes dades cal destacar que aquestes són recollides a partir dels enregistraments voluntaris de les persones. Aquests mateixos enregistraments van ser realitzats amb dates festives incloses, per tant, no hi ha un registre de les 61 nits en aquestos dos mesos. Però llevat d'aquest punt, podem afirmar que durant **TOTES** les nits que hi ha hagut enregistraments, **van sofrir en algun punt alguna incidència de so** que va superar els 45 dB, infringint així la legislació actual.

Després d'aquesta visió van començar a sorgir dubtes i qüestions sobre els problemes que ocorren en cada barri. En primer lloc, els pics màxims en cadascuna de les zones ens ajuden a poder conèixer la gravetat de certes incidències que sobresurten exageradament del normal.

Barri de Tarragona	Nivell màxim de dB
Bonavista	96
Tarragona 2	84
Serrallo	83
Parc del Francolí	73

Figura 11. Nivells màxims de dB registrar amb l'usuari dormint.

Veient aquest gràfic [Figura 11], podem observar com els pics màxims en cadascun dels barris han superat per pràcticament el doble els límits establerts. Suposant el **pic màxim en 96 dB**, xifra que és molt superior al límit i que interfereix evidentment en la salut de les persones.

Després d'això, la següent qüestió ens porta a preguntar-nos la variabilitat al llarg dels diferents dies de la setmana, i el nivell de soroll que hi ha en aquests dies. Per a això es van realitzar diferents estudis demostrant que sí, **el soroll és un problema major entre setmana que els caps de setmana**.

Aquesta mateixa conclusió podria relacionar-se amb els tipus de soroll que existeixen en les diferents zones i quins són els seus orígens. En els barris de Tarragona 2 i el Francolí podem veure com aquests sorolls es relacionen una vegada més amb la premissa anterior que aquests sorolls són generats per persones que surten o entren als seus corresponents treballs, provocant soroll. I en el barri del Serrallo, relacionant encara més el fet que aquests sorolls són generats pels trens de mercaderies que entren i surten del port de Tarragona.

Posteriorment a això, i havent respost a les qüestions anteriors, entra en joc la qüestió de si aquests sorolls són més propensos a generar alteracions en el ritme cardíac o en el somni. Segons el nostre estudi, les dades demostren que **un soroll és més propens a generar afectacions en el ritme cardíac que en l'estat del somni**.

I finalment, l'última pregunta sobre les hores amb major nombre d'incidències, no confondre amb les infraccions de so esmentades anteriorment.





Figura 12. Incidències registrades per hora en Tarragona 2, Francolí, Serrallo i el total.

Observant el gràfic d'incidències [Figura 12], es pot veure com aquestes dades corresponen i es correlacionen amb el vist anteriorment [Figura 7]. S'analitza com les hores on hi ha una major quantitat del temps que els residents tenen un nivell de soroll superior a 45 dB, es reflecteix en les hores amb un major nombre d'incidències, tant de soroll com ritme cardíac i somni.

En addició a això, també es pot observar com en la majoria dels casos, els moments amb **una major incidència de soroll**, també són les hores amb **una major incidència de ritme cardíac i somni**. Evidenciant un cop més com aquests problemes també afecten la salut de les persones, canviant-li els seus cicles cardíacs, evitant-les d'un somni profund i reparador o fins i tot despertant-les per complet per un soroll totalment aliè a les seves vides.

# Incidències periòdiques

Després de la realització de l'estudi de l'origen de les problemàtiques per barris, un estudi per a poder conèixer amb major detall com és el comportament habitual en aquests, hem considerat important parlar i mostrar a la comunitat, els **sorolls periòdics que es viuen en el Serrallo**.

El soroll periòdic en aquest barri és un problema alarmant que afecta la salut dels seus habitants. Segons la nostra recerca, i com hem anat mostrant fins a aquest punt, el barri es troba en una posició molt pròxima a les vies del tren, posició que provoca el soroll de trens a altes hores de la nit.

Aquests trens, a més, són especialment sorollosos i ocorren en un rang d'hores específic. Segons els nostres algorismes i estudis realitzats, aquests es troben en un rang de **3 de 4, i de 5 a 6**, afectant de manera alarmant a la salut. Pràcticament, cada dia, aquests trens travessen el barri, produint sorolls excessius fent que la qualitat de vida de les persones es vegi afectada.



Figura 13. Nivell de dB de 05:00 a 06:00 en el barri del Serrallo en diferents dies.

El gràfic [Figura 13] que es mostra, és un petit exemple d'alguna cosa que passa **gairebé diàriament** en aquesta zona, revelant així una incidència generalitzada en el barri del Serrallo. Cada línia en aquest gràfic representa els decibels capturats en diferents dies triats aleatòriament, i com es pot observar, tots i cadascun d'aquests dies presenten un problema recurrent en el so entre les 05:00 de la matinada i les 06:00. Arribant fins i tot a nivells pràcticament de 60 dB.

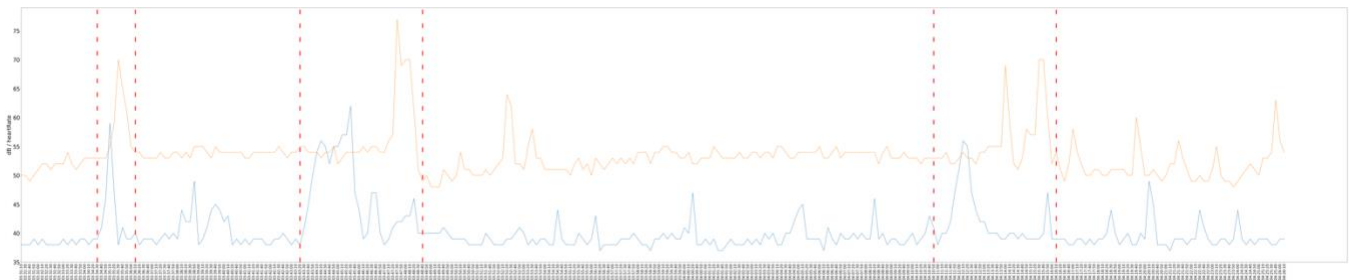


Figura 14. Nivell de dB i ritme cardíac d'un usuari de 05:00 a 06:00.

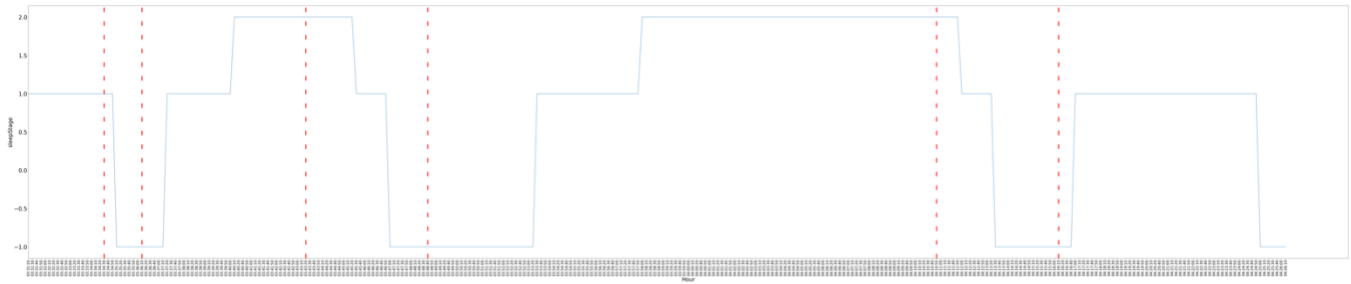


Figura 15. Nivell de somni d'un usuari de 05:00 a 06:00.

Aquests trens de mercaderies tenen greus conseqüències en la salut de les persones, com es pot observar en els anteriors gràfics [Figura 14 i 15]. Entre les dades es troben, en el gràfic superior, una línia blava i una altra taronja, representant el nivell de decibels i el ritme cardíac respectivament. En el gràfic inferior es mostra, en aquest mateix espai de temps, el somni de la persona.

Com es pot veure, hi ha tres moments marcats en vermell on hi ha fortes incidències realitzades entre aquestes hores esmentades anteriorment, que afecten el ritme cardíac [Figura 14] i a l'estat del somni [Figura 15].

Aquests gràfics mostren com **un simple soroll excessiu**, superant els nivells permesos, **fa que la persona s'alteri** en aquestes situacions, i addicionalment, **provocant que es desperti**, evitant-la d'un somni reparador una nit qualsevol.

A més d'aquesta problemàtica, **els habitants del barri del Serrallo estan exposats a nivells alarmants de soroll en les seves pròpies cases**, durant hores crucials del dia en les quals se suposa han d'estar descansant. Aquests tipus de sorolls no sols interromp el seu somni, sinó que també pot causar greus problemes de salut a llarg termini, com a estrès, ansietat i fins a possibles problemes de somni com hem mencionat a l'inici d'aquest document.

---

## Conclusions i recomanacions

Concloent el projecte, podem afirmar que hem desenvolupat unes tecnologies en el núvol i mòbil, les quals ens han permès la captura d'informació acústica i de salut dels veïns. Aquesta nova eina s'ha comprovat al llarg de l'estudi com és útil i compleix amb el seu propòsit. Aquesta pot ser aplicable a qualsevol lloc del món amb aquest mateix objectiu, fent així que pugui ser aplicada en el futur en altres ciutats del planeta si així es desitja.

Finalment, l'èxit del projecte va ser major al que es va preveure inicialment, es va finalitzar l'estudi comptant amb **4.320 hores d'enregistrament**, repartides en 736 enregistraments diferents, cadascuna d'aquestes, contenint mostres de soroll i dades de salut dels participants, generalment durant una nit completa. Aquesta informació ha permès als investigadors tenir una comprensió més detallada i completa del soroll i la salut dels habitants de Tarragona.

En aquest estudi hem identificat problemes concrets de contaminació acústica que generen problemes rellevants en tres barris de la ciutat de Tarragona. En concret, veiem diferents fonts de soroll molt rellevants que requereixen actuacions d'urgència:

1. **Port de Tarragona.** El port manté trens de mercaderies interns que han de transitar pel Serrallo/Torres Jordi per a moure's entre molls del port. La locomotora Dièsel en mal estat i l'antiguitat del tren, generen un soroll eixordador i excessiu que arriba els 90 dB de dia i de nit amb veïns a pocs metres. Aquest tren de mercaderies passa a més a la nit dues vegades, superant en excés els 45 dB permesos, i alterant greument la salut dels veïns. No existeix cap apantallament acústic en tot el recorregut.
2. **ADIF.** El corredor del Mediterrani passa per la ciutat de Tarragona a pocs metres de zones habitables. L'increment de trens de mercaderies de dia i de nit també contribueix a la contaminació acústica en la zona del Serrallo. No existeix cap apantallament acústic en tot el recorregut. Les obres del tercer carril són posteriors als habitatges i no s'han pres cap mesura.
3. **Direcció general de carreteres del Ministeri de Transport, mobilitat i agenda urbana.** Carreteres i autopistes com l'A-7 que passen al costat de residències dels barris Francolí i Tarragona 2. També hem detectat llindars de soroll molt per sobre de la normativa europea (45 dB) i de manera continuada durant la nit. No existeix cap apantallament acústic en tot el recorregut.

Aquest informe serà compartit amb la premsa, però també amb els responsables de la contaminació acústica perquè prenguin mesures. En concret, suggerim les següents accions:

- **Port de Tarragona.** El tren de mercaderies en males condicions del Port de Tarragona és la font de contaminació acústica més greu en l'actualitat. Una solució senzilla seria reemplaçar aquesta vella màquina per una moderna i silenciosa. És increïble que trens de mercaderies de 60 vagons facin menys soroll que aquest petit comboi. També es podrien suprimir els dos trens nocturns per a respectar la normativa. El manteniment d'aquesta màquina és un maltractament a la població.
- **ADIF (Corredor).** La solució a curt termini és apantallar completament el recorregut al seu pas per Tarragona o amb residències a pocs metres. Un túnel o apantallament complet seria idoni. La solució més raonable és que els trens de mercaderies no passin per la ciutat amb materials perillosos. L'associació "Mercaderies per l'Interior" ja ha proposat una solució adequada al problema perquè les mercaderies vagin per les vies d'alta velocitat de passatgers.
- **Direcció general de carreteres del Ministeri de Transport, mobilitat i agenda urbana (A-7, carreteres).** Apantallament de les vies al seu pas per habitatges.
- **Ajuntament de Tarragona.** Finalment, és l'ajuntament l'encarregat de protegir la salut dels veïns. El més greu és que l'Ajuntament és conscient d'aquests problemes perquè té un informe acústic recent que mostra els problemes en diferents barris. L'Ajuntament hauria de sancionar als responsables si no es prenen mesures que evitin aquesta contaminació acústica.

---

## Referencias bibliogràfiques

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 de septiembre). *Standard score*. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_score](https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_score)
8. Wikipedia contributors. (2022, de septiembre 17). *Cluster analysis*. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cluster\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Cluster_analysis)