




# AVALUACIÓ DE LA CONTAMINACIÓ ACÚSTICA A LA CIUTAT DE CORNELLÀ

Validació de l'ús dels *smartphones* com a instrument de mesura del soroll



TREBALL DE  
RECERCA

Pseudònim: Rosella

## RESUM

La contaminació acústica en el nucli urbà de les ciutats és un tema de gran importància a causa del creixent augment de les ciutats i de la seva població. El soroll urbà és un dels principals agents de contaminació ambiental urbana amb efectes fisiològics i psicològics sobre la població, que interfereix en activitats bàsiques com la son, l'estudi, la comunicació o la socialització, i que, per tant, pertorba el benestar general i la salut de les persones.

L'acústica en entorns urbans està generada per diferents fonts de soroll, propiciant algunes d'elles nivells de soroll tan elevats com per a crear molèsties o ser nocius. A causa d'això, a escala nacional i internacional, s'ha implementat la normativa per avaluar i controlar el nivell de soroll i s'han establert mètodes de mesura estandarditzats, els quals depenen d'instruments especialitzats com sonòmetres i dosímetres que són d'alt cost, difícil accés i maneig, per la qual cosa el seu ús està restringit a entitats especialitzades.

El desenvolupament tecnològic, en concret dels telèfons intel·ligents i d'aplicacions fàcils d'utilitzar per a l'usuari, ha permès l'ús d'aquests dispositius per avaluar entorns acústics. Ara bé, la seva fiabilitat per al monitoratge de la contaminació acústica és controvertida. Per això, sota l'objectiu principal d'aquest estudi, que és avaluar la contaminació acústica a la ciutat de Cornellà, sorgeix un segon objectiu, la validació de l'ús dels *smartphones* com a instrument de mesura del soroll.

A la part experimental d'aquest treball realitzat a Cornellà de Llobregat, i després d'una primera pràctica que va evidenciar errades de metodologia i inapropiat ús d'equips de mesura, s'han fet mesures dels nivells de soroll ambiental en espais exteriors i en un centre educatiu amb un sonòmetre convencional i dues aplicacions per a telèfon mòbil prèviament calibrades. El registre dels nivells de soroll pretén fer estimacions sobre l'exposició acústica que poden arribar a patir en el dia a dia els habitants d'un entorn urbà, com seria el cas d'un estudiant que viu a Cornellà.

Als espais exteriors, el monitoratge del camp sonor s'ha fet a diferents punts dels barris Centre i Riera. En l'àmbit del centre docent, l'avaluació de l'exposició al soroll s'ha centrat a estudiar l'ambient acústic en les aules i diferents espais de l'institut Francesc Macià. Les dades obtingudes s'analitzen i es contrasten amb els límits fixats per la normativa segons usos del sòl i infraestructures, i amb les recomanacions de l'OMS sota criteris d'incomoditat o dany per a la salut ocasionats pel soroll.

Finalment, la part pràctica d'aquest treball deixa palès la importància de la idoneïtat dels equips que s'utilitzen per a l'avaluació dels entorns sonors. Un sonòmetre integrador d'alta precisió és l'instrument reglamentari per avaluar la contaminació acústica. Ara bé, per la seva capacitat d'executar programes complexos, un telèfon

mòbil adequadament calibrat i amb un micròfon propi o extern de bona qualitat, pot ser una bona alternativa a qualsevol sonòmetre professional. No obstant, de les innumerables aplicacions per a telèfon mòbil existents moltes no són fiables, i per això, en aquest treball ha estat necessari fer una pràctica de verificació de diverses aplicacions abans de fer les mesures, per tal que aquestes fossin concloents.

**Paraules clau:** contaminació acústica, sonòmetre, soroll, aplicacions, telèfon intel·ligent, sonometria

## RESUMEN

La contaminación acústica en el casco urbano de las ciudades es un tema de gran importancia debido al creciente aumento de las ciudades y de su población. El ruido urbano es uno de los principales agentes de contaminación ambiental urbana con efectos fisiológicos y psicológicos sobre la población, que interfiere en actividades básicas como el sueño, el estudio, la comunicación o la socialización, y que por tanto perturba el bienestar general y la salud de las personas.

La acústica en entornos urbanos está generada por diferentes fuentes de ruido, propiciando algunas de ellas niveles de ruido tan elevados como para crear molestias o ser nocivos. Debido a esto, a nivel nacional e internacional, se ha implementado la normativa para evaluar y controlar el nivel de ruido y se han establecido métodos de medición estandarizados, los cuales dependen de instrumentos especializados como sonómetros y dosímetros que son de alto coste, difícil acceso y manejo, por lo cual su uso está restringido a entidades especializadas.

El desarrollo tecnológico, en concreto de los teléfonos inteligentes y de aplicaciones fáciles de utilizar para el usuario, ha permitido el uso de estos dispositivos para evaluar entornos acústicos. Ahora bien, su fiabilidad para el monitoreo de la contaminación acústica es controvertida. Por eso, bajo el objetivo principal de este estudio, que es evaluar la contaminación acústica en la ciudad de Cornellá de Llobregat, surge un segundo objetivo, la validación del uso de los *smartphones* como instrumento de medida del ruido.

En la parte experimental de este trabajo realizado en Cornellá de Llobregat, y después de una primera práctica que evidenció fallos de metodología y un uso inapropiado de equipos de medición, se han hecho mediciones de los niveles de ruido ambiental en espacios exteriores y en un centro educativo, con un sonómetro convencional y dos aplicaciones para teléfono móvil previamente calibradas. El registro de los niveles de ruido pretende hacer estimaciones sobre la exposición acústica que pueden llegar a padecer en el día a día los habitantes de un entorno urbano, como sería el caso de un estudiante que vive en Cornellá.

En los espacios exteriores, el monitoreo del campo sonoro se ha realizado en diferentes puntos de los barrios Centro y Riera. En el ámbito del centro docente, la evaluación de la exposición al ruido se ha centrado en estudiar el ambiente acústico en las aulas y distintos espacios del instituto Francesc Macià. Los datos obtenidos se analizan y contrastan con los límites fijados por la normativa según uso del suelo e infraestructuras, y con las recomendaciones de la OMS, bajo criterios de incomodidad o daño para la salud ocasionados por el ruido.

Por último, la parte práctica de este trabajo deja patente la importancia de la idoneidad de los equipos que se utilizan para la evaluación de los entornos sonoros. Un sonómetro integrador de alta precisión es el instrumento reglamentario para evaluar la contaminación acústica. Ahora bien, por su capacidad de ejecutar programas complejos, un teléfono móvil adecuadamente calibrado y con un micrófono propio o externo de buena calidad, puede ser una buena alternativa a cualquier sonómetro profesional. No obstante, de las innumerables aplicaciones existentes muchas no son fiables y por ello, en este trabajo ha sido necesario hacer una práctica de verificación de diversas aplicaciones antes de hacer las medidas, con la finalidad de que éstas fueran concluyentes.

**Palabras clave:** contaminación acústica, sonómetro, ruido, aplicaciones, teléfono inteligente, sonometría

## **ABSTRACT**

Noise pollution in the urban area of cities is an issue of great importance due to the growing increase in cities and their population. Urban noise is one of the main agents of urban environmental pollution with physiological and psychological effects on the population, which interferes with basic activities such as sleep, study, communication or socialization, and therefore disturbs the general well-being and the people's health.

The acoustics in urban environments are generated by different sources of noise, some of them causing noise levels so high as to create discomfort or be harmful. Due to this, at a national and international level, regulations have been implemented to evaluate and control the noise level and standardized measurement methods have been established, which depend on specialized instruments such as sound level meters and dosimeters that are expensive and difficult to access and manage, therefore its use is restricted to specialized entities.

Technological development, specifically smartphones and user-friendly applications, has allowed the use of these devices to assess acoustic environments. However, its reliability for monitoring noise pollution is controversial. Therefore, under the main objective of this study, which is to evaluate noise pollution in the city of Cornellá de



Llobregat, a second objective arises, the validation of the use of smartphones as a noise measurement instrument.

In the experimental part of this work carried out in Cornellá de Llobregat, and after a first practice that revealed methodology failures and inappropriate use of measurement equipment, measurements of environmental noise levels have been made in outdoor spaces and in an educational center, with a conventional sound level meter and two mobile phone applications previously calibrated. The recording of noise levels is intended to make estimates of the acoustic exposure that the inhabitants of an urban environment may suffer on a day-to-day basis, as would be the case of a student living in Cornellá.

In outdoor spaces, monitoring of the sound field at different points in the Centre and Riera neighborhoods In the field of the teaching center, the evaluation of exposure to noise has focused on studying the acoustic environment in the classrooms and different spaces of the Francesc Macià Institute. The data obtained is analyzed and contrasted with the limits set by regulations according to land use and infrastructure, and with the recommendations of the WHO, under criteria of discomfort or damage to health caused by noise.

Finally, the practical part of this work makes clear the importance of the suitability of the equipment used for the evaluation of sound environments. A high-precision integrating sound level meter is the regulatory instrument to assess noise pollution. However, due to its ability to run complex programs, a properly calibrated mobile phone with its own or a good quality external microphone can be a good alternative to any professional sound level meter. However, of the innumerable existing applications, many are not reliable and for this reason, in this work it has been necessary to carry out a verification practice of various applications before making the measurements, in order for them to be conclusive.

**Keywords:** noise pollution, sound level meter, noise, applications, smartphone, sonometry

# ÍNDEX

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓ.....</b>   | <b>7</b>  |
| Preguntes.....   | 7         |
| Hipòtesis.....   | 8         |
| Objectius.....   | 8         |
| <b>2. FÍSICA DEL SO.....</b>   | <b>10</b> |
| 2.1 Definició de so.....   | 10        |
| 2.1.1 Ona sonora. Propietats.....  | 11        |
| 2.2 Magnituds físiques del so.....   | 13        |
| 2.2.1 Tractament matemàtic de l'ona sonora. Equació d'ona.....                         | 15        |
| 2.2.2 Magnituds a considerar en la percepció del so.....                               | 16        |
| 2.3 Propagació del so.....   | 18        |
| 2.3.1 Fenòmens ondulatoris de la propagació.....                                       | 18        |
| 2.3.2 Energia del moviment ondulatori. Atenuació.....                                  | 21        |
| 2.3.3 Propagació segons el medi elàstic.....   | 23        |
| 2.4 Sensació sonora. Escala decibèlica.....  | 26        |
| 2.4.1 Nivell d'intensitat sonora.....  | 26        |
| 2.4.2 Nivell de pressió sonora.....  | 27        |
| 2.5 Representació del so. Espectre de freqüències.....                                 | 29        |
| <b>3. CONTAMINACIÓ ACÚSTICA.....</b>   | <b>30</b> |
| 3.1 Criteris de contaminació acústica.....   | 30        |
| 3.2 Principals fonts de soroll.....  | 31        |
| <b>4. EFECTES DEL SOROLL EN LA QUALITAT DE VIDA DE LES PERSONES.....</b>               | <b>31</b> |
| 4.1 Pèrdua auditiva.....   | 32        |
| 4.2 Tinnitus.....  | 32        |
| 4.3 Alteracions de la son.....   | 33        |
| 4.4 Estrès, ansietat, depressió i fatiga crònica.....                                  | 33        |
| 4.5 Problemes cardiovasculars.....   | 34        |
| 4.6 Obesitat.....  | 34        |
| 4.7 Diabetis.....  | 35        |
| 4.8 Estrès oxidatiu.....   | 35        |
| 4.9 Desenvolupament cognitiu.....  | 35        |
| 4.10 Efectes socioeconòmics del soroll.....  | 36        |
| <b>5. NORMATIVA I LEGISLACIÓ.....</b>  | <b>36</b> |
| 5.1 Normativa Europea. Directiva 2002/49/CE.....                                       | 38        |
| 5.2 Normativa estatal. Llei 37/2003, de 17 de novembre, del soroll.....                | 38        |
| 5.3 Normativa catalana. Llei 16/2002 de Protecció Contra la Contaminació Acústica..... | 39        |
| 5.4 Normativa municipal.....   | 40        |
| 5.4.1 Mapa estratègic de soroll.....   | 40        |
| 5.4.3 Mapa de capacitat acústica de Cornellà.....                                      | 42        |
| 5.5 Legislació relativa als centres docents.....                                       | 45        |
| <b>6. MESURAMENT I AVALUACIÓ DEL CAMP SONOR.....</b>                                   | <b>46</b> |
| 6.1 Paràmetres de mesurament.....  | 47        |
| 6.2 Equips de mesurament.....  | 48        |

|   |            |
|---|------------|
| 6.2.1 Sonòmetre.....  | 48         |
| 6.2.2 Calibradors acústics.....   | 51         |
| 6.2.3 Aplicacions per a telèfons intel·ligents.....   | 51         |
| <b>7. AVALUACIÓ DE LA CONTAMINACIÓ ACÚSTICA A CORNELLÀ.....</b>                                 | <b>53</b>  |
| 7.1 Equips de mesura. Verificació de les aplicacions per a telèfon mòbil.....                   | 53         |
| 7.1.1 Pràctica experimental inicial.....  | 53         |
| 7.1.2 Pràctica experimental de verificació de les aplicacions per a telèfon mòbil.....          | 56         |
| 7.2 Avaluació de l'entorn sonor exterior a Cornellà.....  | 62         |
| 7.2.1 Descripció. Metodologia.....  | 62         |
| 7.2.2 Resultats.....  | 66         |
| 7.2.3. Discussió.....   | 78         |
| 7.3 Avaluació de l'entorn sonor a un Institut d'Educació Secundària.....                        | 80         |
| 7.3.1 Descripció. Metodologia.....  | 80         |
| 7.3.2 Resultats.....  | 83         |
| 7.3.3 Discussió.....  | 88         |
| <b>8. CONCLUSIONS.....</b>  | <b>90</b>  |
| <b>9. AGRAÏMENTS.....</b>   | <b>94</b>  |
| <b>10. BIBLIOGRAFIA/WEBGRAFIA.....</b>  | <b>94</b>  |
| <b>11. FIGURES.....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>ANNEXOS.....</b>   | <b>101</b> |
| ANNEX 1: EQUIPS DE MESURA EMPRATS A LA PRÀCTICA. DESCRIPCIÓ I<br>ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES..... | 101        |
| ANNEX 2: MAPA ESTRATÈGIC PER A L'AGLOMERACIÓ DEL BAIX LLOBREGAT<br>(FASE 2017-2022).....        | 109        |
| ANNEX 3: MANUAL DE MESURAMENT I AVALUACIÓ DEL SOROLL.....                                       | 111        |
| ANNEX 3: GUIA PER A LA MESURA ACÚSTICA AMB SMARTPHONE DIRIGIDA AL<br>CIUTADÀ:.....              | 114        |
| ANNEX 4: GENERACIÓ D'UN SO PATRÓ PER VERIFICAR LES APLICACIONS:.....                            | 114        |

## 1. INTRODUCCIÓ

El creixement dels nuclis urbans i de la població ha creat entorns menys sostenibles i saludables. Segons dades de les Nacions Unides, actualment més del 54% de la població mundial es concentra en ciutats, i s'espera que l'any 2050 es congreguin a les ciutats el 68% del total. El soroll és una de les queixes més freqüents de la població que viu a les grans ciutats. La contaminació acústica comença a ser considerada per les autoritats com un agent nociu i perillós per a la salut que és necessari avaluar i gestionar amb plans de millora.

La pròpia activitat humana ens fa víctimes de la contaminació acústica. És important prendre consciència que som responsables de les conseqüències que es deriven dels sorolls alts que generem. Aquest sentiment de què som agents actius en la causa de la situació acústica que patim ha motivat el meu interès pel tema d'aquest treball de recerca.

Aquest plantejament és el que ha contribuït a la formulació de les següents preguntes:

### **Preguntes**

1. L'excés de soroll és un factor de risc per a la salut? És una possible causa de les anomenades malalties ambientals emergents? Quins efectes auditius i no auditius té una exposició perllongada al soroll?
2. A partir de quins límits es pot considerar nociu el soroll ambiental? L'OMS té establertes advertències per a la contaminació acústica? Existeix una legislació o normativa a la UE, nacional i/o autonòmica, en referència a l'avaluació i gestió del soroll ambiental?
3. Com es mesuren els nivells sonors? Quins instruments de mesura s'utilitzen? Les aplicacions per a telèfon mòbil donen resultats tan precisos com un sonòmetre?
4. A la meua ciutat, Cornellà, es respecten els límits de protecció contra la contaminació acústica o se superen i tenen efectes no desitjats en la salut de la població? Disposa l'Ajuntament de Cornellà d'estudis d'impacte acústic als quals tinguin accés els ciutadans a efecte de conèixer els diferents nivells de protecció sonora del seu municipi?
5. Quin és el diagnòstic de l'ambient acústic exterior a Cornellà? Els espais interiors o equipaments com ara el d'un centre docent de secundària estan lliures de la contaminació acústica?

## Hipòtesis

Es proposen quatre hipòtesis de treball que puguin ser verificades:

1. Gran part del dia la població de Cornellà està exposada a sorolls que causen incomoditat acústica i en pocs moments o contades ocasions està sotmesa a nivells nocius.
2. Malgrat que la ciutat de Cornellà pugui tenir un pla d'actuacions de millora de la qualitat acústica ambiental, el límit de protecció contra el soroll ambiental és superat en els espais exteriors.
3. Els nivells sonors en equipaments o espais interiors, en aquest cas l'institut Francesc Macià de Cornellà, violen els límits recomanats.
4. Les aplicacions per a dispositius mòbils no són prou fiables per fer mesures de contaminació acústica. No asseguren la precisió i exactitud d'un sonòmetre convencional.

## Objectius

- **Principal:** Conèixer si el nivell d'exposició al soroll ambiental a la ciutat de Cornellà supera els límits establerts per la legislació o normativa, per arribar a ser considerat un problema de salut pública o causa de malaltia ambiental emergent.
- **Secundaris:**
  - Mesurar el soroll urbà en diverses zones i franges horàries a la ciutat de Cornellà, en espais oberts i tancats, com ara a l'interior del centre docent de secundària Francesc Macià, per tal de conèixer el nivell d'exposició al que està sotmès la ciutadania.
  - Conèixer el funcionament i ús dels instruments de mesura del camp sonor. Realitzar la mesura del soroll urbà mitjançant un sonòmetre i aplicacions per a *smartphone*, per tal d'obtenir dades el més fiable i concloents possibles i fer una anàlisi comparativa dels dos mètodes.
  - Avaluar si les mesures estan dins dels paràmetres que contempla la legislació vigent en matèria de protecció contra la contaminació acústica. Esbrinar si l'Ajuntament de Cornellà té aprovat un mapa de capacitat acústica.



- Conèixer quins són els efectes adversos reconeguts i publicats amb evidència científica que té sobre la salut i el benestar la contaminació acústica.
- Conèixer les directrius de l'OMS en matèria de salut relacionada amb els ambients de soroll. Determinar si els nivells de soroll registrats a Cornellà atenen a les recomanacions de l'OMS.

## **Metodologia**

El treball consta de dues parts: una part teòrica i una part pràctica.

A la part teòrica es fa una introducció a la temàtica analitzant el so des del punt de vista de la física, els criteris perquè el soroll sigui considerat un contaminant acústic i les principals fonts que l'originen. A continuació es fa menció dels efectes del soroll sobre la qualitat de vida de les persones i s'analitza la normativa vigent de protecció contra la contaminació acústica. Per últim, es descriu la relació dels instruments i paràmetres utilitzats en l'avaluació de l'ambient sonor, i es mostra una guia de mesurament.

En la part pràctica, que té com a objectiu l'avaluació de la contaminació acústica a la ciutat de Cornellà, es fa una primera pràctica de mesurar i avaluar els nivells sonors que detecta dificultats i errades, i on es posa de manifest la necessitat de verificar els equips de mesura. Posteriorment, es fa la definitiva sonometria a la ciutat que permet extreure resultats i conclusions.

Per fer les mesures s'ha emprat el sonòmetre homologat PCE-999, calibrat l'any 2021, i dues aplicacions: *Decibel X-Pro Sound Meter* amb el telèfon Xiaomi Redmi Note 9 Pro i *SLA Lite* amb el telèfon iPhone 10 XS MAX.

S'han pres diverses mostres, seguint pautes de número, duració i moment de realització que puguin representar la situació real d'exposició a soroll.

La sonometria a Cornellà s'ha fet en punts estratègics de la ciutat tenint en compte les diferents zones de sensibilitat acústica i fonts de soroll (via del tren, vies de tràfic rodat importants, zones d'oci,...) i a diferents franges horàries: matí, tarda i nit. Un cop recollida la informació, s'han confeccionat gràfiques que mostren visualment els resultats.

Per altra banda, s'ha estudiat la incidència del soroll en diferents aules i estances del centre docent Francesc Macià de Cornellà. Les dades es mostren gràficament.

## 2. FÍSICA DEL SO

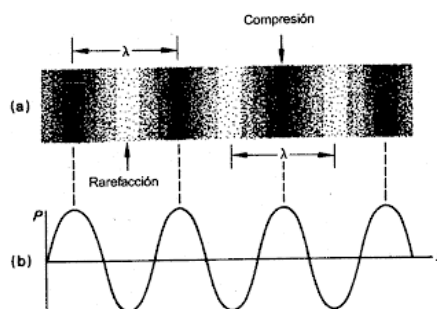
### 2.1 Definició de so

Per a la física, el so és una ona mecànica longitudinal que es propaga a través d'un mitjà de transmissió com un gas, líquid o sòlid. En fisiologia humana, el so és la recepció d'aquestes ones i la seva percepció per part del cervell. Només els sons que tenen freqüències que es troben entre 20 Hz i 20.000 Hz són sensibles a l'oïda humana. Per sobre d'aquesta freqüència es parla d'ultrasons i per sota d'infrasons. Per això, la definició del so com allò que percep la nostra oïda és restrictiva per a la física, ja que no té en compte els sons que no podem percebre els humans, però que sí que pot percebre un gos o un equip de sonar.

Es considerarà aquí el so des del punt de vista de la física i de la seva transmissió a través d'un gas com és l'aire, ja que aquest és el medi pel qual arriben els sons a les nostres oïdes.

Segons la física, el so és una pertorbació mecànica d'un estat d'equilibri, que es propaga per un medi de material elàstic, en aquest cas l'aire. El so s'origina en la vibració d'un sistema (corda o membrana d'un instrument, cordes vocals de la parla, etc.) i es propaga com una ona longitudinal a les molècules veïnes de l'aire que oscil·len en la mateixa direcció de la propagació de l'ona, produint compressions i expansions en l'aire.

Aquesta alternança de compressions i expansions (rarefaccions) comporta un canvi del volum de l'aire, de la seva densitat i, per tant, de la seva pressió, de manera que si augmenta el volum de l'aire, disminueix la pressió i a l'inrevés. En conseqüència, l'ona sonora també es pot definir com una alternança de regions d'alta pressió i baixa pressió, movent-se a una certa velocitat.



**Fig.1:** Ona sonora

### 2.1.1 Ona sonora. Propietats

L'estudi del so comença amb les propietats de les seves ones.

#### Ona mecànica

Són ones que necessiten un medi material per a propagar-se, i no només això, necessiten que aquest sigui elàstic. Sense un mitjà elàstic no hi ha so, per això les ones sonores no es propaguen al buit.

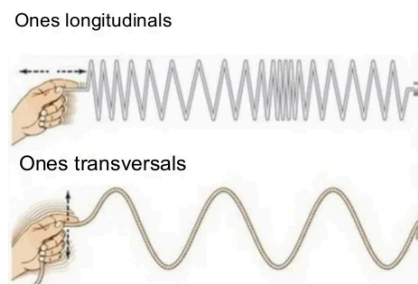
El so és un moviment ondulatori que transporta energia i quantitat de moviment, sense transportar matèria, i ho fa mitjançant ones de propagació que tenen el seu origen en un focus emissor d'ones. Per a què es produeixi el moviment ondulatori cal que cada molècula transmeti a les molècules veïnes tota l'energia. Els medis materials, les partícules dels quals permeten aquesta propagació d'ones, reben el nom de medis elàstics.

#### Ona longitudinal

Hi ha dos tipus bàsics d'ones segons la direcció d'oscil·lació de les partícules: les transversals i les longitudinals.

Ones transversals: són les ones en les quals la direcció d'oscil·lació de les partícules del medi és perpendicular a la direcció de propagació de l'ona.

Ones longitudinals: són les ones en les quals la direcció d'oscil·lació de les partícules del medi és la mateixa que la direcció de l'ona.



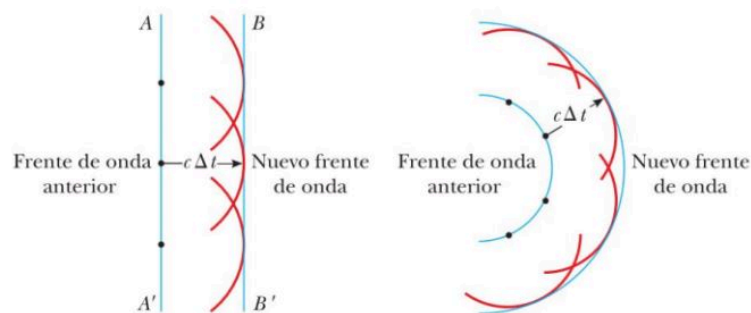
**Fig.2:** Ona transversal i longitudinal

El so es propaga a través de l'aire i altres medis com una ona longitudinal, on la vibració mecànica que la constitueix succeeix en la mateixa direcció de propagació de l'ona. Un símil seria una molla que es comprimeix i s'allibera longitudinalment des d'un extrem, mantenint l'altre fix.

## Ona esfèrica

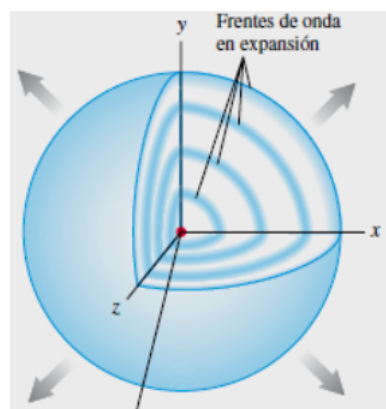
Les ones sonores són també ones tridimensionals, es propaguen en l'espai en tres dimensions. Diem que són ones esfèriques perquè l'ona que es propaga a partir d'un focus puntual ho fa en totes les direccions dibuixant unes superfícies anomenades fronts d'ona, que en aquest cas són esferes concèntriques amb centre al focus.

El mecanisme fonamental de la propagació del so en fronts d'ones esfèriques es coneix com a Principi de Huygens, en honor al físic holandès Huygens. Aquest principi estableix que qualsevol punt al qual arriba la pertorbació transmesa per una ona es comporta com un nou focus emissor d'ones. Així cada front d'ones està constituït per un número infinit de front d'ones esfèriques.



**Fig.3:** Principi de Huygens

El front d'ona és el conjunt de punts del medi als quals arriba la pertorbació en un instant de temps determinat. D'acord amb aquesta definició, tots els punts continguts en un front d'ona estan en fase, és a dir, tenen el mateix estat de vibració. La superfície que defineix el front d'ona sempre és perpendicular a les diferents direccions de propagació de l'ona.



**Fig.4:** Ona tridimensional esfèrica

El Principi de Huygens explica la reflexió, la refracció i la difracció, fenòmens ondulatoris que es tractaran posteriorment.

## 2.2 Magnituds físiques del so

Per entendre les ones sonores i la seva propagació s'utilitzarà el model d'una ona harmònica unidimensional transversal desplaçant-se a través d'un medi elàstic, encara que el so es transmet en forma d'ona esfèrica longitudinal. S'entén per ona harmònica la pertorbació que infereix un moviment harmònic simple a les partícules del medi.

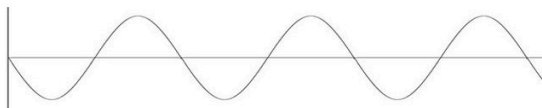
L'ona és un model a freqüència constant, que dona un so pur o simple. La funció d'ona que descriu és una funció sinusoidal pura. És un model simple que ajudarà a entendre les magnituds físiques del so que es descriuen a continuació.

- **Freqüència ( $\nu$ ).** És la magnitud per la qual es mesura el nombre de repeticions ( $n$ ) per unitat de temps ( $T$ ) d'un fenomen periòdic.

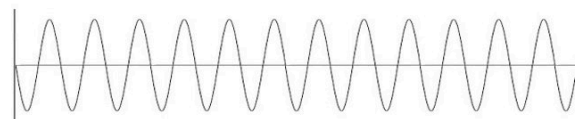
En el cas del so, el número de vegades que un cicle es repeteix en un segon. La seva unitat és l'hertz (Hz) (un cicle per segon). Els sons a baixes freqüències són percebuts per l'ésser humà com a sons greus, mentre que els sons a altes freqüències són percebuts com a sons aguts. El sistema auditiu de l'ésser humà, en condicions òptimes, té un rang espectral des de 20 Hz a 20.000 Hz.

$$\nu = \frac{1}{T}$$

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{s}$$



**Fig.5:** Ona de freqüència baixa



**Fig.6:** Ona de freqüència alta



· **Període (T)**. És el temps en què una partícula realitza una vibració (oscil·lació) completa, és a dir, la inversa de la freqüència, la qual cosa significa que les ones amb altes freqüències tenen períodes curts i a l'inrevés. Es mesura en segons (s).

$$T = \frac{1}{\nu}$$

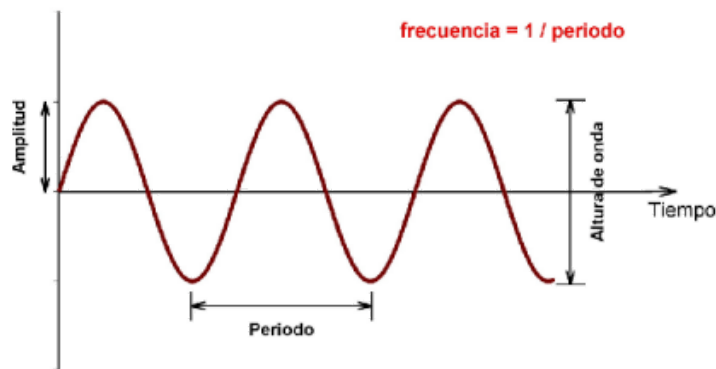


Fig.7: Ona harmònica

· **Longitud d'ona ( $\lambda$ )**. És la distància real que recorre una ona durant un període. En el so és la distància que separa dues molècules successives en el mateix estat vibratori o mateixa pressió. A major freqüència, la longitud d'ona és menor i viceversa. En el cas d'una ona sinusoidal, la longitud d'ona es defineix com la relació entre la velocitat de propagació de l'ona en el medi i la seva freqüència. Es mesura en múltiples o submúltiples del metre en unitats del Sistema Internacional d'Unitats (S.I.).

$$\lambda = \frac{V_p}{\nu} (m)$$

Sent  $V_p$  la velocitat de propagació del so que equival a 343,2 m/s a 20 °C de temperatura i amb una humitat relativa del 50% i pressió atmosfèrica de 101.325 Pascals.

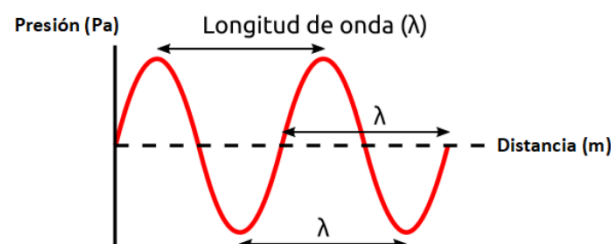
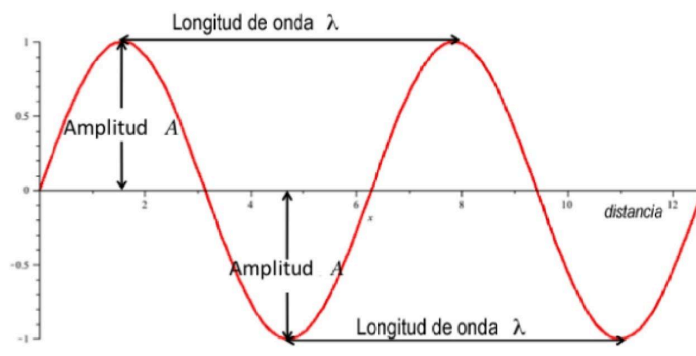


Fig.8: Ona harmònica

· **Amplitud (A).** En absència d'una ona o pertorbació, el valor d'equilibri de la pressió seria el valor de la pressió atmosfèrica. El pas successiu de compressions i rarefaccions constitueixen l'ona sonora, valors de pressió que se situen com a fluctuacions al voltant de la pressió atmosfèrica. La magnitud d'aquesta fluctuació al voltant del valor d'equilibri es coneix com a amplitud i es mesura en Pascals o Newtons per metre quadrat. Suposa el màxim desplaçament de l'ona en relació amb la posició de repòs, és a dir, la màxima pressió sonora.

L'amplitud es percep com el volum. Quan el sistema auditiu humà percep sons amb una amplitud alta, s'escolten com a sons d'alt volum, mentre que si tenen amplituds baixes com a sons dèbils.



**Fig.9:** Ona harmònica

· **Velocitat de propagació (v).** És la velocitat en què es propaguen les ones o pertorbacions en el medi elàstic, és a dir, és la distància recorreguda per l'ona per unitat de temps. També es coneix com a velocitat de fase, entenent com a fase l'estat de vibració d'un punt de l'ona. No s'ha de confondre amb la velocitat de vibració de les partícules individuals. La seva unitat de mesura en el S.I. és el metre per segon (m/s). Si considerem un cicle complet, el temps serà T i la distància recorreguda λ.

$$v = \lambda / T$$

### 2.2.1 Tractament matemàtic de l'ona sonora. Equació d'ona

D'acord amb aquestes magnituds, el moviment ondulatori de propagació d'una ona harmònica a través d'un medi es pot descriure mitjançant una expressió matemàtica, l'equació o funció d'ona. Es tracta d'una equació que permet conèixer la posició o estat de vibració que ocupa qualsevol partícula del medi situada a una distància de

l'origen en un instant de temps determinat. El seu estudi és aplicable a les ones sonores que es propaguen en l'aire, on podem estudiar les diferències de pressió d'aire com una composició d'ones harmòniques o funcions sinusoidals. La seva expressió general és:

$$y(x, t) = A \sin \left( \omega t - \frac{\omega}{v} x \right)$$

Expressats en unitats del sistema internacional, els paràmetres són els següents:

A (amplitud) en Pa.

$\omega$  (freqüència) en Hz.

t (temps) en segons.

v (velocitat) en m/s.

x (distància) en metres.

Aquesta expressió pot adoptar diferents formes en funció dels paràmetres amb què es vol expressar, però el seu contingut final és el mateix. És molt usual expressar aquesta fórmula en funció d'una magnitud anomenada nombre d'ona, que es representa pel símbol k. La seva unitat és el rad/m o  $s^{-1}$  en el S.I.

$$k = \frac{\omega}{v}$$

Si substituïm aquesta expressió en l'equació d'ona anterior, obtenim una fórmula més simple, que és la que s'utilitza normalment com a equació o funció d'ona:

$$y(x, t) = A \sin (\omega t - k x)$$

Aquesta equació ens ajuda a obtenir una representació gràfica de l'ona. Descriu una ona sinusoidal que es repeteix movent-se cap a la dreta (+ x) a l'eix d'ordenades.

### 2.2.2 Magnituds a considerar en la percepció del so

A continuació es descriuen magnituds que per la seva aplicació en la percepció del so adquireixen importància en el camp de l'acústica.

#### · Potència acústica (P)

És la quantitat d'energia radiada al medi en forma d'ones per unitat de temps (en un segon) que emet una font determinada. La unitat de mesura és el watt (W). És un valor intrínsec de la font per les seves característiques, per tant, és constant.

### · Intensitat sonora (I)

En general, es defineix la intensitat com la potència per unitat d'àrea transportada per una ona. L'amplitud d'ona i la potència acústica són directament proporcionals entre sí, és a dir, a major amplitud, major és la potència acústica. Aquesta relació s'expressa amb l'equació:

$$I = \frac{P}{S}$$

On  $P$  és la potència que travessa una àrea  $A$ .

La intensitat acústica permet determinar la quantitat d'energia que irradia una font sonora per unitat d'àrea, perpendicular a la direcció de propagació de l'ona. La seva relació amb l'amplitud es pot escriure com:

$$I = A^2 / (2 \rho S)$$

On  $\rho$  és la densitat de l'aire (mesurada en  $\text{Kg/m}^3$ ) i  $S$  és l'àrea del front d'ona, expressada en metres al quadrat.

En el cas d'una ona esfèrica que es transmet des d'una font puntual en l'espai lliure (sense obstacles), cada front d'ona és una esfera de radi  $r$ . En aquest cas, la intensitat és inversament proporcional a l'àrea del front d'ona ( $A$ ), que a la vegada és directament proporcional al quadrat de la distància a la font sonora.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

On  $I$  és la intensitat,  $P$  la potència acústica,  $A$  l'àrea del front d'ona i  $r$  la distància a la font sonora.

La intensitat es mesura en  $\text{W/m}^2$ . No és possible mesurar-la amb el sonòmetre.

### · Pressió sonora (p)

La pressió sonora o acústica és el moviment en l'aire provocat per ones sonores, causant una variació alterna en la pressió estàtica del mateix (petites variacions en la pressió atmosfèrica).

La pressió acústica es defineix com la diferència entre la pressió instantània i la pressió atmosfèrica estàtica. La unitat de mesura és el Pascal, que equival a  $1 \text{ N/m}^2$ . La pressió atmosfèrica a nivell del mar, és a dir, la pressió ambiental en absència de so se situa al voltant de  $100.000 \text{ Pa}$  (establint com a valor normalitzat els  $101.325$

Pa). Com que les xifres són altes, s'acostuma a usar la xifra de 1013,25 hPa (hectoPascals).

No s'ha de confondre pressió acústica amb potència acústica. La causa de la confusió és que la pressió acústica és responsable de l'amplitud de l'ona i l'amplitud determina la quantitat d'energia (potència acústica) d'un senyal sonor.

## 2.3 Propagació del so

### 2.3.1 Fenòmens ondulatoris de la propagació

#### Difracció

És la distorsió o variació en la direcció de la propagació d'una ona quan aquesta es troba amb un obstacle en la seva transmissió que té una dimensió comparable a la longitud d'ona i que impedeix la propagació. Pel principi de Huygens, l'obstacle es comporta com un nou focus emissor d'ones i es converteix en el centre d'una ona circular elemental.

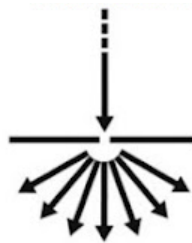


Fig.10: Difracció

#### Reflexió

Quan un so que es transmet en un mitjà determinat xoca amb objectes presents, part de l'energia és reflectida. L'ona reflectida conserva la mateixa freqüència i longitud d'ona incident, encara que disminueix la seva amplitud i intensitat. L'ona reflectida continua propagant-se pel mateix medi amb la particularitat que l'angle d'incidència i el de reflexió són iguals.

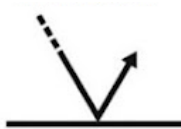


Fig.11: Reflexió



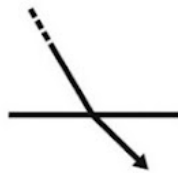
Un exemple de reflexió és l'eco. L'eco té lloc quan una ona en xocar amb una superfície torna a la font de so. Ha de passar suficient temps entre l'ona emesa i la reflectida per a percebre-les com a diferents. Quan l'ona reflectida torna a la font de so, l'ona original ha d'haver-se extingit.

Per a què sigui possible escoltar l'eco es necessita que la font sonora es trobi almenys a 17 metres de distància de l'obstacle on l'ona es reflecteix si ens referim a sons musicals i a 11,34 metres per a sons com els de les paraules. La raó d'aquesta distància mínima és que l'oïda necessita 0,1 segons per a poder distingir el so original i el so reflectit en el cas de sons musicals i 0,07 segons per a les paraules.

### **Refracció**

És el canvi de direcció i velocitat d'una ona sonora en passar d'un medi a un altre de diferent densitat. A diferència del fenomen de reflexió, en la refracció l'angle d'incidència i el de reflexió no són iguals.

La refracció també es pot produir dins d'un mateix medi quan les característiques d'aquest no són homogènies, és a dir, quan dins del mateix medi hi ha punts amb diferent temperatura.



**Fig.12:** Refracció

### **Reverberació**

És la suma total de les reflexions del so que arriben al lloc del receptor en diferents moments del temps. La percepció serà la d'una cua sonora que s'afegeix al so original. Per aquest motiu, les sales de concerts estan estudiades per minimitzar els efectes de la reverberació, amb superfícies que minimitzen les reflexions del so.

### **Ressonància**

És el fenomen que es produeix quan dos cossos tenen la mateixa freqüència pròpia de vibració. Així, un d'ells comença a vibrar quan rep les ones sonores emeses per l'altre i es converteix en una font de so.

### Principi de superposició. Interferències. Ona estacionària

Quan dues ones es troben en un punt de l'espai, el resultat és una nova ona, la pertorbació de la qual és la suma de les pertorbacions de les ones originals, fenomen que defineix el Principi de Superposició. Amb relació a aquest principi, es denomina interferència al resultat de la superposició de dues o més ones harmòniques que coexisteixen en el mateix medi i al mateix temps, de manera que en cada punt de l'espai es sumen les seves amplituds (interferència constructiva) o es resten (interferència destructiva).

Les ones que interfereixen s'anomenen ona o so coherent quan tenen la mateixa amplitud, la mateixa freqüència i el desfasament entre elles és constant.

Un cas particular és el de les ones estacionàries, que es dona quan dues ones d'igual amplitud, longitud d'ona i velocitat avancen en sentit oposat, donant una ona caracteritzada per punts de repòs (amplitud nul·la) i punts d'amplitud vibratòria màxima.

El Principi de Superposició dona explicació al fet que el terme soroll, referit al so (la veu humana, un instrument musical) es consideri una barreja de sons de freqüències no harmòniques. És un so complex on l'ona no té forma sinusoidal. Les ones sonores ordinàries gairebé sempre són la superposició d'ones de diferents amplituds, freqüències i longituds d'ona. Quan s'executa una nota determinada amb un instrument musical tenim un so complex, que correspon a una combinació de sons purs i harmònics. L'ona que descriu un so complex no pot ser una funció harmònica pura, és a dir, sinusoidal. Correspon a una composició de funcions sinusoidals, que sí continua sent periòdica en el cas d'una nota musical, però en el cas del soroll ambiental acostuma a ser aperiòdica.

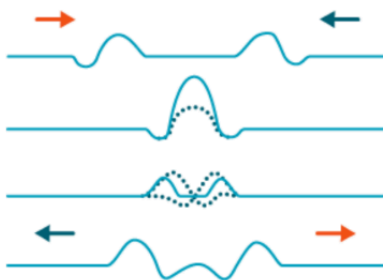


Fig.13: Principi de Superposició

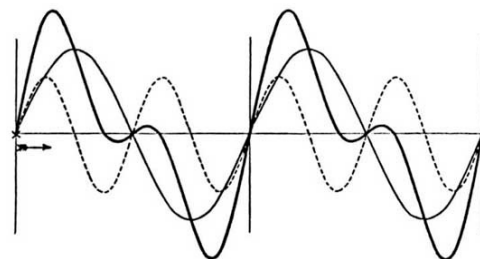


Fig.14: Funció d'ona que correspon a un so complex

### 2.3.2 Energia del moviment ondulatori. Atenuació

En aquest apartat s'analitzarà com les ones sonores s'atenuen amb la distància i poden ser absorbides o reflectides pels obstacles que troben al seu pas.

#### Atenuació per la distància

Es pot definir l'atenuació d'una ona com la disminució de la seva intensitat a mesura que s'allunya del focus emissor, a causa principalment de la repartició de l'energia entre una superfície cada cop major.

La intensitat del so es determina principalment per tres factors:

- ❖ La superfície de la font del so
- ❖ La naturalesa del medi elàstic on l'ona sonora es propaga, en aquest cas l'aire
- ❖ La distància a la font de so

En aquest apartat, l'estudi de la propagació de so a l'aire es farà considerant aquest últim factor, la intensitat del so segons la distància a la font sonora.

El que es transmet en un moviment ondulatori, com és el so, és una determinada quantitat d'energia. Les partícules del medi van transmetent l'energia que han rebut de la font del so a l'aire adjacent. L'energia potencial es va transformant en energia cinètica i a l'inrevés, de manera que l'energia és constant:

$$E = E_c + E_p$$

En el punt de màxima amplitud de l'ona sinusoidal (elongació màxima), l'energia potencial és màxima i l'energia cinètica és zero. En canvi, en el punt d'amplitud zero és al contrari, tota l'energia potencial s'ha transformat en energia cinètica. L'energia que transmet una ona, que és l'energia de les partícules que oscil·len amb una massa  $m$ , es pot escriure com:

$$E = 2 m \pi^2 f^2 A^2$$

L'energia de les partícules és proporcional al quadrat de la seva freqüència i al quadrat de la seva amplitud.

Tornant al concepte d'intensitat sonora descrit anteriorment, que la defineix com la potència transmesa per unitat de superfície (les seves unitats són  $W/m^2$ ), en condicions ideals, si considerem una font sonora puntual (no direccional) de potència  $P$  situada en el centre d'una esfera de superfície  $S$  i radi  $r$ , la intensitat del so en qualsevol punt de l'esfera serà:

$$I = P / S$$

Quan l'energia es transmet en un espai tridimensional, com que l'àrea superficial d'una esfera és proporcional ( $4\pi r^2$ ) al quadrat del radi, quan l'energia emesa s'allunya de la font es reparteix en una àrea que incrementa en proporció al quadrat de la distància respecte a la font.

La Llei que regula aquesta relació s'anomena Llei del quadrat invers i estableix que la intensitat del so té una relació inversa al quadrat de la distància.

$$I \propto \frac{A^2}{r^2}$$

On  $r$  és la distància respecte a la font i  $A$  l'amplitud.

Quan ens allunyem d'un focus sonor, la intensitat del so disminueix amb el quadrat de la distància al focus emissor. L'energia es va atenuant. Si considerem dos punts situats a distàncies  $r_1$  i  $r_2$  del focus, la relació entre les intensitats serà:

$$I_1/I_2 = (r_2)^2/(r_1)^2$$

L'amplitud d'una ona esfèrica disminueix amb la distància al focus. La relació entre dos amplituds  $A_1$ ,  $A_2$  de radis respectius  $r_1$ ,  $r_2$  és:

$$A_1/A_2 = r_2/r_1$$

En conclusió, l'amplitud és inversament proporcional a la distància, i la intensitat és inversament proporcional al quadrat de la distància. És a dir, quan una ona es transmet en totes les direccions de l'espai, pateix atenuació.

### **Absorció de l'aire**

L'aire no és un gas de densitat homogènia ni està en repòs absolut, per tant, part de l'energia acústica es transformarà en calor i en conseqüència, hi haurà atenuació. L'atenuació depèn de la freqüència del so, de la temperatura i de la humitat de l'aire. Quan major és la freqüència, major és l'atenuació.

### **Influència de la temperatura i del vent**

Per altra banda, la variació de la temperatura té influència sobre la densitat de l'aire i, per tant, sobre la velocitat de propagació de l'ona.

Quan la temperatura de l'aire decreix amb l'altitud, les ones sonores es corben amb pendent creixent. Si la temperatura creix amb l'altitud (inversió tèrmica) les ones sonores es corben cap a terra, provocant un augment d'uns 5 o 6 dB.

Amb el vent passa una situació similar; les ones sonores deixen de propagar-se en línia recta. En el sentit del vent les ones es propaguen millor i ho fan en sentit del terra. En sentit contrari al vent, les ones sonores ho tenen més difícil i es propaguen cap a dalt. L'atenuació pel vent pot provocar variacions de 5 dB entre les diferents situacions.

### **Efecte dels obstacles**

El so arriba al receptor atenuat per la distància a la font emissora i per l'absorció de l'aire en un espai lliure, però si troba un obstacle sòlid, en el seu camí part de l'energia és reflectida per l'obstacle, una altra part de l'energia és absorbida pel mateix, penetrant al seu interior i generant noves ones acústiques i la resta d'energia envoltarà l'obstacle pertorbant el camp acústic.

### **Efecte del terra**

El terra actua com un obstacle sòlid, reflectint part de l'energia i absorbint la resta. A més, a curta distància del terra existeixen gradients de temperatura, humitat, entre altres variables, que també contribueixen a l'atenuació del so.

### **2.3.3 Propagació segons el medi elàstic**

L'ona sonora no és estàtica, es propaga per arribar d'una font a un receptor. Aquesta propagació es realitza a una velocitat determinada que depèn de les propietats del medi: densitat, temperatura, elasticitat, etc.

Les ones sonores es propaguen a diferent velocitat segons l'estat del medi i les seves propietats. En els sòlids més de pressa que en els líquids, i en aquests més de pressa que en els gasos. Això és degut al fet que les forces de cohesió entre les partícules són majors en els sòlids que en els líquids i gasos. Les partícules tornen ràpidament a la seva posició d'equilibri i estan disposades a iniciar un nou moviment, motiu pel qual la velocitat del so augmenta amb la cohesió de les partícules del medi.



La velocitat del so varia molt poc amb la temperatura en els sòlids i líquids, en canvi, en els gasos, augmenta amb la temperatura perquè la probabilitat de xocs entre molècules s'incrementa.

### **Propagació de l'ona sonora als gasos**

Aquest és l'àmbit que ens afecta en aquest treball. La velocitat de l'ona es relaciona amb el mòdul elàstic (una constant que expressa l'elasticitat del medi) i amb la seva densitat. En els medis gasosos, com l'aire, les vibracions són transmiseses d'un punt a l'altre mitjançant xocs entre les partícules que constitueixen el gas, de manera que a major densitat del gas, major serà la velocitat de l'ona. La fórmula de la velocitat és la següent:

$$v = \sqrt{1/(\rho * K)}$$

On  $\rho$  és la densitat (expressada en Kg/m<sup>3</sup>) i  $K$  la compressibilitat del gas (inversa del mòdul elàstic).

També es pot relacionar amb les lleis dels gasos i introduir la temperatura a la fórmula:

$$v = \sqrt{(\gamma RT)/M}$$

On  $M$  és el pes molecular del gas,  $R$  és la constant dels gasos ideals,  $T$  és la temperatura absoluta en Kelvins i  $\gamma$  és la raó entre la calor específica a pressió constant amb la calor específica a volum constant. Ambdues són expressions que ens permeten calcular la velocitat de propagació del so en funció del gas per on es propaga. L'elecció d'una o l'altra depèn dels paràmetres que es coneixen del gas.

Aquestes fórmules assumeixen que el gas es comporta com un gas ideal. Existeixen correccions d'aquestes equacions per a gasos no ideals.

La velocitat de propagació del so a l'aire, en condicions de temperatura de 0 graus centígrads, pressió d'1 atm (a nivell del mar) i humitat relativa de l'aire del 0% (aire sec) és arrodonit de 340 m/s.

### Propagació en líquids

El concepte és el mateix que en el cas dels gasos, però en aquest cas s'aplica el concepte de mòdul de compressibilitat del líquid, que és una constant característica de cada líquid.

La fórmula de la velocitat de propagació pels medis líquids és la següent:

$$v = \sqrt{K/\rho}$$

On  $\rho$  és la densitat i  $K$  el mòdul de compressibilitat, que mesura la resistència d'un material a la compressió uniforme.

La velocitat del so en els líquids varia molt poc amb la temperatura.

### Propagació en sòlids

En els sòlids són les forces que uneixen entre si les partícules constitutives del medi les encarregades de propagar l'ona.

Es repeteix el mateix concepte, però als sòlids el paràmetre que dona idea d'elasticitat s'anomena mòdul de Young (mòdul d'elasticitat longitudinal).

La fórmula de la velocitat de propagació pels medis sòlids és la següent:

$$v = \sqrt{Y/\rho}$$

On  $\rho$  és la densitat i  $Y$  el mòdul de Young (en honor al físic Thomas Young), específic per a cada tipus de sòlid.

Aquesta fórmula és una idealització per un sòlid en dues dimensions, això no existeix a la realitat, on els sòlids tenen 3 dimensions. En aquest cas les ones es transporten en forma d'ones esfèriques i la fórmula és més complexa.

La velocitat de propagació de l'ona ha estat analitzada en els tres possibles medis elàstics per poder tenir una visió de la dimensió de la velocitat en cadascun d'ells, ja que resulten interessants i rellevants valors com els següents:

|             | Velocitat m/s | Velocitat km/h |
|-------------|---------------|----------------|
| Aire a 0°C  | 331,5         | 1193,4         |
| Aire a 20°C | 343           | 1234,8         |
| Aire a 25°C | 346           | 1245,6         |

|              | <b>Velocitat m/s</b> | <b>Velocitat km/h</b> |
|--------------|----------------------|-----------------------|
| Aigua a 25°C | 1493                 | 5374,8                |
| Fusta        | 3700                 | 13320                 |
| Formigó      | 4000                 | 14400                 |
| Acer         | 6100                 | 21960                 |
| Alumini      | 6400                 | 23040                 |

**Taula 1:** Velocitat de propagació de l'ona en diferents medis

## **2.4 Sensació sonora. Escala decibèlica**

El so és un moviment oscil·latori de les partícules de l'aire, que es va transmetent en aquest medi elàstic en forma d'ona sonora, fins a arribar a l'oïda i fer vibrar el timpà, des d'on passarà a l'oïda mitjana, oïda interna i excitarà les terminals del nervi acústic que transportarà l'impuls neuronal fins al cervell i generarà la sensació auditiva.

### **2.4.1 Nivell d'intensitat sonora**

El mecanisme de la nostra oïda pot respondre a un rang ampli d'intensitats, encara que funciona amb més eficiència als sons de petita amplitud que als sons de gran amplitud. L'oïda humana té la capacitat d'escoltar sons a partir d'una intensitat de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  a la freqüència de 1000 Hz. Aquesta intensitat es coneix com a llindar d'audició. En l'extrem contrari, el so més intens que l'oïda és capaç de captar sense sensació de dolor (llindar de dolor) és d' $1 \text{ W/m}^2$ . Donat que en aquest rang d'intensitats hi ha grans diferències de xifres en l'escala lineal es fa necessari un model matemàtic no lineal per descriure la intensitat de les ones sonores.

Aquesta escala és el Nivell d'intensitat sonor o Nivell de decibels d'una ona sonora. La seva unitat és el decibel (dB) i es defineix amb l'equació:

$$L = 10 \log (I / I_0)$$

On  $L$  representa els decibels, que corresponen a una ona sonora d'intensitat  $I$ , mesurada en  $\text{W/m}^2$ . La intensitat de referència  $I_0$  correspon al nivell 0 de decibels, és a dir, el valor del llindar d'audició o intensitat mínima que l'oïda humana pot percebre, i que té un valor de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ .

### 2.4.2 Nivell de pressió sonora

La pressió sonora és la magnitud que s'utilitza per avaluar la pertorbació de l'estat d'equilibri del medi on es propaga l'ona sonora, que és la variació per sobre i per sota de la pressió atmosfèrica. És la pressió que es genera en un punt determinat.

Les pressions sonores són molt petites comparades a la pressió atmosfèrica, que és de 101.300 Pa. Les pressions acústiques a les quals és sensible l'oïda varien en un interval enorme entre el valor més petit i el més gran. Així, el llindar inferior de l'audició humana, és a dir, la pressió acústica mínima que provoca sensació auditiva, és  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa, i el llindar màxim (llindar de dolor) està al voltant de 20 Pa.

D'altra banda, l'oïda humana, no respon de manera lineal als estímuls que rep, ho fa de manera logarítmica. Per exemple, en doblar la pressió sonora (estímul) no es dobla la sensació sonora.

Per ambdues raons, resulta molt més còmode la utilització de "nivells de pressió acústica" en comptes de pressions acústiques. Entre ambdues magnituds existeix una relació logarítmica.

L'escala logarítmica es constitueix de manera que el 0 equival al llindar de percepció:

$$2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa o } 0,00002 \text{ N/m}^2$$

Dividint cadascun dels valors de pressió sonora entre 0,00002 Pa i després aplicant logaritmes, s'obté una escala en què:

El llindar d'audició es correspon amb:  $\log \frac{0,00002}{0,00002} = 0$  en l'escala logarítmica

El llindar de dolor es correspon amb:  $\log \frac{20}{0,00002} = 6$  en l'escala logarítmica

D'aquesta manera l'escala entre 0,00002 Pa i 20 Pa queda comprimida a valors entre 0 i 6.

L'escala final que es fa servir, perquè sigui més operativa, acaba multiplicant aquests valors per 20. Aquesta és finalment l'anomenada escala decibèlica i s'expressa en decibels (dB).

Per tant: 0,00002 Pa es correspon amb 0 dB

20 Pa es correspon amb 120 dB

Es defineix el nivell de pressió sonora  $L_p$  per l'expressió:

$$L_p = 20 \log (P / P_{ref}) \text{ dB}$$

On  $P_{ref}$  és el valor de referència (0,00002 Pa),  $P$  la pressió acústica eficaç i  $L_p$  s'expressa en decibels.

D'ara endavant, ens referirem al nivell de pressió sonora en dB, en lloc de pressió sonora en Pa.

Les equacions de nivell d'intensitat sonora i nivell de pressió sonora estan lligades per la següent relació:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c}$$

On  $p$  és la pressió en Pa,  $\rho$  és la densitat del medi de propagació i  $c$  és la velocitat en el medi de propagació. Aquests dos darrers termes s'anul·len quan dividim la intensitat sonora entre la intensitat de referència.

Els passos són els següents:

$$L = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left( \frac{\frac{p^2}{\rho c}}{\frac{p_0^2}{\rho c}} \right) = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)$$

Per tant, els dB mesurats com nivell de pressió sonora són equivalents als dB mesurats com nivell d'intensitat sonora.

Encara que aquesta escala no sigui lineal, es pot mesurar directament amb el sonòmetre, que acostuma a donar un valor final en decibels.

La següent taula mostra els valors del rang dinàmic de l'audició entre 0 i 140 dB en referència als seus valors en Pa per tenir una millor idea d'aquesta escala.

| Decibels | Pressió (Pa) | Descripció        |
|----------|--------------|-------------------|
| 140      | 200          | Avió              |
| 130      | 63           | Erupció volcànica |
| 120      | 20           | Concert de rock   |
| 110      | 6.3          | Discoteca         |
| 60       | 0.02         | Conversa normal   |
| 40       | 0.002        | Parlar fluix      |
| 30       | 0.00063      | Xiuxiuejar        |
| 10       | 0.000063     | Nit al camp       |
| 0        | 0.00002      | Llindar auditiu   |

**Taula 2:** Rang d'audició

Per a tenir en compte la sensibilitat de la nostra oïda a les diferents freqüències, els nivells de pressió sonora acostumen a mesurar-se en decibels A. L'oïda humana és sobretot sensible a freqüències compreses entre 500 Hz i 2000 Hz. Per a un mateix nivell de pressió sonora, un soroll serà més molest com més proporció de freqüències altes tingui. Per aquesta raó, els aparells de mesura estan dotats d'un filtre "A" que atenua les freqüències baixes i reconstrueix el que percep l'oïda. En conseqüència el dB(A) és la notació utilitzada habitualment en l'avaluació del nivell de soroll que produeix molèsties a les persones.

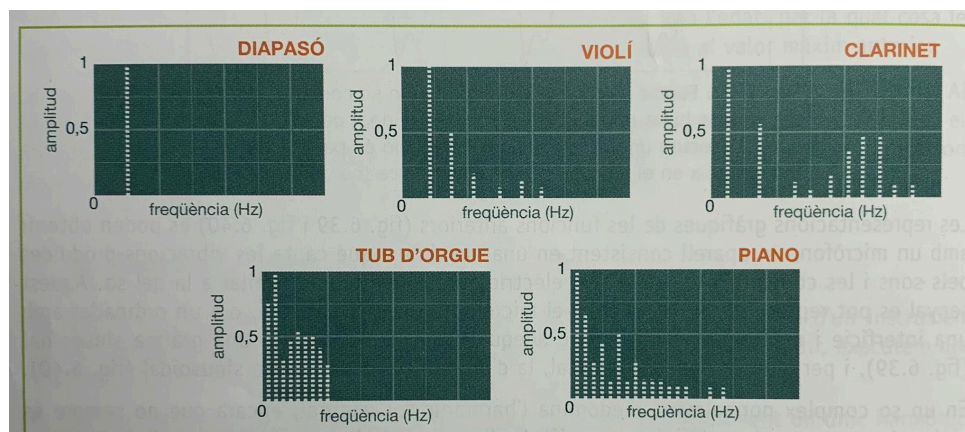
## 2.5 Representació del so. Espectre de freqüències

L'espectre es caracteritza per la distribució d'amplituds per a cada freqüència d'un fenomen ondulatori com ara el so. L'espectre d'un so es defineix com la representació de la distribució d'energia sonora en funció de la freqüència. S'utilitza per analitzar sons complexos, que estan compostos per diferents freqüències.

La percepció del so depèn de les qualitats del so, que són la intensitat, el to i el timbre. En funció d'elles distingim un so d'un altre.

Hem vist que segons la intensitat els sons poden ser forts (gran amplitud) o dèbils (baixa amplitud). En canvi, el to permet diferenciar entre sons aguts i greus, qualitat que depèn de la freqüència.

El timbre és la qualitat que permet diferenciar dos sons de la mateixa intensitat i to. El timbre és degut a que els sons es poden descompondre en una superposició de sons purs de freqüències diferents. Observem els sons musicals:



**Fig.15:** Espectre de freqüències obtingut en executar una nota determinada amb diferents instruments

Quan es fa sonar un diapasó, la representació de la seva ona és la d'una ona simple amb una única freqüència i una única amplitud. La majoria dels sons naturals, com la resta dels instruments mostrats no contenen una sola freqüència d'una sola amplitud, sinó que contenen moltes freqüències i cada una de diferent amplitud. La repartició de l'energia sonora en funció de cadascuna d'aquestes freqüències defineix l'espectre de freqüències del so. Conèixer l'espectre permet establir si el so conté freqüències baixes (sons greus < a 250 Hz), mitjanes (entre 500 i 1000 Hz) o altes (sons aguts > de 1000 Hz). És un fenomen important, ja que l'oïda reacciona de manera diferent segons les freqüències.

Per a realitzar una anàlisi de freqüències (anàlisi espectral) es descompon aquest interval en deu bandes consecutives, on cadascuna ocupa una amplada de freqüències anomenada banda d'octava, i es determina el nivell de pressió sonora corresponent a cadascuna de les bandes. El més habitual és fer una anàlisi per filtres d'octava o filtres de terç d'octava (més precís), on la banda té una amplada proporcional a la freqüència central, que acostuma a ser de 1000 Hz.

### **3. CONTAMINACIÓ ACÚSTICA**

#### **3.1 Criteris de contaminació acústica**

L'estudi de l'origen del so i la seva propagació permet identificar les característiques del soroll, entès com un so desagradable o inadmissible per les molèsties que genera. Hi ha situacions on s'identifiquen aquestes molèsties, perquè l'exposició pot provocar danys físics avaluables, però, en canvi, el risc que té per a la salut no és tan fàcil sempre de quantificar en moltes altres. El soroll té un component subjectiu, i per tant cal establir indicadors de soroll que es correlacionin amb el grau de molèstia per tal d'establir criteris de qualitat de l'ambient sonor.

No tot soroll és considerat contaminació sonora. L'Organització Mundial de la Salut (OMS) defineix com a soroll qualsevol so superior a 65 dB, encara que per sobre dels 45 dB comencen a notar-se alteracions a la salut i un nivell superior a 55 dB és causa d'incomoditat acústica. En concret, el soroll es torna nociu per sobre dels 75 dB i dolorós per sobre dels 120 dB. En conseqüència, aquest estament recomana no superar els 65 dB durant el dia i indica que a les nits el soroll ambiental no ha de sobrepassar els 30 dB perquè la son sigui reparadora.

### **3.2 Principals fonts de soroll**

A Barcelona i la seva àrea metropolitana, inclosa Cornellà, la principal font de soroll és el tràfic viari, que constitueix el 85% de l'exposició al soroll. Altres fonts amb menys incidència són l'oci nocturn, que suposa un 10%, el soroll ferroviari o industrial amb una contribució molt per sota (2%). El resultat final de totes aquestes fonts és que, durant el dia els rangs predominants de soroll se situen entre 55-70 dB, mentre que a la nit se situen entre els 50-60 dB.

La percepció de la població respecte a les fonts causants de soroll difereix de la realitat. Les principals queixes o denúncies són referides al soroll relacionat per l'aglomeració de persones, festes o activitats esportives en espais públics, al servei de neteja i recollida, activitats comercials o industrials o el soroll produït per l'hosteleria. En canvi, el tràfic rodat, la principal font de soroll està assumit que és inevitable a l'espai urbà i, per tant, no suscita queixes.

## **4. EFECTES DEL SOROLL EN LA QUALITAT DE VIDA DE LES PERSONES**

La situació de degradació ambiental acústica pot afectar la salut i el benestar de les persones, tenint efectes auditius però també efectes no auditius. Els auditius tenen relació directa amb l'exposició al soroll i la seva conseqüència serà la pèrdua auditiva, tinnitus, etc. Mentre que els no auditius, produiran alteracions fisiològiques, com són les alteracions cardíaques, circulatòries, digestives o endocrines, entre altres; i psicològiques, com la irritabilitat o pèrdua de concentració. Podem dir, per tant, que el soroll és un agent estressant ambiental que a una exposició mantinguda en el temps o una breu exposició a alts nivells de pressió sonora pot produir tant danys físics com psicològics. Però, com veurem als següents apartats, el soroll no té repercussions tan sols en la salut i en els entorns residencials, i laborals, sinó que transcendeix més enllà, afectant l'esfera econòmica i social.

La contaminació acústica, segons l'OMS, és un dels factors ambientals que provoca més problemes de salut. Solament a Europa, segons l'Agència Europea del Medi Ambient (AEMA), causa a l'any 16.600 morts prematures i, més de 72.000 hospitalitzacions. Tot i això, la majoria de les persones accepta el soroll del seu entorn com a part de la seva vida quotidiana i desconeix els riscos que se'n deriven per a la salut. L'efecte del soroll més àmpliament reconegut per l'humà és la sensació subjectiva de molèstia o de disconfort, ateses les característiques pròpies del soroll i les del mateix humà, com és el seu estat d'ànim o la seva sensibilitat.



L'ésser humà no és conscient dels efectes perjudicials directes i acumulatius en la seva salut i benestar que es detallen a continuació.

#### **4.1 Pèrdua auditiva**

L'exposició a sons forts provoca pèrdua temporal de l'audició o tinnitus. L'exposició perllongada al soroll acostuma a provocar l'anomenada pèrdua d'audició induïda, coneguda per les inicials en anglès NIHL (Noise Induced Hearing Loss) o hipoacúsia, un dany permanent i irreversible, que causa danys a l'oïda interna, provocant la mort de cèl·lules ciliades. Segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS), l'any 2020 uns 466 milions de persones al món van presentar una pèrdua d'audició incapacitant i s'espera que aquests valors es dupliquin per l'any 2050. Uns 43 milions són persones d'entre 12 i 35 anys, i s'estima que en aquesta franja d'edat el risc de perdre l'audició s'intensificarà a causa de l'exposició perllongada i excessiva de soroll recreatiu, fet que es pot prevenir fins al 60% dels casos. Aquesta pèrdua té un profund impacte en els afectats, reduint la seva qualitat de vida, perjudicant les seves capacitats físiques i mentals, i les relacions socials i laborals. Un nivell sonor de 85 dB(A) és el nivell més alt d'exposició segura als sorolls. Nivells superiors poden causar danys permanents com la pèrdua de sensibilitat o inclús la pèrdua total auditiva. En un estudi fet per Neitzel i Fligor (2019) es va determinar que el límit d'exposició adequat per a limitar el risc de pèrdua d'audició a causa del soroll recreatiu és de 80 dB(A) durant un període curt de temps o de 75 dB (A) si és durant 24 hores. Aquest estudi també mostra que el tinnitus induït pel soroll pot precedir a la NIHL.

#### **4.2 Tinnitus**

Una altra conseqüència de l'excés de soroll poden ser els anomenats acúfens o tinnitus, trastorns auditius que generen la percepció d'un xiulet a l'oïda sense que aquest provingui d'una font externa. Aquesta sensació pot succeir a banda o junt amb la pèrdua d'audició o hipoacúsia. Afecta la qualitat de vida de milions de persones a tot el món i pot ocórrer en una o ambdues oïdes. El tinnitus pot començar de manera intermitent i desaparèixer amb el temps, però a vegades pot continuar de manera continua o ocasional al llarg de la vida, independentment de l'edat d'inici.

### **4.3 Alteracions de la son**

Un soroll per sobre dels 45 dB impedeix agafar la son o dormir plàcidament. Recordem que segons l'OMS el soroll ambiental nocturn no ha de superar els 30 dB, ja que pot influir a la nostra conducta, generant agressivitat o irritabilitat.

Existeixen evidències clares de què els trastorns de la son estan associats a l'empitjorament de la salut i de què l'exposició a la contaminació acústica durant les 24 hores del dia afecta negativament a la son.

Segons dades de l'Institut Nacional d'Estadística, la font de soroll més denunciada és precisament l'oci nocturn, objecte del 37% de les reclamacions enfront del 6% de les denúncies per tràfic viari, sent aquesta última la causa més acusada de soroll a l'habitatge.

Un estudi fet per Halonen (2012), conclou que els nivells de soroll de tràfic nocturn superiors a 50 dB es van associar amb símptomes d'insomni entre les persones amb puntuacions més altes d'ansietat, i que per a la resta de població de l'estudi, els símptomes d'insomni es van associar a un soroll de tràfic nocturn superior a 55 dB.

Estudis més recents, Edvant, et al. (2017), també han establert una relació entre el soroll nocturn del tràfic rodat amb les dificultats per a agafar la son i amb el despertar precoç. Els resultats indiquen que els individus exposats a alts nivells de soroll de tràfic nocturn podrien patir falta de son.

Mucci, et al., (2020) conclou al seu estudi que entre un 5 i un 15% de la població de la UE pateix trastorns de la son per l'exposició crònica al soroll urbà i que a vegades s'associen a símptomes cardiovasculars.

### **4.4 Estrès, ansietat, depressió i fatiga crònica**

La contaminació acústica pot provocar problemes d'estrès, ansietat, depressió i fatiga crònica en les persones que la pateixen.

Un estudi fet entre la població alemanya el 2016 per Beutel, et al., va determinar que les molèsties generades pel soroll, tant moderades com extremes, augmenten el risc de depressió i ansietat en comparació amb l'absència de molèsties. En un estudi posterior publicat pels mateixos autors el 2020, van investigar si la molèstia resultant o causada per diferents fonts de soroll pot predir el malestar mental cinc anys després. Els resultats van indicar que les molèsties per soroll general es van mantenir estables, mentre que les molèsties per soroll diürn van predir l'aparició de

nous símptomes depressius, d'ansietat i trastorns de la son. El tràfic rodat torna a tenir especial importància generant molèsties diürnes i nocturnes.

Altres estudis arriben a quantificar un major risc de depressió (4%) i ansietat (12%) a causa de l'augment del soroll del tràfic rodat en combinació amb el soroll ambiental. Resultats semblants s'obtenen en estudis fets amb relació al soroll per aeronaus i pel ferrocarril.

#### **4.5 Problemes cardiovasculars**

Nombrosos estudis posen de manifest la connexió entre la contaminació acústica i la malaltia cardiovascular. Els nivells alts de decibels del trànsit rodat i els avions s'han relacionat amb la hipertensió arterial coronària, l'accident vascular cerebral i la insuficiència cardíaca. El soroll pertorba el cos a escala cel·lular, activa el sistema nerviós simpàtic de "fugida o lluita" i indueix un augment de les hormones de l'estrès, que eventualment pot provocar danys vasculars. Per a les persones que ja tenen factors de risc per a malalties cardiovasculars, viure en un entorn sorollós podria accelerar problemes com l'aterosclerosi. Una manera en què la contaminació acústica probablement afecta la salut cardíaca és alterant la son. En els estudis, el soroll nocturn s'ha relacionat amb un augment de la pressió arterial, fins i tot si la gent no es despertava o no era conscient que la son havia estat interrompuda.

Una revisió sistemàtica de 61 estudis publicada el 2018 per Van Kempen en el marc del desenvolupament de les Directrius sobre soroll ambiental de l'OMS per a la Unió Europea, relaciona el tràfic rodat amb l'augment del risc de cardiopatia isquèmica, principalment infart de miocardi. A més també podria elevar el risc de pressió arterial alta, i accident cerebrovascular. Tant els efectes cardiovasculars com metabòlics del soroll poden estar mediat per mecanismes relacionats amb l'estrès i l'alteració de la son, possiblement afectant l'equilibri hormonal.

#### **4.6 Obesitat**

En un estudi de l'any 2018 fet per Foraster, et al., es demostra l'existència d'una relació entre el soroll i l'obesitat. La relació s'estableix per la influència del soroll en les malalties cardiovasculars i la diabetis. Es van avaluar les relacions entre l'exposició a llarg termini al soroll de carreteres, ferrocarrils i aeronaus amb l'obesitat i els seus fenotips. Els resultats reflecteixen alteracions de tots els paràmetres d'obesitat, l'índex de massa corporal (IMC) més elevat, greix abdominal i adipositat

total. Un altre mecanisme implicat en l'obesitat, l'alteració del son, desregula la glucosa i altera la gana, entre altres efectes.

#### **4.7 Diabetis**

També hi ha estudis que estableixen una relació entre el soroll i la diabetis. Les exposicions a nivells alts de soroll s'han associat a un major risc d'hiperglucèmia i una exposició mantinguda en el temps s'ha associat a un major risc de diabetis incident. Un article publicat per Wu, et al., publicat el 2023 que inclou una anàlisi de 8 estudis de cohort, associa el soroll del trànsit a la carretera amb la diabetis tipus 2 amb una evidència alta.

#### **4.8 Estrès oxidatiu**

Des d'un punt de vista molecular, estudis experimentals suggereixen que l'exposició al soroll del trànsit pot augmentar els nivells de l'hormona de l'estrès produint problemes inflamatoris diversos i estrès oxidatiu.

#### **4.9 Desenvolupament cognitiu**

El soroll afecta la capacitat de concentració i memòria, provocant a llarg termini un baix rendiment. Els resultats de les investigacions realitzades recentment sobre aquest tema s'han centrat fonamentalment a analitzar l'efecte del soroll en els processos cognitius com la memòria, l'atenció i l'aprenentatge de la lectura en nens. El soroll afecta els nens en el seu desenvolupament cognitiu (Lercher, et al., 2013). Així ho demostra l'estudi que es va fer amb nens de 8 a 10 anys en zones rurals dels Alps, que va descobrir que els nivells de soroll ambiental de la comunitat (soroll del tren i trànsit rodat) superiors a 60 dB(A) s'associaven amb un pitjor rendiment de la memòria.

Més recent, Klatter et al., 2017, van analitzar els efectes del soroll de les aeronaus en la cognició i qualitat de vida de 1.243 alumnes de segon grau de 29 escoles al voltant de l'aeroport de Frankfurt/Main, a Alemanya. Es determinava una relació de l'augment del soroll amb una disminució del rendiment a la lectura. Un altre estudi publicat (Foraster, 2022), que relaciona l'exposició del trànsit rodat amb el desenvolupament cognitiu en escolars a Barcelona va associar un desenvolupament més lent de la memòria de treball, la memòria de treball complexa i l'atenció en els escolars de més d'un any.

#### **4.10 Efectes socioeconòmics del soroll**

El soroll no només produeix efectes nocius sobre la salut humana, també repercuteix en altres dimensions, com són els aspectes econòmics i socials. Alguns destacats són:

- ❖ Augment dels costos de l'assistència sanitària.
- ❖ Augment dels accidents laborals entre treballadors amb pèrdua d'audició per pitjor intel·ligibilitat de la parla i menor capacitat per a localitzar els sons.
- ❖ Dificultats de comunicació. La qualitat de la parla i l'escolta estan molt influïdes pel soroll.
- ❖ Dificultats de convivència. Molèsties entre veïns per veus, crits, discussions, animals domèstics, ràdio, televisió o música.
- ❖ Augment de l'agressivitat.
- ❖ Disminució dels preus de les propietats afectades per fonts de soroll com aeroports o carreteres d'alt trànsit i increment de preus en districtes tranquils.

#### **5. NORMATIVA I LEGISLACIÓ**

Establir uns valors límits de soroll per tal de prevenir o reduir la contaminació acústica a què està exposada la població és complex. No existeixen criteris unànimes per part de les administracions i organismes oficials per definir-los. A escala europea, la Directiva 2002/49/CE, del Parlament Europeu i del Consell, de 25 de juny de 2002, sobre avaluació i gestió del soroll ambiental, ha obligat a un procés de transposició de les seves normes al Dret intern dels estats membres, i per això, cada país, regió o ciutat actua en termes diferents pel que fa a prevenir o millorar la qualitat acústica.

L'evolució de la legislació sobre el soroll ha seguit un procés invers. Els ajuntaments han estat els primers en prendre consciència del problema del soroll i desenvolupar una normativa pròpia, amb les ordenances municipals. Després la preocupació es va traslladar a les comunitats autònomes, de manera que alguns parlaments autonòmics han promulgat les seves lleis, com és el cas de Catalunya. En un tercer moment, ha estat el govern espanyol qui ha vist la necessitat d'unificar una legislació.

A Cornellà, que forma part de l'aglomeració supramunicipal del Baix Llobregat junt amb Esplugues de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Sant Joan Despí i Sant Just

Desvern, els límits per al soroll estan definits per l'Ordenança de Medi Ambient que, recull els requisits establerts pels estaments que estan per sobre d'ella, la Generalitat i en última instància per l'Estat Espanyol. En aquest sentit, l'Ordenança de Medi Ambient estableix objectius de qualitat, valors límits de nivell acústic que no s'han de sobrepassar, depenent de les zones de sensibilitat acústica, els usos del sòl predominants i la franja horària.

Cal dir que els nivells recomanats per l'OMS són significativament més baixos que els nivells permesos per la normativa a les aglomeracions urbanes, i Cornellà no és una excepció, indicatiu de què el nivell de pressió acústica en els entorns urbans acostuma a ser molt elevat.

### **Context jurídic i normatives**

Àmbit de la Unió Europea:

- ❖ La Directiva 2002/49/CE, del 25 de juny de 2002, sobre avaluació i gestió del soroll ambiental.

Àmbit estatal:

- ❖ Llei 37/2003, de 17 de novembre, del soroll.
- ❖ Reial Decret 1513/2005, de 16 de desembre, pel qual es desenvolupa la Llei 37/2003, referent a l'avaluació i gestió del soroll.
- ❖ Reial Decret 1367/2007, de 19 d'octubre, pel qual es desenvolupa la Llei 37/2003, referent a la zonificació acústica, objectius de qualitat i emissions acústiques.

Àmbit autonòmic de Catalunya:

- ❖ La Llei 16/2002, del 28 de juny, de Protecció Contra la Contaminació Acústica.
- ❖ Decret 245/2005, de 8 de novembre, pel qual es fixen els criteris d'elaboració de mapes de capacitat acústica.
- ❖ El Decret 176/2009, del 10 de novembre, va aprovar el Reglament de la Llei 16/2002, de Protecció Contra la Contaminació Acústica.

Àmbit municipal:

- ❖ Ordenances municipals

### **5.1 Normativa Europea. Directiva 2002/49/CE**

La normativa actualment vigent que encapçala en Europa la lluita contra el soroll ambiental és la Directiva 2002/49. Va elaborar les bases que posteriorment han permès adoptar mesures comunitàries amb relació al soroll. En aquest sentit, requereix que els estats membres europeus publiquin els plans estratègics de soroll i plans d'acció cada cinc anys.

Reconeix la importància del seguiment de la cartografia dels nivells de pressió sonora de les distintes infraestructures, en particular, del tràfic rodat, principal causant dels problemes de salut en matèria acústica a Europa, per tal d'avaluar i controlar l'exposició al soroll.

A Espanya, es van establir quatre fases d'implantació per a l'aprovació i entrega dels plans a la Comissió Europea. La tercera fase va finalitzar el passat 28 de juliol de 2018 i la pròxima entrega ha de ser presentada a finals de setembre de 2024, igual que els mapes acústics.

### **5.2 Normativa estatal. Llei 37/2003, de 17 de novembre, del soroll**

Aquesta Llei tracta el soroll en un sentit més ampli. El seu propòsit genèric és:

- ❖ Prevenir, vigilar i reduir la contaminació acústica, tot això a fi d'evitar danys per a la salut, els béns i el medi ambient.
- ❖ Establir àrees i índexs acústics, i mapes de soroll amb l'objectiu de procurar el màxim compliment dels objectius de qualitat acústica.
- ❖ Proporcionar informació i criteris d'actuació a les administracions públiques competents per a la prevenció de la contaminació acústica.
- ❖ Enunciar els instruments o mesures d'acció preventiva i correctora que aquestes poden fer servir, Plans d'Acció i de tècnica de Correcció en matèria de contaminació acústica.

Àmbit d'aplicació:

- ❖ Als efectes de la Llei, el concepte d'emissor acústic es refereix a qualsevol activitat, infraestructura, equip, maquinària o comportament que generi contaminació acústica.
- ❖ S'exclou la contaminació acústica originada en la pràctica d'activitats domèstiques o les relacions de veïnatge, sempre que no superi els límits tolerables de conformitat amb els usos locals, i l'activitat laboral respecte de la contaminació acústica que produeix en el lloc de treball.

### **5.3 Normativa catalana. Llei 16/2002 de Protecció Contra la Contaminació Acústica**

Aquesta llei pretén posar en pràctica tot un seguit de mesures que tinguin un efecte directe en la qualitat de vida dels ciutadans i establir un règim d'intervenció administrativa que sigui aplicable a tot el territori de Catalunya.

La protecció contra el soroll és un àmbit que correspon a la Generalitat, qui fa l'ordenació general, mentre que els ajuntaments són els encarregats de fer actuacions en els àmbits territorials respectius, amb el suport del Departament de Medi Ambient.

La finalitat bàsica d'aquesta llei es pot resumir en:

- ❖ El dret a tenir un medi ambient adequat per al desenvolupament de la persona.
- ❖ El dret a la protecció de la salut.
- ❖ El dret a la intimitat.
- ❖ El benestar i la qualitat de vida dels ciutadans.

L'àmbit d'aplicació de la llei és en referència a infraestructures, instal·lacions, maquinària, activitats o comportaments que originin sorolls i vibracions.

Els trets més rellevants d'aquesta llei són:

- ❖ Tractament del so amb la consideració de contaminació acústica.
- ❖ Delimitació del territori en zones de sensibilitat acústica, és a dir, territoris amb una mateixa percepció acústica
- ❖ Estableix la zonificació acústica del territori sotmès a fonts de soroll
- ❖ Determinació dels nivells d'immissió (nivell acústic mitjà existent durant un període de temps determinat, mesurat en un lloc determinat) per a infraestructures de transport, activitats i veïnat, d'espais públics, etc.
- ❖ Determinació dels nivells d'emissió (nivell acústic produït per un emissor acústic, mesurat a una distància determinada) de vehicles de tracció mecànica, maquinària, etc.
- ❖ Regulació de la qualitat acústica a les noves construccions.
- ❖ Establiment de mesures per a minimitzar l'impacte acústic en les construccions existents.



A més estableix que els ajuntaments han d'elaborar un mapa de capacitat acústica amb els nivells d'immissió dels emissors acústics a què és aplicable aquesta Llei que estiguin inclosos en les zones urbanes, els nuclis de població i, si escau, les zones del medi natural. El mapa estarà a l'accés dels ciutadans a efecte de conèixer els diferents nivells de protecció sonora de llur municipi.

També dedica un dels seus capítols al règim d'intervenció de les administracions públiques, i a l'elaboració d'un mapa estratègic de soroll per part de les entitats locals i administracions titulars d'infraestructures cada cinc anys. L'últim dels capítols correspon a la inspecció, control i règim sancionador.

La Llei consta de 5 capítols i 12 annexos que recullen el desenvolupament tècnic de la Llei per la determinació dels nivells d'immissió i les exigències relatives als mètodes de càlcul i als equips de mesurament.

#### **5.4 Normativa municipal**

D'acord amb la Llei 16/2002, tots els ens locals han d'elaborar mapes estratègics de soroll que avaluen l'exposició de la població al soroll, mapes municipals de capacitat acústica que estableixin objectius de qualitat i plans d'acció que són l'instrument de preservació, recuperació i millora de la qualitat acústica. Tota aquesta documentació serà recopilada pel Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat.

Les ordenances municipals sobre soroll regulen les mesures necessàries per prevenir i corregir la contaminació acústica, donant resposta a les inquietuds de la ciutadania.

##### **5.4.1 Mapa estratègic de soroll**

En aplicació de la Directiva Europea 2002/49/CE sobre avaluació i gestió del soroll ambiental, les grans aglomeracions urbanes han de fer una avaluació cada cinc anys de la població exposada al soroll ambiental que es reflecteix en el Mapa estratègic de soroll. Aquest mapa estratègic s'ha d'elaborar per a aglomeracions de més de 100.000 habitants, de tots els grans eixos viaris on el trànsit sobrepassi els 3.000.000 de vehicles l'any, dels grans eixos ferroviaris on el trànsit sobrepassi els 30.000 trens l'any i dels aeroports i els ports.

Les aglomeracions poden ser d'àmbit municipal o supramunicipal. Cornellà pertany a l'aglomeració del Baix Llobregat I (BLLI), s'agrupa amb els municipis veïns, ja que

per si sol no constitueix una aglomeració. El cens de Cornellà de l'any 2019 fixa la població de Cornellà en 88.592 habitants.

A Catalunya són considerades aglomeracions municipals o supramunicipals aquells municipis que concentren una densitat de població igual o superior a 3.000 habitants per km<sup>2</sup> en algun sector del seu territori, i quan dos o més d'aquests sectors tenen una distància horitzontal entre ells igual o inferior a 200 metres.

### Què ha d'incloure el mapa estratègic?

1. Informació de la situació acústica existent, de les fonts de soroll i els índexs de nivells sonors.

El mesurament d'aquests índexs es farà d'acord el que especifica la Llei 16/2002. La Directiva determina que els índexs valorats siguin:

- El nivell nocturn, Ln.
- L'índex d'immissió de soroll dia-nit, Lden, en decibels aplicant la fórmula:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 14 * 10^{\frac{L_d}{10}} + 2 * 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right)$$

Que, ahora depèn de:

Ld: nivell sonor equivalent a llarg termini entre les 7 hores del matí i les 21 hores del vespre (horari diürn) i per a tots els períodes diürns d'un any.

Le: nivell sonor equivalent a llarg termini entre les 21 hores del vespre i les 23 hores de la nit (horari de vespre) i per a tots els períodes vespertins d'un any.

Ln: nivell sonor equivalent a llarg termini en l'interval comprès entre les 23 hores de la nit i les 7 hores del matí (horari de nit) i per a tots els períodes nocturns de l'any.

La representació gràfica de la situació acústica existent es fa per trams d'increment de 5 dB i els índexs de soroll que es representen són: Ld, Ln i Lden.

| Rang  | Color associat |
|-------|----------------|
| < 55  | Verd           |
| 55-59 | Groc           |

| Rang  | Color associat |
|-------|----------------|
| < 50  | Verd clar      |
| 50-54 | Verd           |

| Rang  | Color associat |
|-------|----------------|
| 60-64 | Ocre           |
| 65-69 | Taronja        |
| 70-74 | Vermell        |
| ≥ 75  | Rosa           |

**Taula 3:** Intervals i colors associats a l'indicador Lden i Ld  
l'indicador Ln

| Rang  | Color associat |
|-------|----------------|
| 55-59 | Groc           |
| 60-64 | Ocre           |
| 65-69 | Taronja        |
| ≥ 70  | Vermell        |

**Taula 4:** Intervals i colors associats a

2. El nombre estimat de població situada en una zona exposada al soroll.
3. Un mapa de capacitat acústica.
4. La superació de valors límit. Les superacions de valors límit, s'obtenen de la comparació entre la situació acústica real mesurada i els objectius de qualitat acústica establerts en el mapa de capacitat acústica (MCA) corresponent per a una zona determinada.

#### 5.4.3 Mapa de capacitat acústica de Cornellà

D'acord amb la Llei 16/2002, 28 de juny, tots els ens locals han d'elaborar i aprovar mapes de capacitat acústica amb la finalitat d'establir objectius de qualitat. Els mapes estableixen la zonificació acústica del municipi i els valors límit d'immissió d'acord amb les zones de sensibilitat acústica, és a dir, fixen el nivell d'immissió màxim permès en cada zona durant un període de temps determinat. L'Ajuntament de Cornellà de Llobregat va aprovar el mapa acústic del terme municipal en el Ple, 28 de juliol del 2015. És el mapa que té publicat l'Ajuntament a la seva pàgina web actualment.



Fig.16: Mapa de Capacitat Acústica de Cornellà de Llobregat. Any 2014



**Mapa de Capacitat Acústica**  
**Zones de sensibilitat acústica i usos del sòl**  
**2011**

**Municipi:**  
**CORNELLÀ DE LLOBREGAT**

**Nucli:**  
**Cornellà de Llobregat**




| INDICADOR QUALITAT ACÚSTICA                    | Mànifestacions de RNL |         |       |
|--|-----------------------|---------|-------|
|  | Urban                 | Verdura | Urban |
| <b>ZONA DE SENSIBILITAT ACÚSTICA ALTA (A)</b>  |                       |         |       |
| A1   | 0                     | 0       | 0     |
| A2   | 15                    | 16      | 47    |
| A3   | 17                    | 10      | 41    |
| A4   | 10                    | 10      | 10    |
| <b>ZONA DE SENSIBILITAT ACÚSTICA MÈDIA (B)</b> |                       |         |       |
| B1   | 12                    | 10      | 38    |
| B2   | 12                    | 10      | 10    |
| B3   | 10                    | 10      | 10    |
| <b>ZONA DE SENSIBILITAT ACÚSTICA BAIXA (C)</b> |                       |         |       |
| C1   | 10                    | 10      | 10    |
| C2   | 10                    | 10      | 10    |
| C3   | 10                    | 10      | 10    |
| <b>Zona d'ús</b>                               |                       |         |       |
| U1   | 10                    | 10      | 10    |
| U2   | 10                    | 10      | 10    |
| U3   | 10                    | 10      | 10    |
| U4   | 10                    | 10      | 10    |

Font: Ajuntament de Cornellà de Llobregat

0 500m 1.000m 200m

Generalitat de Catalunya  
 Departament de Territori i Sostenibilitat  
 Direcció General de Qualitat Ambiental



| ZONES DE SENSIBILITAT ACÚSTICA I USOS DEL SÒL (*)   | Ld             | Le              | Ln              |
|---|----------------|-----------------|-----------------|
|   | (7.00-21.00 h) | (21.00-23.00 h) | (23.00-07.00 h) |
|  ZONES DE SENSIBILITAT ACÚSTICA ALTA (A)       |                |                 |                 |
| (A1) Espais d'interès natural i altres  | -              | -               | -               |
| (A2) Predomini del sòl d'ús sanitari, docent i cultural (*)   | 55 dB(A)       | 55 dB(A)        | 45 dB(A)        |
| (A3) Habitatges situats al medi rural (*)   | 57 dB(A)       | 57 dB(A)        | 47 dB(A)        |
| (A4) Predomini del sòl d'ús residencial (*)   | 60 dB(A)       | 60 dB(A)        | 50 dB(A)        |
|  ZONES DE SENSIBILITAT ACÚSTICA MODERADA (B) |                |                 |                 |
| (B1) Coexistència del sòl d'ús residencial amb activitats o infraestructures de transport existents                             | 65 dB(A)       | 65 dB(A)        | 55 dB(A)        |
| (B2) Predomini del sòl d'ús terciari diferent a C1 (*)  | 65 dB(A)       | 65 dB(A)        | 55 dB(A)        |
| (B3) Àrees urbanitzades existents afectades pel sòl d'ús industrial   | 65 dB(A)       | 65 dB(A)        | 55 dB(A)        |
|  ZONES DE SENSIBILITAT ACÚSTICA BAIXA (C)    |                |                 |                 |
| (C1) Usos recreatius i d'espectacles (*)  | 65 dB(A)       | 65 dB(A)        | 55 dB(A)        |
| (C2) Predomini de sòl d'ús industrial (*)   | 70             | 70              | 60              |

| ZONES DE SENSIBILITAT ACÚSTICA I USOS DEL SÒL (*)   | Ld             | Le              | Ln             |
|---|----------------|-----------------|----------------|
|   | (7.00-21.00 h) | (21.00-23.00 h) | (23.00-7.00 h) |
|   | dB(A)          | dB(A)           | dB(A)          |
| (C3) Àrees del territori afectades per sistemes generals d'infraestructures de transport i altres equipaments públics | -              | -               | -              |

**Taula 5:** Objectius de qualitat acústica

### 5.5 Legislació relativa als centres docents

El Pla general municipal de Cornellà, classifica i zonifica el territori en funció dels usos a què està destinat. Distingeix 3 zones de sensibilitat acústica a les que correspon un nivell de soroll màxim admissible. Les àrees docents pertanyen a la zona de sensibilitat acústica alta (A2), àrea que mereix una protecció especial. El Ld (nivell de pressió sonora continu equivalent ponderat A) entre les 7:00 h i les 21:00 h, franja horària que comprèn l'horari lectiu de classes dels centres docents és de 55 dB(A).

Pel que fa a l'interior, si L'OMS recomana 35 dB com a límit d'exposició a les aules, la Llei 37/2003 fixa els objectius de qualitat acústica aplicables a l'espai interior d'edificacions destinades a usos educatius o culturals, i estableix un Ld (nivell de pressió sonora continu equivalent ponderat A) de 40 dB(A) per a les aules i de 35 dB(A) per a zones de lectura.

Tanmateix, el Document Bàsic DB-HR de Protecció davant del soroll, Codi Tècnic de l'Edificació, aprovat pel Reial Decret 1371/2007 té per objecte establir regles i procediments que permetin complir les exigències bàsiques de protecció davant del soroll a l'edificació. La correcta aplicació del dB fixa valors d'immissió acceptables per a centres docents, de 40 dB(A) per a les aules, a les sales de lectura 35 dB(A) i a zones comunes 50 dB(A).

**TABLA 1**  
**Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales**

| Uso del Edificio          | Tipo de Recinto   | Índices de Ruido |       |       |
|---------------------------|-------------------|------------------|-------|-------|
|                           |                   | $L_d$            | $L_e$ | $L_n$ |
| Viviendas Uso residencial | Estancias         | 45               | 45    | 35    |
|                           | Dormitorios       | 40               | 40    | 30    |
| Uso hospitalario          | Zonas de estancia | 45               | 45    | 35    |
|                           | Dormitorios       | 40               | 40    | 30    |
| Uso educativo y cultural  | Aulas             | 40               | 40    | 40    |
|                           | Salas de lectura  | 35               | 35    | 35    |

**Fig.17:** Llei 37/2003. Objectius de qualitat acústica per a soroll aplicables a l'espai interior habitable d'edificacions

| Uso del edificio | Tipo de recinto             | Valor de $L_{eqA,T}$ (dBA) |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Sanitario        | Estancias                   | 35                         |
|                  | Dormitorios y quirófanos    | 30                         |
|                  | Zonas comunes               | 40                         |
| Residencial      | Dormitorios y estancias     | 30                         |
|                  | Zonas comunes y servicios   | 50                         |
| Administrativo   | Despachos profesionales     | 40                         |
|                  | Oficinas                    | 45                         |
|                  | Zonas comunes               | 50                         |
| Docente          | Aulas                       | 40                         |
|                  | Sala lectura y conferencias | 35                         |
|                  | Zonas comunes               | 50                         |
| Cultural         | Cines y teatros             | 30                         |
|                  | Salas de exposiciones       | 45                         |
| Comercial        |                             | 50                         |

**Fig.18:** Valors del nivell sonor continu equivalent estandarditzat, ponderat A,  $L_{eqA,T}$

## 6. MESURAMENT I AVALUACIÓ DEL CAMP SONOR

Per a l'avaluació de l'exposició al soroll, la legislació i normativa ha establert mètodes de càlcul, paràmetres i exigències pel que fa als equips de mesura.

El sonòmetre és l'eina imprescindible per mesurar el nivell de soroll i verificar amb garanties el compliment de normatives i ordenances de sorolls. El mesurament correcte del soroll és d'una importància cabdal. Cal tenir coneixement de la precisió i de les limitacions dels instruments i de les tècniques de mesurament.

Segons el Decret 176/2009, els sonòmetres que poden utilitzar les entitats de control en l'àmbit de la prevenció de la contaminació acústica i diagnosi de la qualitat acústica d'un territori són els sonòmetres integradors tipus I (norma UNE-EN ISO 61672-1) amb un calibratge periòdic d'un cop mínim cada 5 anys i verificació metrològica anual. Han de disposar de filtres en un terç d'octava (norma UNE-EN ISO 61260) i específicament l'equip ha de fer mesures de  $L_{Aeq}$ .

A banda de les mesures restringides a entitats especialitzades, els avenços tecnològics en el desenvolupament de dispositius mòbils, en particular de telèfons intel·ligents i aplicacions d'ús pràctic, han permès l'ús dels mateixos per a sonometries ambientals.

Les aplicacions per a telèfons intel·ligents són una alternativa als instruments de mesura convencionals. Existeixen aplicacions de mesura del soroll tant per al sistema operatiu Android com per a iOS. Aquestes permeten fer un monitoratge del soroll ambiental sota un enfoc de ciència ciutadana, com una eina adaptable a les diverses metodologies emprades per aquest fi, en definitiva, el que es farà en aquest treball.

### **6.1 Paràmetres de mesurament**

Per a mesurar sorolls continus, amb poca variació en el temps s'utilitza el paràmetre LpA. Ara bé, la majoria dels sorolls ambientals varien substancialment en el temps. Per aquests existeixen paràmetres més representatius, que es descriuen a continuació.

#### **Nivell sonor equivalent: LAeq.T**

Costa assignar un valor descriptiu en una xifra a un soroll que fluctua, per això sorgeix aquest paràmetre, que permet referenciar un soroll variable en un interval T, a un nivell de pressió sonora equivalent al d'un soroll continu. Per exemple, el soroll de trànsit mesurat durant una hora LAeq1h 60 dB, expressa que l'energia sonora del soroll és equivalent a la d'un soroll continu de 60 dB durant 1 hora.

El sonòmetre integra l'energia sonora durant el temps que dura el mesurament. El paràmetre sempre farà menció a un interval de temps, 1 hora, 24 hores, 72 hores.

#### **Nivell sonor dia-nit: Ldn**

El nivell sonor dia-nit és el nivell sonor equivalent durant 24 hores, però incrementat en 10 dB els nivells sonors nocturns, entre les 22 hores i les 7 hores del matí, amb la finalitat de ponderar els nivells sonors nocturns perquè incomoden més.

#### **Nivell sonor equivalent relatiu a 1 segon: Lae**

És el nivell de soroll equivalent d'un succés, referit a 1 segon. És un paràmetre molt útil, perquè a partir d'ell és possible calcular el nivell soroll equivalent per a intervals de temps més amplis en el cas de sorolls ambientals que són la repetició de successos ben definits. Un exemple és la seva aplicació per al càlcul del nivell de



soroll de vehicles en una via urbana. Si es coneix el  $L_{Ae}$  d'un vehicle lleuger i considerem el nombre de vehicles lleugers que passen en 1 hora podem calcular el  $L_{Aeq1h}$ .

### **Nivells estadístics: $L_{an,t}$**

Són paràmetres estadístics que indiquen que els nivells de soroll s'han sobrepassat durant un percentatge del temps que dura el mesurament. Per exemple un  $L_{a10,70}$  indica que durant un 10% del temps d'observació, s'ha sobrepassat el nivell sonor de 70 dB.

És un paràmetre indicatiu de nivells alts puntuals dins del període de mesurament. El  $L_{a1}$  i  $L_{a10}$  són els més representatius dels pics de soroll.

## **6.2 Equips de mesurament**

### **6.2.1 Sonòmetre**

El sonòmetre és l'instrument de mesura que s'utilitza per mesurar els nivells sonors en un determinat lloc i moment. Mesura els nivells de pressió sonora en decibels. En l'àmbit del control del soroll i l'avaluació de la contaminació acústica s'usen sonòmetres manuals portàtils, que registren els nivells de pressió acústica ponderats en freqüència i en temps. Són sonòmetres específics per a aquesta funció que permeten mesurar la gran varietat de soroll ambiental (continu, impulsiu, etc.) de diferent procedència o font emissora.

### **Components**

Independentment de la classe de sonòmetre, està constituït per:

- ❖ El micròfon, amb un rang de treball per a freqüències entre 8 Hz i 22 kHz.
- ❖ El circuit que processa el senyal obtingut, de forma electrònica.
- ❖ La unitat de lectura, que pot ser de tipus led, pantalla digital, etc.

### **Funcionament**

Les ones mecàniques que es propaguen al so són captades pel micròfon, que com a element transductor que és, s'encarrega de convertir les variacions de pressió sonora en un senyal elèctric. Com que el senyal elèctric obtingut acostuma a ser molt dèbil, serà amplificat per poder ser processat en les etapes següents. A continuació el senyal arriba al circuit de ponderació, on s'aplica un filtre en freqüència d'acord amb l'aplicació (A, B, C o Plana) que es contempli. Generalment, la corba de ponderació freqüencial per als filtres A és la utilitzada en la mesura

d'entorns de soroll i l'aconsejada per la legislació, perquè la seva resposta a les diferents freqüències és propera al funcionament de l'oïda. El sistema auditiu és més sensible a freqüències entre 2000 Hz i 5000 Hz, per això s'ha introduït el concepte de corba de ponderació que discrimina el pes de cada freqüència dins de l'espectre. Per tant, per a l'oïda humana s'usa el nivell de pressió ponderat A, que es representa mitjançant les sigles dB(A).

El següent pas és l'obtenció d'un valor que expressa el promig d'energia del senyal. Aquest paràmetre es visualitza en la unitat de lectura, pantalla digital, led, etc. Molts sonòmetres disposen d'una sortida en el seu lateral que permet connectar-lo a un oscil·loscopi que acompanyarà la mesura de pressió amb la imatge visual de la forma de l'ona.

Alguns sonòmetres disposen d'una unitat de procés espectral que permet discriminar entre mesures globals o per bandes de freqüències d'octava i terç d'octava. Existeix una normativa internacional per als fabricants de sonòmetres amb la finalitat de què les mesures entre diferents sonòmetres no donin resultats notòriament diferents.

### **Classes de sonòmetres**

Depenent de l'objectiu de les mesures, existeixen quatre tipus de sonòmetres:

- ❖ Tipus 0: Sonòmetres patrons, amb toleràncies més estrictes ( $\pm 0,7$  dB entre 100 Hz y 4000 Hz). S'utilitza en laboratoris per obtenir nivells de referència.
- ❖ Tipus 1: De precisió. Permet treballs de camp amb precisió. Amb toleràncies de  $\pm 1$  dB entre 100 Hz i 4000 Hz.
- ❖ Tipus 2: De precisió i d'ús general. Permet mesures generals a treballs de camp. Les toleràncies són les mínimes acceptables ( $\pm 1,5$  dB entre 100 Hz i 1250 Hz,  $\pm 3$  dB fins a 4000 Hz) per a monitoratge de soroll.
- ❖ Tipus 3: Per a ús d'inspeccions i reconeixements. Mesures aproximades, poc precises.

El sonòmetre ha de complir les especificacions vigents del Comitè Electrotècnic Internacional pel que fa a aparells de tipus I i de tipus II. En funció de l'ús i l'exactitud que es vol aconseguir en la mostra de valors, la normativa ha eliminat els de tipus 0 i 3. Per a usos de verificació d'ordenances i de control de soroll ambiental es recomana utilitzar sonòmetres de tipus 1 o de tipus 2.

Segons la norma UNE-EN 61672-1, 2014, els sonòmetres es poden també classificar segons la ponderació de freqüència:

- ❖ Sonòmetre. Mesura el so ponderat en freqüència amb ponderació exponencial temporal. Conté el temps d'integració *fast* i *slow* i el filtre A. La gamma de mesura és de 25-30 dB(A) fins al 120-130 dB(A). En alguns s'afegeix una retenció de lectura de nivell màxim, que és necessària en el mesurament de sorolls impulsius.
- ❖ Sonòmetre integrador. Mesura nivells d'exposició sonora ponderats en freqüència amb mitjana en el temps. Mesuren nivells de soroll variables o fluctuacions d'energia sonora. Disposen de lectura del nivell de soroll equivalent (LAeq.T).
- ❖ Sonòmetre estadístic. Faciliten dades de nivells que han estat ultrapassats durant un percentatge del temps de mesurament. Disposen de memòria i rellotge intern que permet prefixar l'inici i temps de mesura. Un cop recollida la informació, es pot passar a un ordinador i tractar-la amb un programa adequat.

Els sonòmetres integradors amb un interruptor etiquetat com a *weighting* permeten escollir la corba de ponderació que es vol usar. En funció de la resposta de l'oïda a la intensitat del so, per a mesurar els nivells de contaminació acústica habitualment s'utilitza els de corba A (dBA), o també els de corba C (dBC) per a sons de gran intensitat o greus.

Els sonòmetres poden disposar d'un interruptor (*range*) que permet escollir el rang dinàmic d'amplituds. L'interval més usat és el de 50-110 dB, però el que assegura una mesura més correcta agafa un interval més ampli, de 20 Hz a 140 Hz.

Tenint en compte la ponderació en el temps (velocitat amb què respon el sonòmetre als canvis d'amplitud) la normativa classifica quatre velocitats de resposta:

- ❖ Lent (*slow*, S): valor promig eficaç d'un segon aproximadament.
- ❖ Ràpid (*fast*, F): valor promig eficaç per 125 mil·lisegons. Són més efectius amb les fluctuacions.
- ❖ Per impuls (impuls, I): valor promig eficaç per 35 mil·lisegons. Mesura la resposta de l'oïda per a sons de curta durada.

- ❖ Per Pic (*peak*, P): valor de pic entre els 50 i 100 mil·lisegons. Serveix per a avaluar el risc de danys a l'oïda, davant un impuls molt curt però molt intens en llocs de treball.

### 6.2.2 Calibradors acústics

Per ajustar els sonòmetres s'utilitzen calibradors acústics, instrument que genera un so estable a una determinada freqüència. Perquè les mesures siguin vàlides s'ha d'ajustar el sonòmetre al nivell de pressió acústica de referència i comprovar que el nivell es mantingui després de la mesura.

Els instruments de mesurament i els de calibratge han de complir les disposicions establertes a l'Ordre de 25 de setembre de 2007 i han de ser verificats anualment al Laboratori General d'Assaigs i Investigacions de la Generalitat de Catalunya o en una entitat degudament autoritzada.

### 6.2.3 Aplicacions per a telèfons intel·ligents

L'element essencial que suporta les estimacions del nivell de soroll d'un telèfon intel·ligent és el micròfon. Actualment, els *smartphones* incorporen més d'un micròfon en el seu interior i la seva sensibilitat depèn del model i la marca del *smartphone*. Un cop s'activa el micròfon, com és sensible a les vibracions de l'aire, les converteix en fluctuacions de corrent elèctric. Posteriorment, aquests senyals poden ser avaluades com un senyal en el domini del temps o en el domini de la freqüència. En ambdós mètodes el senyal és processat i el seu volum calculat en intervals de temps amplis.

Un sonòmetre professional disposa d'un micròfon amb una precisió i estabilitat elevades, que és el que diferencia un sonòmetre d'altres aparells de mesura menys especialitzats. En canvi, en telèfons mòbils es busca una solució integrada i barata que no reuneix els requisits d'un micròfon professional.

Els *smartphones* solen tenir micròfons tipus MEMS, un petit sistema microelectrònic, de baix cost i qualitat, dissenyat fonamentalment per a la captació de la veu. Té inconvenients si es compara amb el micròfon d'un sonòmetre professional:

- ❖ El primer inconvenient és la linealitat de la resposta a la freqüència. No té una resposta plana en tot el rang d'àudio, que normalment és a partir de 5 Hz. L'amplada de rang útil parteix dels 50 Hz, per tant, no cobreix l'espectre

d'audició humana i en mesurar el so, els resultats no integren les freqüències més baixes.

- ❖ Un segon inconvenient és el soroll inherent. Mentre que en un micròfon de major qualitat acostuma a estar per sota dels 15 dB(A), en un micròfon de *smartphone* es troba al voltant dels 30 dB(A), el que impossibilita mesurar nivells propers o inferiors al soroll inherent.
- ❖ Tercer inconvenient i el més important: les aplicacions sonomètriques no asseguren una correcta calibració perquè cada *hardware* és completament diferent. La prèvia calibració dels micròfons dels telèfons intel·ligents és un factor important que influeix significativament en el registre adequat dels nivells de pressió sonora en el rang dels 35-95 dB típicament suportat pels micròfons incorporats. Una altra opció és la incorporació d'un micròfon extern de major qualitat.

Els mesuradors professionals del nivell de soroll han de passar per una sèrie de proves acústiques i elèctriques per a complir amb la normativa nacional i internacional. Han de complir una precisió mínima descrita a les normes internacionals IEC 61672-1:2005 i IEC 61672-2:2005 i ser examinats per les autoritats metrològiques. Fins a l'actualitat, cap telèfon intel·ligent ni cap aplicació per a mòbil compleix amb els requisits dels estàndards corresponents de la CEI o l'ANSI, per tant, no pot substituir a un sonòmetre professional.

A nivell usuari, en diferents països es pot recopilar informació acústica puntual amb *smartphone* en espais urbans com a complement de programes de monitoratge participatiu de contaminació acústica. L'any 2015, La Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament De Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya va publicar una guia ràpida per a la mesura acústica amb *smartphone* dirigida al ciutadà per tal que l'usuari adquirís informació sobre la qualitat acústica del seu entorn de forma puntual i així crear consciència de la realitat ambiental. En l'actualitat no està vigent (vegeu l'enllaç a l'apartat "Guia per a la mesura acústica amb *smartphone* dirigida al ciutadà" de l'annex).

## 7. AVALUACIÓ DE LA CONTAMINACIÓ ACÚSTICA A CORNELLÀ

### 7.1 Equips de mesura. Verificació de les aplicacions per a telèfon mòbil

#### 7.1.1 Pràctica experimental inicial

Els inicis en el món del monitoratge del soroll ambiental van ser determinants per al desenvolupament posterior d'aquest treball. Aprofitant les mesures a realitzar per determinar els nivells sonors a Cornellà i a l'Institut Francesc Macià es va considerar comparar en una pràctica inicial portada a terme al mes de juny, dues aplicacions per al sistema operatiu Android, amb les realitzades amb dos sonòmetres convencionals. L'objectiu d'aquesta anàlisi comparativa era constatar la viabilitat i precisió de l'ús de dues aplicacions de telèfons mòbils com a una alternativa de baix cost als instruments de monitoratge tradicionals i assegurar que proporcionaven lectures reals per a l'estudi. Resultats dispars van plantejar reformular el treball.

#### Material

Telèfon intel·ligent: Android. Versió MIUI Global 14.0.4, fabricat per XIAOMI, model Redmi Note 9 Pro.

Aplicacions per a Android

- *Sonòmetre* versió 2.1 de juliol del 2022, ofert per Google Commerce Ltd (puntuació: 4.8/5)
- *Sound Meter* versió 3.7.5 d'abril del 2015, ofert per Google Commerce Ltd (puntuació: 4.5/5)

Sonòmetres:

- Sonòmetre PCE-999. Per a l'estudi s'ha seleccionat la valoració A per a mesures generals, el rang de mesura LOW de 30 a 100 dB i la valoració temporal FAST.
- Sonòmetre YF-20, proporcionat pel servei educatiu del Baix Llobregat. S'ha utilitzat en l'escala LOW.

#### Metodologia

A l'estudi de camp realitzat *in situ* al centre educatiu i a l'exterior de Cornellà, un únic examinador ha pres els nivells de soroll de manera simultània amb els quatre equips. La presa de dades s'ha fet prenent 5 mesures de 10 segons cadascuna. El valor enregistrat ha estat únicament el pic màxim de soroll.

Amb les dades introduïdes a un full de càlcul del programa Microsoft Excel, s'elaboren gràfiques que il·lustren els resultats.

### Resultats i discussió

A continuació es mostren dues gràfiques de dos indrets de la ciutat confeccionades amb els cinc valors màxims registrats amb cadascun dels equips.

Es pot apreciar que els valors registrats entre els diferents equips no guarden cap mena d'aproximació. Les diferències són notòries, la qual cosa impossibilita adquirir informació de l'ambient acústic.

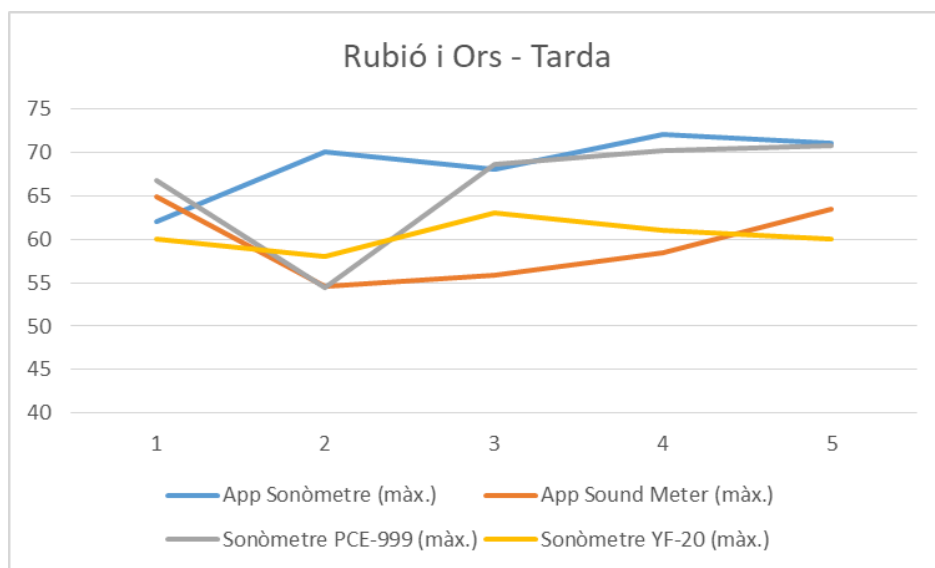


Fig.19: Gràfic comparatiu d'equips de mesura

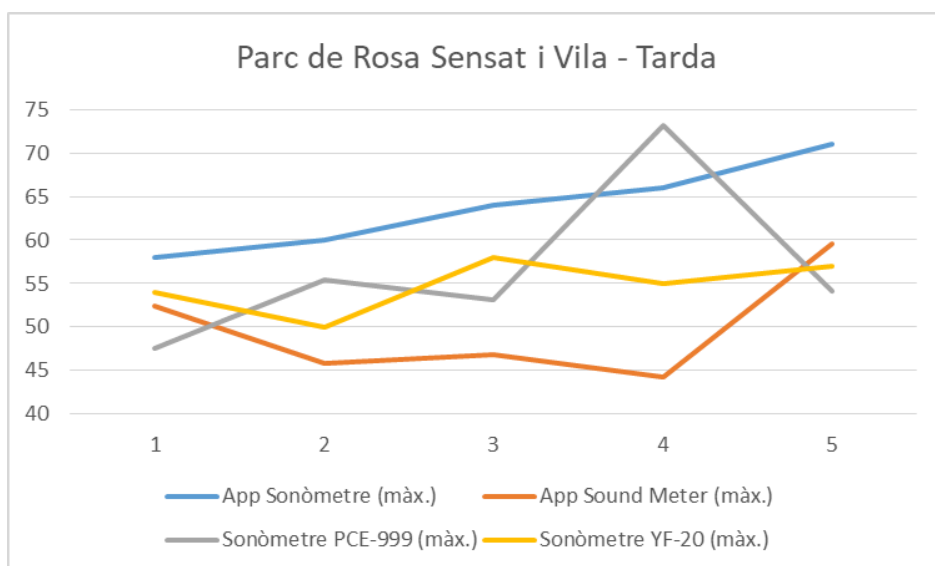


Fig.20: Gràfic comparatiu d'equips de mesura

Els resultats d'aquesta primera pràctica van evidenciar dos problemes. El primer, errades en el plantejament de la metodologia de la mesura, i segon, les dades obtingudes pels diferents instruments eren tan dispars com per a obtenir patrons definits que marquessin una tendència clara, que era impossible extreure conclusions.

Els inconvenients identificats s'analitzen i recullen a continuació.

Errades a la metodologia de la mesura:

- Un únic examinador no pot controlar el maneig de quatre instruments de mesura alhora, per tal d'obtenir mesures simultànies en temps, i recollir a més les dades.
- La decisió de registrar només els pics màxims de soroll perquè és l'única dada que pot recollir el sonòmetre professional PCE-999, que s'havia pres com a referent, no va ser encertada, ja que els màxims per si sols no reflecteixen la situació sonora real.

Pel que fa als instruments de mesura:

- El sonòmetre analògic YF-20, proporcionat pel servei educatiu del Baix Llobregat, tot i que aporta una referència dels nivells sonors, no té la precisió necessària que es requereix. La valoració de la mesura té un component subjectiu per part de l'examinador degut a la seva indicació amb agulla sobre un fons d'escala de poca resolució. No té capacitat de registrar màxims, mínims ni mitjanes. Es posa en dubte la seva idoneïtat.
- El sonòmetre bàsic tipus 2, PCE-999, calibrat amb data 06/05/2021, és vàlid per fer estudis de camp, ja que és precís (aproximadament  $\pm 1,5$  dB), i està calibrat amb vigència i, per tant, aporta fiabilitat. Pot ser l'instrument de referència per a comparar i verificar la resta d'instruments. L'únic inconvenient és que encara que fa un registre instantani en temps real, només guarda el pic màxim, i per tant no permet recollir dades del valor mínim ni de la mitjana (AVG).
- Les dues aplicacions per a telèfon mòbil donen valors tan diferents entre elles i amb els sonòmetres convencionals que no es pot donar per vàlida la mesura que fan.



## Conclusions

Atenint-nos a aquestes dificultats trobades, s'arriba a la conclusió que el més adequat seria fer les mesures amb un equip que enregistri els valors mínim, mitjà i màxim, i que tingui la fiabilitat que mereix l'estudi. El sonòmetre analògic es descarta per falta de precisió. El sonòmetre PCE-999, tot i que és fiable i està calibrat, no enregistra ni el valor mínim ni el valor mitjà, necessaris per extreure conclusions dels nivells de soroll, per tant, tampoc serà útil. I les dues aplicacions per a *smartphone* s'han de verificar perquè sembla que poden tenir un marge d'error gran.

Es detecta, per tant, la necessitat d'un nou enfocament de la sonometria i s'opta per l'ús d'una aplicació per a mòbil prèviament verificada. Es decideix, per tant, fer un experiment pràctic, una anàlisi comparativa de distintes aplicacions amb el sonòmetre professional PCE-999 en unes condicions determinades que aportin rigor a la prova, i seleccionar una aplicació fiable.

### 7.1.2 Pràctica experimental de verificació de les aplicacions per a telèfon mòbil

L'objectiu d'aquesta part experimental és avaluar la fiabilitat de distintes aplicacions per a telèfon mòbil i trobar, si és possible, alguna que pugui ser útil per avaluar el soroll ambiental a Cornellà, objectiu principal d'aquest treball. Es verificaran les aplicacions *Sonòmetre* i *Sound Meter* i s'ampliarà l'anàlisi comparativa amb quatre aplicacions més.

## Material

Per a avaluar la qualitat de les mesures del nivell de soroll amb telèfon mòbil s'han escollit 4 aplicacions per al sistema operatiu Android i dues aplicacions per a iOS. Els criteris de selecció han estat els següents:

- ❖ Aplicacions ben puntuades, de funcionament similar, que no requereixen connexió a Internet, gratuïtes i fàcils d'utilitzar.
- ❖ Aplicacions que mostren els valors mínims, mitjans i màxims en decibels.

Aplicacions per a Android:

- 1) *Sonòmetre* versió 2.1 de juliol del 2022, ofert per Google Commerce Ltd (puntuació: 4.8/5)

- 2) *Sound Meter* versió 3.7.5 d'abril del 2015, ofert per Google Commerce Ltd (puntuació: 4.5/5)
- 3) *Decibel X - Pro Sound Meter* versió 9.2.5 de juny del 2014, ofert per Google Commerce Ltd (puntuació: 4.2/5)
- 4) *Sound Meter Decibel* versió 1.0.13 d'abril del 2022, ofert per Google Commerce Ltd (puntuació: 4.8/5)

Aplicacions per a iOS:

- 1) *Sound Level Analyzer Lite (SLA Lite)* versió 7.0 de l'any 2022 (puntuació: 4.4/5)
- 2) *NIOSH* versió 1.2.6.42 de l'any 2023. Aplicació del National Institute for Occupational Safety and Health dels Estats Units. És l'aplicació per a sonometria millor valorada per a iPhone amb una puntuació de 4.6/5

En aquelles aplicacions que ha estat possible, s'ha seleccionat la ponderació de freqüència A i la ponderació de temps FAST.

Totes les aplicacions tenen l'opció de ser calibrades. Per calibrar, es necessita un dispositiu extern o un sonòmetre calibrat com a referència i, a continuació, s'ha d'ajustar el valor de retall fins que la lectura coincideixi amb la referència. Totes les mesures s'han realitzat amb la constant de calibració amb valor 0, que per defecte és el valor proporcionat amb la instal·lació de l'aplicació.

S'han utilitzat dos telèfons intel·ligents, un Android i l'altre iOS:

- A) Un mòbil amb sistema operatiu Android versió MIUI Global 14.0.4, fabricat per XIAOMI, model Redmi Note 9 Pro.
- B) Un mòbil amb sistema operatiu iOS 16.6, fabricat per Apple, model 10 XS MAX (MT532QL/A).

Per a l'anàlisi de la precisió de les aplicacions, les mesures obtingudes han estat comparades amb l'indicador de nivell de so professional PCE-999, tipus 2, amb número de referència 130113903, que compleix amb les normes i estàndards habituals (IEC651 Tipus 2, ANSI S1.4 Tipus 2). Amb un alt grau de precisió ( $\pm 1,5$  dB amb les condicions de referència a 94 dB i 1 KHz segons especificacions tècniques) està calibrat dins del període mínim d'un cop cada cinc anys segons el Decret 179/2006. Per a l'estudi s'ha seleccionat la valoració A per a mesures generals, el rang de mesura LOW de 30 dB a 100 dB, i la valoració temporal FAST més propera a una ona sonora original.

## Metodologia

Per a assegurar la màxima garantia d'aquesta pràctica totes les mesures han estat realitzades en una sala tancada, allunyada del soroll ambiental urbà, en condicions de silenci ambiental, buscant l'acústica més propera a la d'una sala insonoritzada. El sonòmetre professional en aquestes condicions ha mesurat 30 dB, el valor mínim del rang de mesura LOW.

L'experiment ha consistit a generar un so patró com el que s'utilitza per fer les calibracions dels instruments i comparar les lectures del sonòmetre professional amb cadascuna de les aplicacions. Normalment, s'utilitza una font de soroll a una freqüència d'1 Khz (percebut com a so agut per l'oïda humana) i amb una intensitat sonora de 94 dB, el mateix utilitzat per calibrar el sonòmetre professional de referència PCE-999. Per a generar la freqüència d'1 Khz s'ha usat la mostra generada per ordinador (vegeu l'enllaç de l'apartat "Generació d'un so patró per verificar les aplicacions" de l'annex) i per a regular els nivells sonors a 94 dB s'ha utilitzat un amplificador de so dels utilitzats per a reproduir música, connectat a un altaveu.



**Fig.21:** Equips per a la verificació de les aplicacions

A cada procediment de mostreig hi ha un període d'estabilització d'uns 15 segons per a assolir els 94 dB constants en el sonòmetre calibrat, és a dir, un nivell de

mesura estable que permet la comparació amb les mesures de cada una de les aplicacions per a mòbil.

Ja que el rang de les aplicacions per a *smartphone* permet mesurar nivells d'intensitat sonora entre els 35-95 dB, es comprovaran també lectures de nivell sonor inferior, en concret de 54 dB. La realització de mesures en dos nivells d'intensitat sonora diferents permet comprovar si les mesures són similars a les de referència en ambdós nivells, o en el cas que no s'assemblin, comprovar si es manté el mateix grau de variació en els dos nivells.

Per a una correcta realització de la pràctica i reduir els marges d'error a mínims s'han tingut en compte dues consideracions:

1. La col·locació dels dos dispositius a comparar el més pròxim possible l'un amb l'altre, amb els micròfons orientats cap a la font de so, alineats i equidistants amb aquesta. És fàcil tenir diferències de  $\pm 2$  dB per una lleugera modificació de l'orientació dels micròfons i ubicació dels equips respecte de la font sonora.
2. Evitar qualsevol moviment de l'aire en la sala de mesuraments. Les lectures dels sonòmetres són oscil·lants degut a la sensibilitat dels micròfons a la pertorbació de pressió del medi (l'aire). Qualsevol petit moviment en la proximitat dels instruments provoca oscil·lacions en les mesures. Es requereix un període d'estabilització fins a obtenir una mesura que no oscil·li, durant el qual s'ha de mantenir l'aire de la sala amb les mínimes fluctuacions de pressió possible.



**Fig.22:** Disposició dels dispositius cap a la font de so

## Resultats i discussió

Els resultats de la pràctica es mostren en la següent taula:

| App                                | Model del telèfon       | Intensitat sonora de 54 dB | Diferència amb la referència de 54 dB | Intensitat sonora de 94 dB | Diferència amb la referència de 94 dB |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Sonòmetre professional PCE-999     | -                       | 54                         | ± 0,5                                 | 94                         | ± 0,5                                 |
| <i>Sonòmetre</i>                   | Xiaomi Redmi Note 9 Pro | 37                         | 17                                    | 68                         | 24                                    |
| <i>Sound Meter</i>                 | Xiaomi Redmi Note 9 Pro | 27                         | 27                                    | 68                         | 26                                    |
| <i>Decibel X - Pro Sound Meter</i> | Xiaomi Redmi Note 9 Pro | 48                         | 6                                     | 87                         | 7                                     |
| <i>Sound Meter Decibel</i>         | Xiaomi Redmi Note 9 Pro | 37                         | 17                                    | 71                         | 23                                    |
| <i>NIOSH</i>                       | iPhone 10 XS MAX        | 54                         | 0                                     | 94                         | 0                                     |
| <i>SLA Lite</i>                    | iPhone 10 XS MAX        | 54                         | 0                                     | 94                         | 0                                     |

**Taula 6:** Comparativa de les aplicacions

Els resultats obtinguts mostren com les aplicacions per a Android donen valors considerablement inferiors als valors de referència del sonòmetre calibrat, tant per al nivell sonor de 94 dB com per al de 54 dB.

Dues de les aplicacions per a Android mantenen la mateixa diferència en els dos nivells sonors respecte al sonòmetre professional. Per a l'aplicació *Sound Meter* la lectura sense calibrar és de 27 dB i 26 dB menys per als nivells de 54 dB i 94 dB respectivament, la qual cosa significa que si es calibrés, afegint 26 dB al valor obtingut es podria comportar com el sonòmetre de referència. De la mateixa manera, l'aplicació *Decibel X*, que manté una diferència d'uns 7 dB amb els dos valors de referència també es podria calibrar per a ser vàlida.

Les altres dues aplicacions d'Android, *Sonòmetre* i *Sound Meter Decibel* no mantenen diferències constants amb els dos nivells sonors de referència. En nivells de soroll elevats, les aplicacions són menys eficients, per tant, tampoc són comparables amb els sonòmetres convencionals en diferents nivells d'intensitat. La recta que descriuen els valors que registren mai serà paral·lela a la recta que resulta mesurant amb el sonòmetre calibrat. Això significa, que encara que es calibressin les aplicacions, mai es podrien comportar com el sonòmetre PCE-999. Probablement, això és degut al *software*, a la mateixa aplicació i no al *hardware*, que si ha sigut capaç de funcionar com el sonòmetre convencional en altres aplicacions. Les dues aplicacions d'iPhone han donat resultats molt similars al sonòmetre convencional, amb diferències de decimals. Aquestes aplicacions poden calcar el comportament del sonòmetre de referència ajustades lleument amb el paràmetre de calibració.

Curiosament, les puntuacions pels usuaris de les aplicacions per a iPhone són més baixes que les puntuacions de les aplicacions d'Android, i, en canvi, els resultats apunten que funcionen bastant millor. Es dedueix en aquesta pràctica que les aplicacions per a Android provades són menys fiables. Una explicació lògica podria ser que estan programades per a funcionar en una diversitat de mòbils molt ampla, amb models de fabricants diferents, que funcionen amb micròfons i electrònica diferent. En canvi, es podria pensar que la precisió més gran observada per les aplicacions per a iPhone podria ser deguda precisament a aquest factor del *hardware* i a la qualitat del terminal. Possiblement els models de micròfon o

l'electrònica del telèfon està millor controlada i definida, de manera que les aplicacions es poden adaptar millor sense necessitat d'ajustar-la o calibrar-la.

Finalitzada aquesta pràctica, s'opta per seleccionar dues aplicacions per fer les mesures definitives d'aquest estudi: l'aplicació *Decibel X - Pro Sound Meter*, donat que és l'aplicació per a Android que menys marge d'error mostra i es pot calibrar, i l'aplicació *SLA Lite*, que tot i que no és la més puntuada de les dues per a iPhone, és precisa i mostra gràficament cada registre.

## **7.2 Avaluació de l'entorn sonor exterior a Cornellà**

### **7.2.1 Descripció. Metodologia**

#### **Entorn de mesurament**

En el present treball s'avalua els nivells sonors *in situ* de dos barris del municipi de Cornellà, el barri Riera i el barri Centre, que per la proximitat dels mateixos va possibilitar l'anàlisi de conjunt. El barri Centre, situat al sud de la via fèrria és on es troba el nucli antic i gran part de les institucions de Cornellà, entre les quals destaquen l'Ajuntament, el Castell de Cornellà o l'Església de Santa Maria. Al Sud d'aquest barri trobem el barri Riera, que se situa per sota del Passeig dels Ferrocarrils Catalans i tota la seva extensió transcorre per sobre de la zona deltaica del Delta de Llobregat. Al sud d'aquest barri s'ha construït recentment l'Estadi Municipal del Cornellà, el Parc Esportiu Llobregat i l'estadi del Reial Club Esportiu Espanyol de Barcelona, així com el centre comercial Splau.

L'elecció dels barris va ser motivada per ser representatius d'àrees de territori afectades per sistemes generals d'infraestructures de transport, espais d'usos recreatius, zones d'interès natural i espais de predomini del sòl d'ús residencial o d'ús terciari (vies comercials).

Pel que fa al trànsit rodat, els carrers interiors presenten una circulació de vehicles lleugers amb velocitats entre 20 i 40 km/h i són escassos els recorreguts per la ciutat de transports públics amb passatgers. Les vies perifèriques, com ara l'avinguda Baix Llobregat que dona accés a les instal·lacions esportives del barri Riera o al freqüentat centre comercial Splau concentren el flux vehicular més concorregut, continu i sostingut en el temps amb velocitat entre 20 i 40 km/h.

## **Fonts de soroll**

Les principals fonts de soroll als dos barris de Cornellà estudiats són el tràfic viari (motocicletes, automòbils, autobusos), el ferroviari, l'oci recreatiu, terrasses de bars i restaurants, l'activitat comercial, i les aglomeracions de persones a places, parcs o vies públiques.

## **Equips de mesura**

Els equips de mesura utilitzats han estat els següents:

- Sonòmetre PCE-999. Per a l'estudi s'ha seleccionat la valoració A per a mesures generals, el rang de mesura LOW de 30 a 100 dB, i la valoració temporal FAST per a mesures normals i determinació del pic sonor.
- Aplicació *Decibel X - Pro Sound Meter* per a Android calibrada amb el sonòmetre de referència PCE-999. Ponderació de freqüència A, i temps de resposta FAST.
- Aplicació *SLA Lite* per a iPhone. Ponderació de freqüència A i ponderació de temps FAST.

Les especificacions tècniques es poden consultar als annexos.

## **Punts de mesura**

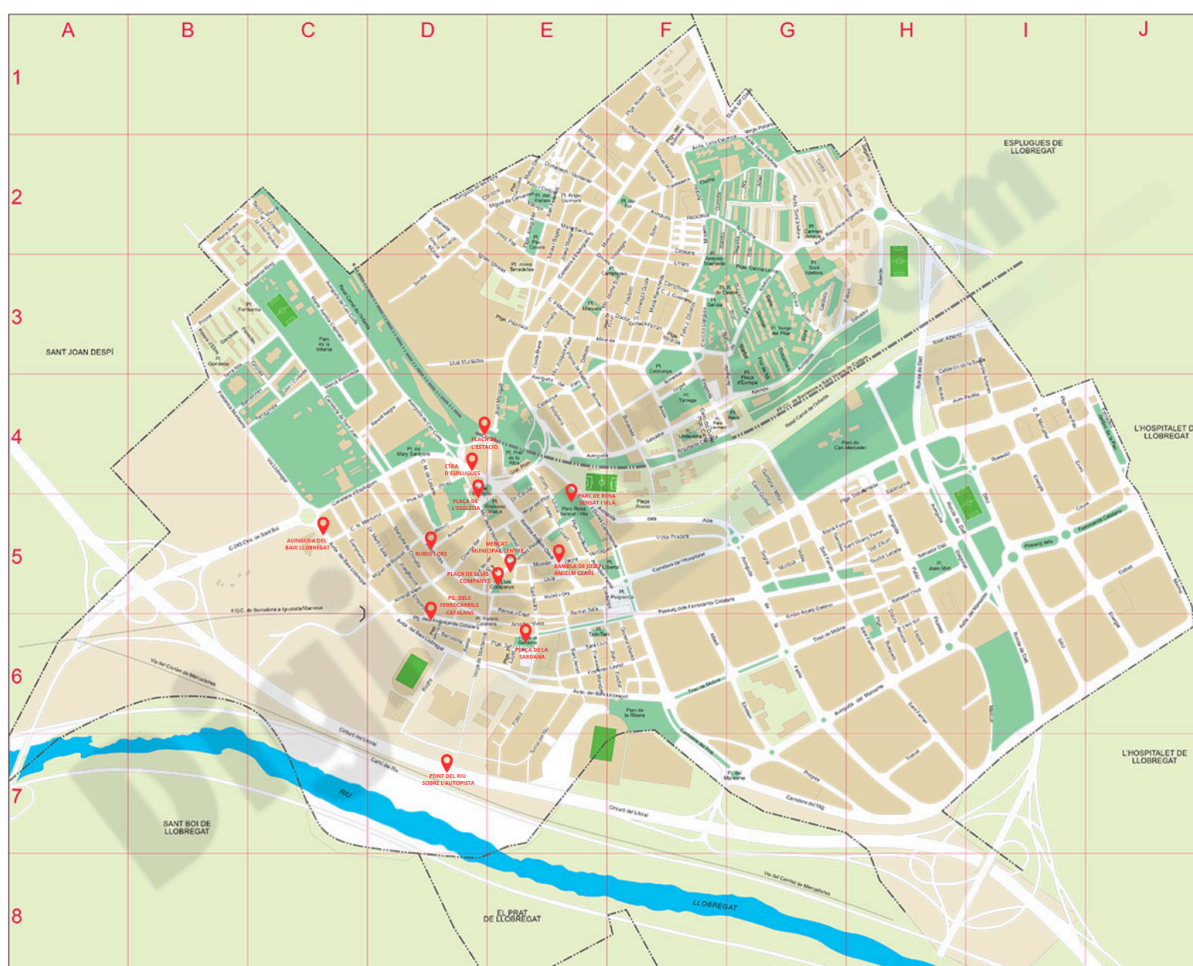
Per a l'avaluació dels nivells sonors s'han triat dotze punts o indrets representatius de les situacions sonores que es donen als barris objecte de l'estudi.

La relació de la distribució dels punts exteriors és la següent:

1. Plaça de l'Església. Es troba l'Ajuntament i l'Església. És el punt central de la ciutat.
2. Plaça de l'Estació de Renfe. Punt d'arribada i sortida de trens que travessen del municipi.
3. Rambla Anselm Clavé. Eix comercial i zona residencial.
4. Plaça de Lluís Companys. Situada davant del mercat, és una zona comercial i residencial.
5. Avinguda Rubió i Ors. Eix del transport públic intern del municipi (autobusos), zona comercial i residencial.
6. Passeig dels Ferrocarrils Catalans. Zona residencial i punt de nombroses terrasses de bars.



7. Plaça de la Sardana. Zona residencial amb nombroses terrasses de bars i equipaments públics per a joves.
8. Pont del riu sobre l'autopista A-2. Dona accés a l'espai natural del riu freqüentat per fer passejades.
9. Carretera d'Esplugues. Coexistència del sòl d'ús residencial amb activitats o infraestructures de transport existents.
10. Avinguda del Baix Llobregat. Zona residencial i artèria d'accés a equipaments esportius i al centre comercial Splau.
11. Parc de Rosa Sensat i Vila. Espai verd i zona residencial.
12. Carrer Ametller. Situat darrere de l'Ajuntament. Carrer amb cases i edificacions de poca alçada. Carrer amb poc trànsit.

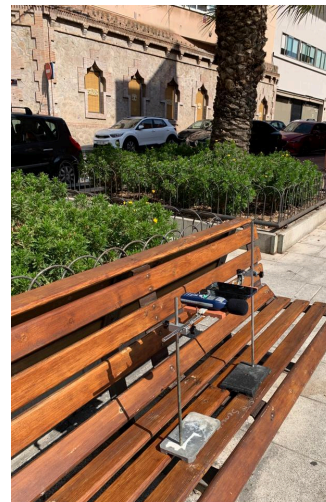
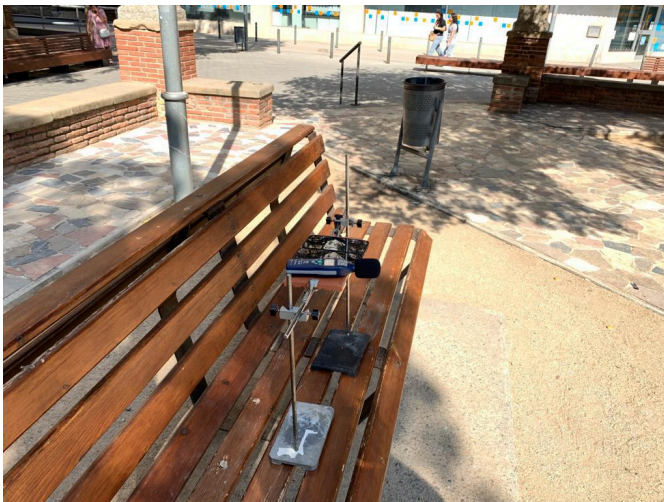


**Fig.23:** Localització dels punts de mesura

## Metodologia. Dades de mesura

La sonometria va tenir lloc durant els dies 27, 28, i 29 de juny de 2023. Les mesures van ser registrades entre les 9:00 h i les 0:00 h dividides en matí (9:00 h - 12:00 h), tarda (19:00 h - 21:00 h) i nit (23:00 h - 00:00 h). Es van realitzar en dies laborables (de dimarts a dijous) i sota condicions atmosfèriques favorables (absència de vent fort i pluja).

Dos examinadors han pres els nivells de soroll existents en un indret de manera simultània amb les dues aplicacions per a mòbil i el sonòmetre professional PCE-999. Un dels examinadors ha realitzat el control de les dues aplicacions de mòbil, les ha engegat i aturat alhora, i l'altre ha seguit visualment la lectura del sonòmetre calibrat en temps real, ja que no guarda les dades a la memòria. Els equips s'han col·locat sobre una superfície estable els més propers possibles entre ells i amb la mateixa orientació del micròfon. S'ha evitat la proximitat amb col·lectius de gent i semàfors.



**Fig.24:** A l'esquerra; equips de mesurament a la plaça de l'Església a la franja de matí. A la dreta; equips de mesurament a la plaça de Lluís Companys a la franja de matí

Per tal que la mesura fos la més representativa possible de la realitat acústica de la zona, s'ha fet prenent 5 registres de 20 segons en un interval de temps aproximat de 5 minuts en cada punt de mesura. L'examinador del sonòmetre convencional ha anotat el mínim i màxim observat, que sense ser dades exactes, permetrà comparar la similitud amb els valors dels altres dos equips. L'operador de les aplicacions per a mòbil anota valors mínims, màxims i mitjana (AVG), per així fer una anàlisi

comparativa entre les dues aplicacions. En cada punt de mesura es guarda una gràfica d'un dels registres amb l'aplicació *SLA Lite* per a iPhone.

Les dades recollides han estat traslladades a un full de càlcul del programa Microsoft Excel per tal de confeccionar les gràfiques que de manera visual permeten obtenir els resultats de l'estudi.

## **7.2.2 Resultats**

### **Resultats dels diferents equips de mesura. Comparativa entre equips**

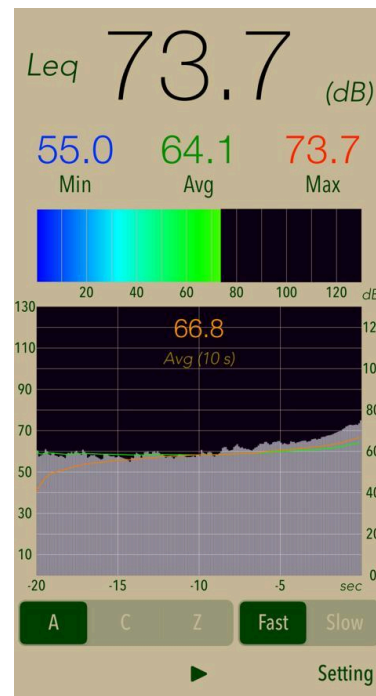
Abans de fer l'anàlisi de les mostres per avaluar el soroll ambiental, s'han comparat les dades recollides amb cada un dels equips, per tal de comprovar si els valors són similars davant del soroll variable.

A cada indret i a cada franja horària s'ha pres nota de la data i hora en què es realitza la mostra, i s'ha anotat les observacions tingudes en compte durant la mesura (fonts de soroll, incidències, si feia vent...). També, s'ha fet constar el pic màxim i el valor mínim absoluts de totes les mesures fetes amb el sonòmetre professional.

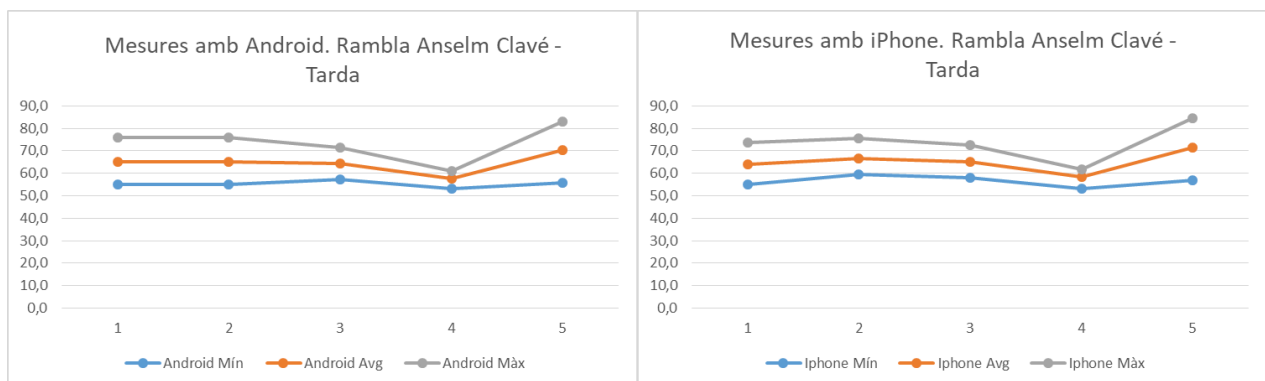
Per fer la comparativa entre equips, s'han seleccionat dos dels indrets en la franja de tarda i nit, i s'ha elaborat una gràfica per a cada un dels equips, que mostra el valor mínim, màxim i AVG de cadascun dels cinc registres fets per les aplicacions. A més, la presa de dades s'il·lustra amb la pantalla que guarda el telèfon mòbil amb l'aplicació *SLA Lite* finalitzat el registre.

## Mesures a la Rambla Anselm Clavé realitzades a la tarda

- Data: 27 de juny
- Hora: 20:05 h - 20:10 h
- Anotacions: soroll originat per gent a la terrassa d'un bar, vianants i circulació de cotxes.
- Mesures del sonòmetre professional: mínim absolut 54 dB, màxim absolut 85 dB.



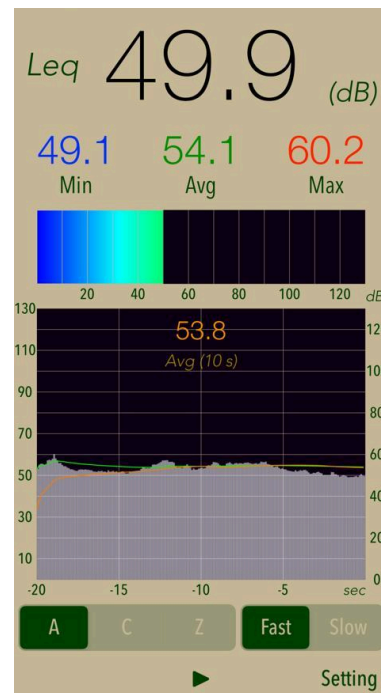
**Fig.25:** Gràfica de 20 segons del primer registre (SLA Lite - iPhone)



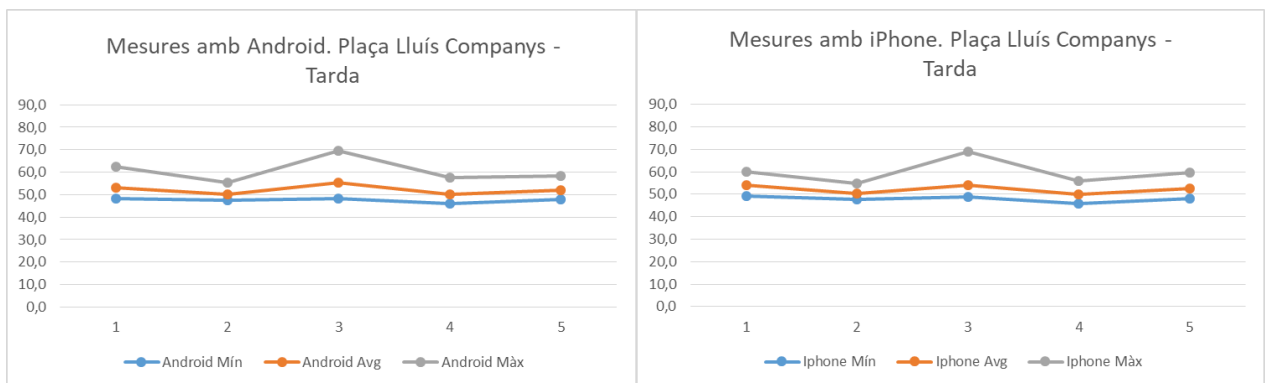
**Fig.26:** Gràfics comparatius entre aplicacions d'Android i iPhone

## Mesures a la Plaça Lluís Companys realitzades a la tarda

- Data: 27 de juny
- Hora: 20:30 h - 20:35 h
- Anotacions: soroll originat per trànsit de vehicles i nens que circulen amb patinet.
- 
- Mesures del sonòmetre professional: mínim absolut 47 dB, màxim absolut 64 dB.



**Fig.27:** Gràfica dels 20 segons del primer registre (SLA Lite - iPhone)



**Fig.28:** Gràfics comparatius entre aplicacions d'Android i iPhone

## Mesures a la Rambla Anselm Clavé realitzades a la nit

- Data: 28 de juny
- Hora: 23:25 h - 23:30 h
- Anotacions: soroll originat per gent a la terrassa d'un bar, circulació de cotxes, una moto i un gos que borda.
- 
- Mesures del sonòmetre professional: mínim absolut 47 dB, màxim absolut 84 dB.

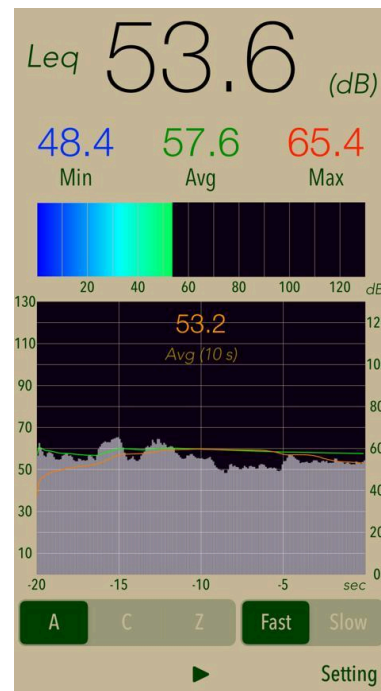


Fig.29: Gràfica dels 20 segons del primer registre (SLA Lite - iPhone)

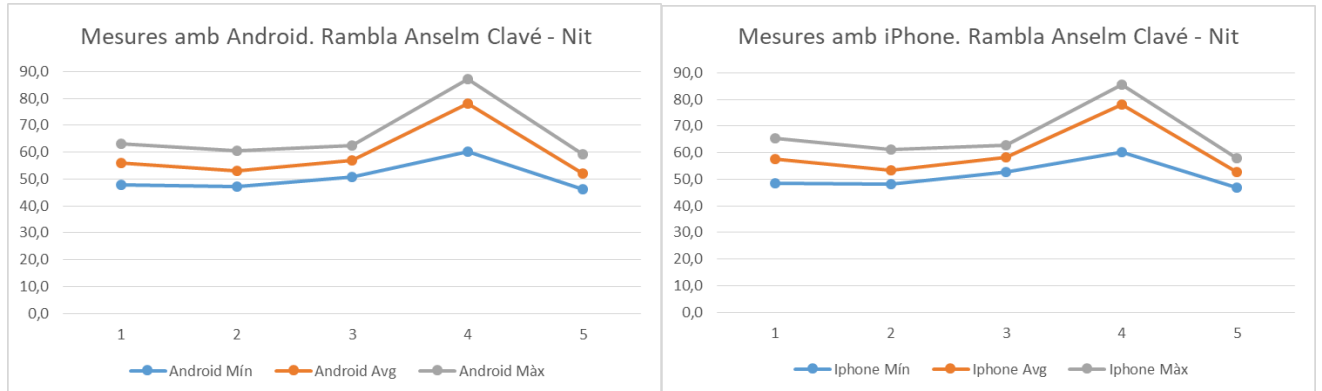
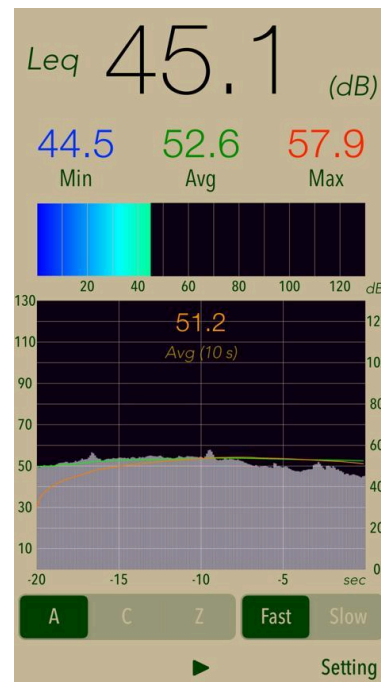


Fig.30: Gràfics comparatius entre aplicacions d'Android i iPhone

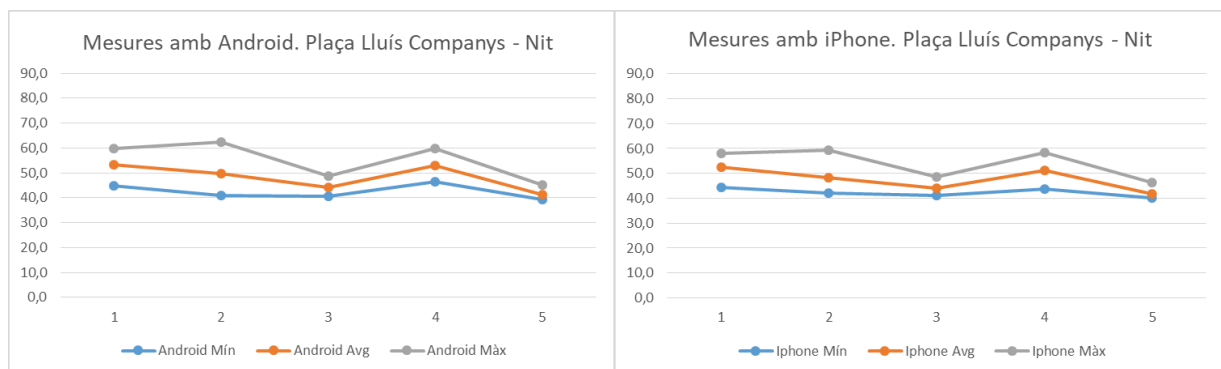


## Mesures a la Plaça Lluís Companys realitzades a la nit

- Data: 28 de juny
- Hora: 23:35 h - 23:40 h
- Anotacions: soroll originat pel trànsit de vehicles i soroll de fons de vianants.
- 
- Mesures del sonòmetre professional: mínim absolut 39 dB, màxim absolut 62 dB.



**Fig.31:** Gràfica dels 20 segons del primer registre (SLA Lite - iPhone)



**Fig.32:** Gràfics comparatius entre aplicacions d'Android i iPhone

De l'observació de la mostra d'aquest recull de dades, es dedueix que la gràfica d'una aplicació guarda una gran similitud amb la gràfica de l'altra aplicació per a tots els indrets i franges horàries. Els valors observats per a l'examinador que segueix el control del sonòmetre professional coincideixen també amb els de les aplicacions, ratificant la fiabilitat que buscàvem. Per tant, podem afirmar que el paral·lelisme de comportament de les aplicacions entre elles i amb el sonòmetre professional davant

el soroll variable es manté com ho fèiem amb el soroll constant a l'experiment inicial de verificació de les aplicacions.

Únicament, en situacions de vent, com ara, a Rubió i Ors durant la nit, les fluctuacions grans de pressió han fet desviar la línia que registra els valors màxims. Per als mínims i AVG, la línia que dibuixen aquests valors a la gràfica ha mantingut la semblança entre equips.

### Mesures a Rubió i Ors realitzades a la nit

- Data: 28 de juny
- Hora: 23:50 h - 23:55 h
- Anotacions: durant la mesura no circula cap vehicle, únicament hi ha vianants al carrer. Bufa vent suau.
- Mesures del sonòmetre professional: ha estat impossible observar el màxim i mínim. El vent, encara que suau, feia oscil·lar els valors considerablement.



Fig.33: Gràfica dels 20 segons del primer registre (SLA Lite - iPhone)

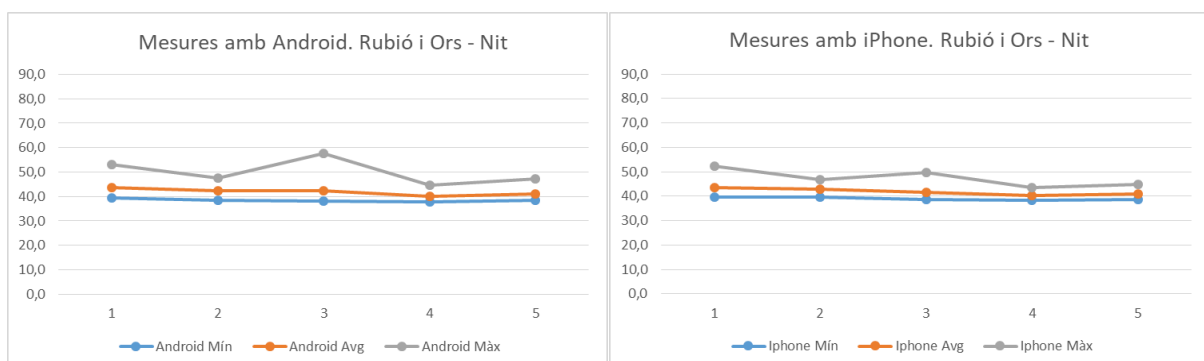


Fig.34: Gràfics comparatius entre aplicacions d'Android i iPhone



Amb aquests resultats, augmenta la nostra confiança en què les mesures dels equips siguin correctes.

Per tal de facilitar el maneig i anàlisi de les dades, els resultats s'analitzaran a partir d'ara basant-se en els valors de solament un dels equips. L'aplicació per a iPhone *SLA Lite*, no ha fet falta calibrar-la, i per això, són les dades mesurades amb ella les que es prenen per fer l'estudi.

### Resultats per franges horàries

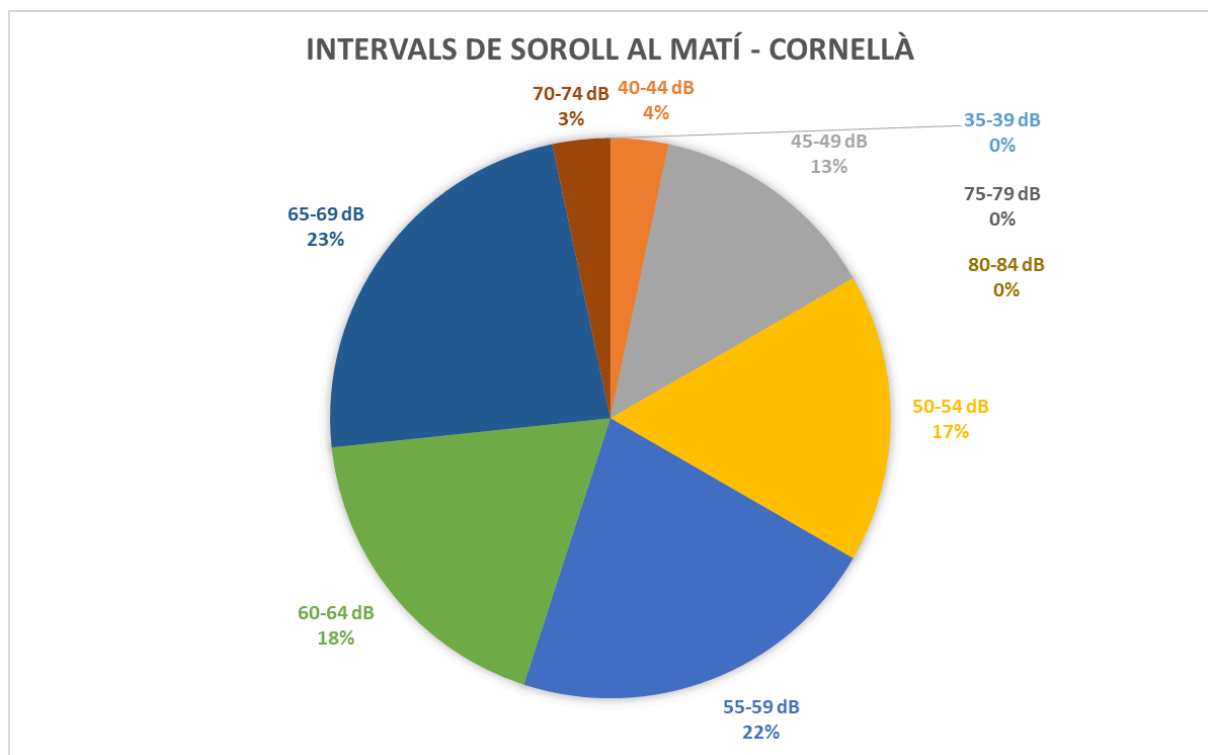
De l'anàlisi dels cinc valors AVG dels dotze punts exteriors amb l'aplicació *SLA Lite*, s'han fet percentatges dels nivells de pressió sonora per franges horàries. Els resultats es mostren per intervals de 5 dB per al matí, tarda i nit.

A la franja de matí, la majoria de les mesures es troben per sobre dels 55 dB, concretament el 66%. D'aquest percentatge el 23% se situa entre els 65-69 dB, el 22% entre 55 i 59 dB i el 18% entre 60-64%; el 3% restant està entre 70-74 dB.

Per sota dels 55 dB, un 17% de mesures està entre 50-54 dB i el 17% restant en valors inferiors a 49 dB.

Per sobre dels 75 dB no s'ha registrat cap valor.

Els valors que predominen en horari de matí estan dins de l'interval dels 55-69 dB.

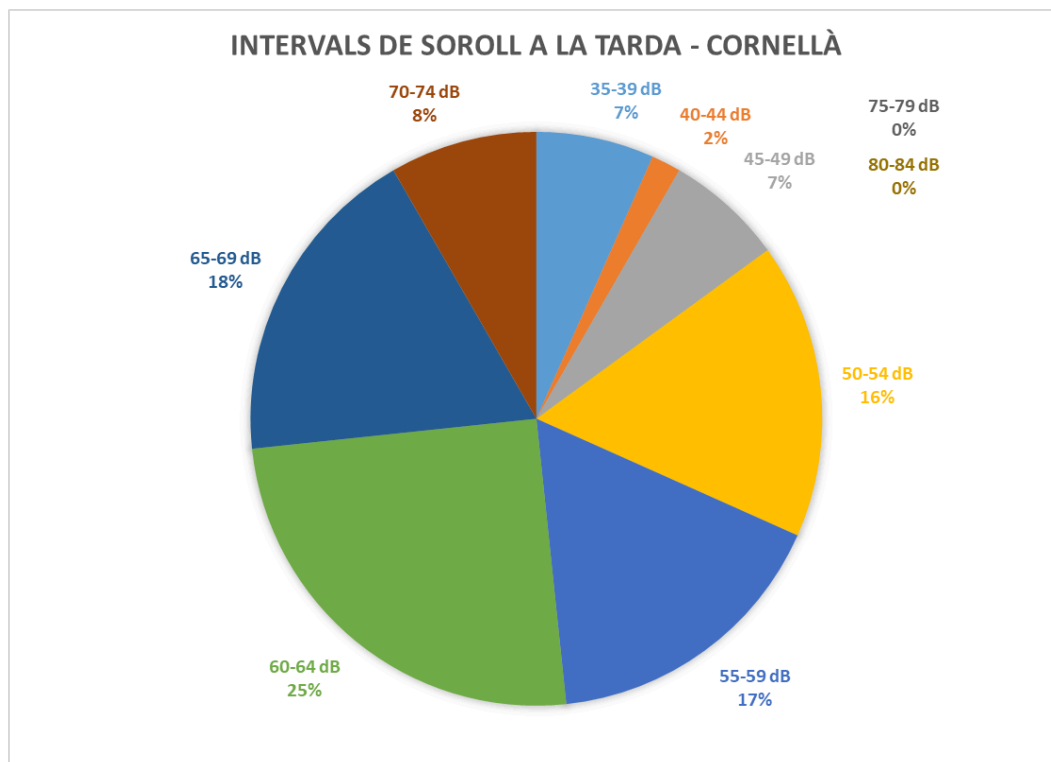


**Fig.35:** Distribució per percentatges dels nivells de pressió sonora al matí

El sector representatiu de la tarda guarda gran semblança amb el del matí.

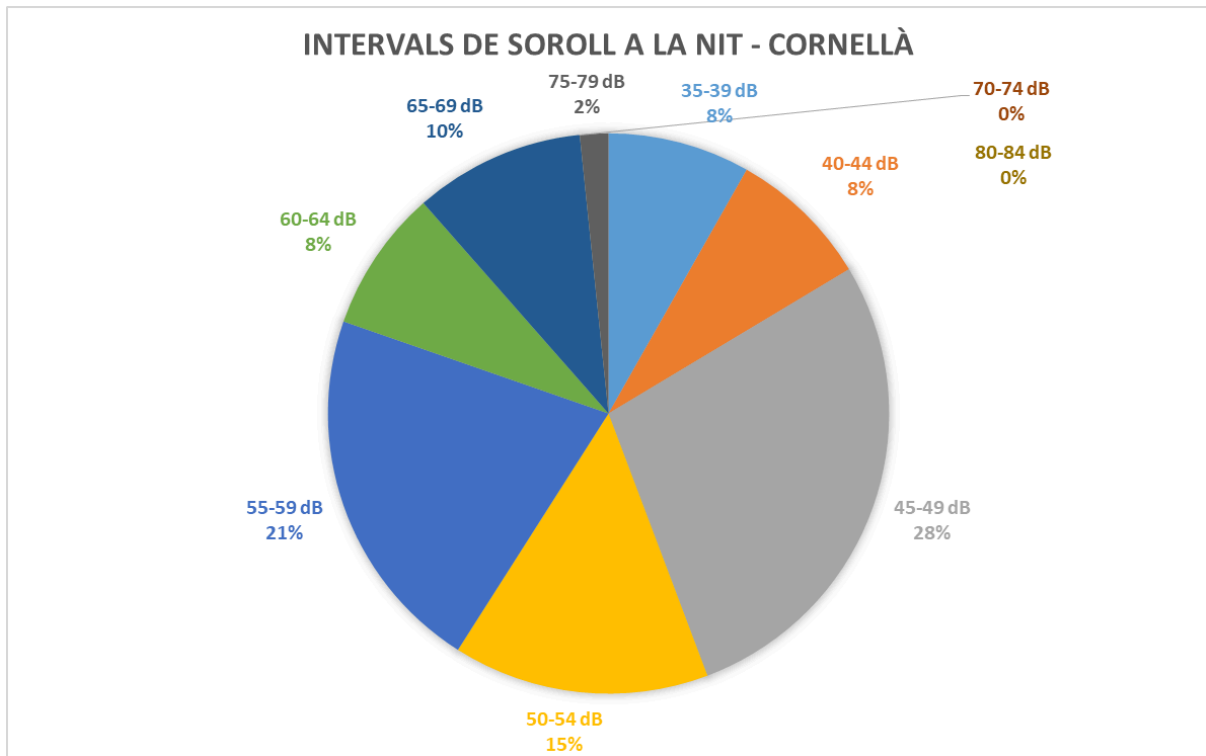
A la franja de tarda (19:00 h - 21:00 h) la majoria de les mesures es troben per sobre dels 55 dB, exactament el 68%. D'aquest percentatge, un 17% se situa entre 55 i 59 dB, el 25% entre 60 i 64 dB, el 18% entre 65-69% i només un 8% entre 70 i 74%. Per sota dels 55 dB, un 17% està entre 50-54 dB i el 16% restant en valors inferiors als 49 dB. Per sobre dels 75 dB no s'ha registrat cap mesura.

Es pot dir en línies generals, que durant el dia predominen els valors entre 55-69 dB.



**Fig.36:** Distribució per percentatges dels nivells de pressió sonora a la tarda

A la franja de nit, els nivells sonors baixen considerablement, un percentatge alt de les mesures, el 80%, es troben per sota dels 59 dB, d'aquests un 43% entre els 45 dB i 54 dB, un 21% entre 55 i 59%, i el 16% entre els 35 dB i 44 dB. Del 20% dels nivells de soroll més alts, el 8% està entre 60-64%, el 10% entre 65-69 dB i només un 2% entre 75-79%.



**Fig.37:** Distribució per percentatges dels nivells de pressió sonora a la nit

### Resultats en els diferents llocs per a matí, tarda i nit

A continuació es mostren els resultats entre els diferents llocs a cadascuna de les franges horàries. Són dades extretes de l'anàlisi de la mitjana dels diferents paràmetres (màxims, AVG i mínims) per a cada un dels llocs.

#### Matí

Al matí, la xifra més alta de la mitjana del nivell sonor equivalent (AVG) correspon al pont del riu sobre l'autovia, on el trànsit rodat és més intens.

Els nivells sonors enregistrats més alts, els màxims, tenen lloc al Passeig dels Ferrocarrils Catalans, coincidint amb unes obres que es fan a la vorera. Els màxims per sobre dels 70 dB no arriben a superar els 75 dB.

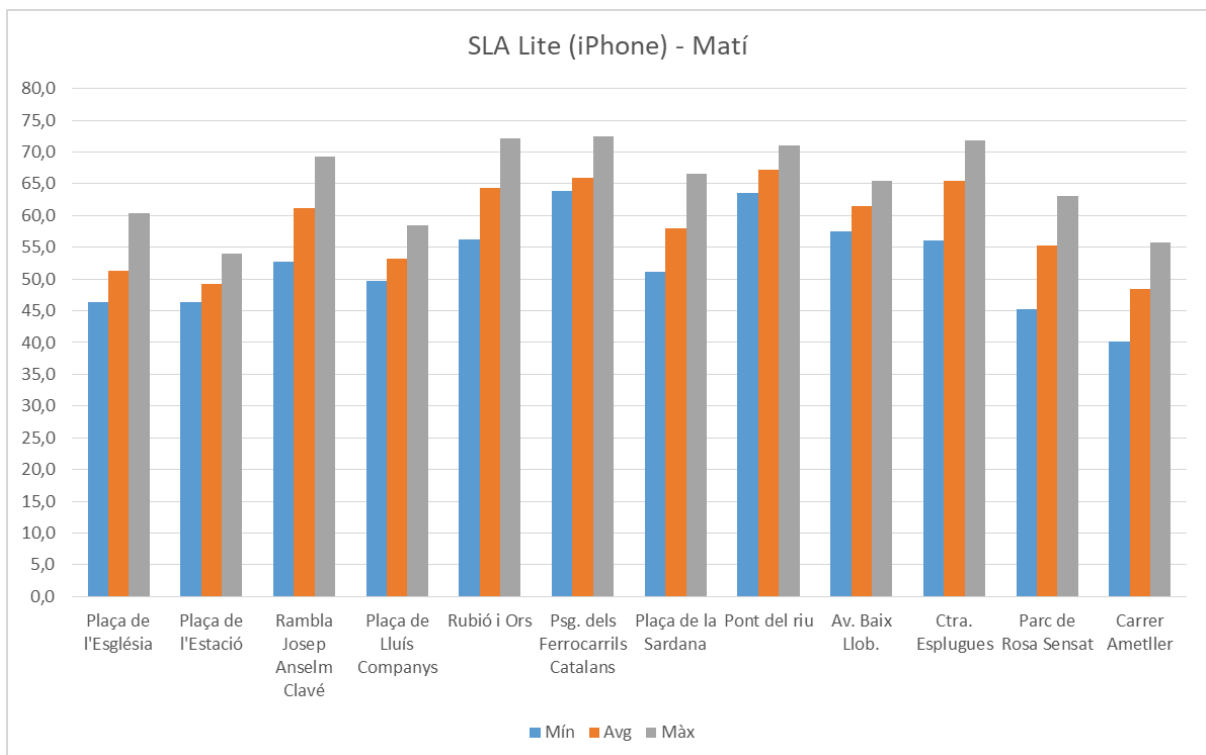
Els mínims es registren al carrer Ametller, que tot i no tenir el pas de vehicles restringit com als caps de setmana, és una via molt tranquil·la en dies laborables.

L'Avinguda Rubió i Ors, la carretera d'Esplugues, i l'Avinguda Baix Llobregat, principals artèries del municipi amb intens tràfic de cotxes, autobusos i tramvia, registren nivells de soroll alt, però sense la intensitat de l'autovia.

A les zones de trànsit rodat, el nivell de soroll mitjà se situa al voltant dels 65 dB. En zones més allunyades del tràfic, places i parcs, la mitjana se situa en 55 dB, deu decibels per sota.

|                                 | Mín  | Avg  | Màx  |
|---------------------------------|------|------|------|
| Plaça de l'Església             | 46,3 | 51,3 | 60,3 |
| Plaça de l'Estació              | 46,3 | 49,2 | 54,0 |
| Rambla Josep Anselm Clavé       | 52,7 | 61,2 | 69,2 |
| Plaça de Lluís Companys         | 49,7 | 53,2 | 58,5 |
| Rubió i Ors                     | 56,3 | 64,4 | 72,1 |
| Psg. dels Ferrocarrils Catalans | 63,9 | 65,9 | 72,4 |
| Plaça de la Sardana             | 51,2 | 57,9 | 66,6 |
| Pont del riu (autovia)          | 63,5 | 67,2 | 71,0 |
| Av. Baix Llob.                  | 57,5 | 61,5 | 65,5 |
| Ctra. Esplugues                 | 56,0 | 65,5 | 71,9 |
| Parc de Rosa Sensat             | 45,3 | 55,2 | 63,1 |
| Carrer Ametller                 | 40,2 | 48,4 | 55,7 |

**Taula 7:** Mitjanes dels màxims, AVG i mínims dels registres realitzats durant el matí



**Fig.38:** Gràfic representatiu de la comparació de llocs a la franja horària de matí

## Tarda

Si comparem els llocs a la tarda, el nivell sonor equivalent mitjà enregistrat més alt correspon a 70 dB, al pont del riu, on també es registren els mínims més alts. El tràfic intens de sortida de Barcelona a l'autopista A-2 n'és el culpable.

Curiosament, la plaça de la Sardana registra la mitjana de pics màxims més alta, per sobre dels 76,1 dB, i amb el pic més alt registrat de 78,4 dB. És també el segon lloc pel que fa al nivell sonor equivalent (AVG) més alt. L'explicació són les nombroses terrasses de bar que hi ha a la plaça, el soroll de pilotes i crits de nens que juguen a futbol i bàsquet, i el trànsit de vehicles.

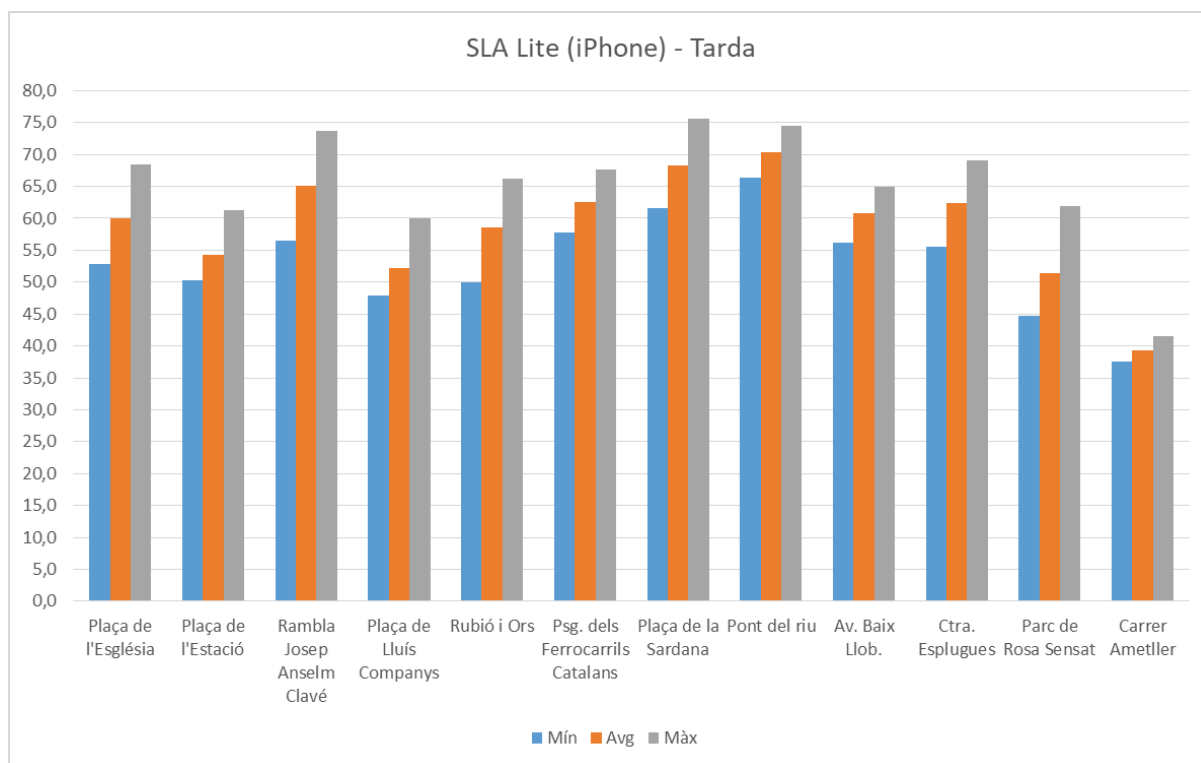
A l'extrem contrari, els valors més baixos per als tres paràmetres, valors mínims, AVG i pics màxims, corresponen al carrer Ametller, un carrer situat darrere de l'Ajuntament que no té tràfic. Valors també dels més baixos, pel que fa a mínims i AVG són els del Parc Rosa Sensat i la Plaça Lluís Companys.

La carretera d'Esplugues, l'Avinguda Baix Llobregat, el Passeig dels Ferrocarrils Catalans, la Rambla Anselm Clavé i la plaça de l'Església estan en valors entre 60 i 65 dB per a l'índex AVG.

Set dels dotze llocs registren uns màxims per sobre dels 65 dB, la xifra augmenta a deu llocs si parlem de valors per sobre dels 60 dB. En set dels indrets el nivell sonor mitjà està per sobre dels 60 dB. I si parlem dels mínims, en sis dels dotze llocs els valors mínims estan per sobre dels 55 dB i en vuit dels dotze llocs per sobre dels 50 dB.

|                                 | Mín  | Avg  | Màx  |
|---------------------------------|------|------|------|
| Plaça de l'Església             | 52,9 | 60,0 | 68,5 |
| Plaça de l'Estació              | 50,3 | 54,2 | 61,3 |
| Rambla Josep Anselm Clavé       | 56,6 | 65,1 | 73,7 |
| Plaça de Lluís Companys         | 48,0 | 52,2 | 59,9 |
| Rubió i Ors                     | 49,9 | 58,5 | 66,3 |
| Psg. dels Ferrocarrils Catalans | 57,7 | 62,5 | 67,7 |
| Plaça de la Sardana             | 61,5 | 68,3 | 76,1 |
| Pont del riu (autovia)          | 66,4 | 70,3 | 74,4 |
| Av. Baix Llob.                  | 56,2 | 60,7 | 64,9 |
| Ctra. Esplugues                 | 55,6 | 62,4 | 69,1 |
| Parc de Rosa Sensat             | 44,7 | 51,4 | 61,8 |
| Carrer Ametller                 | 37,5 | 39,2 | 41,6 |

**Taula 8:** Mitjanes dels màxims, AVG i mínims dels registres realitzats durant la tarda



**Fig.39:** Gràfic representatiu de la comparació de llocs a la franja horària de tarda

## Nit

Pel que fa a la nit, els tres paràmetres baixen en general a tots els llocs, ja que el tràfic baixa considerablement. El pont del riu es consolida com el lloc on es registren valors més alts per als tres paràmetres, amb registres entre uns mínims de 62,52 dB i uns màxims de 70,4 dB.

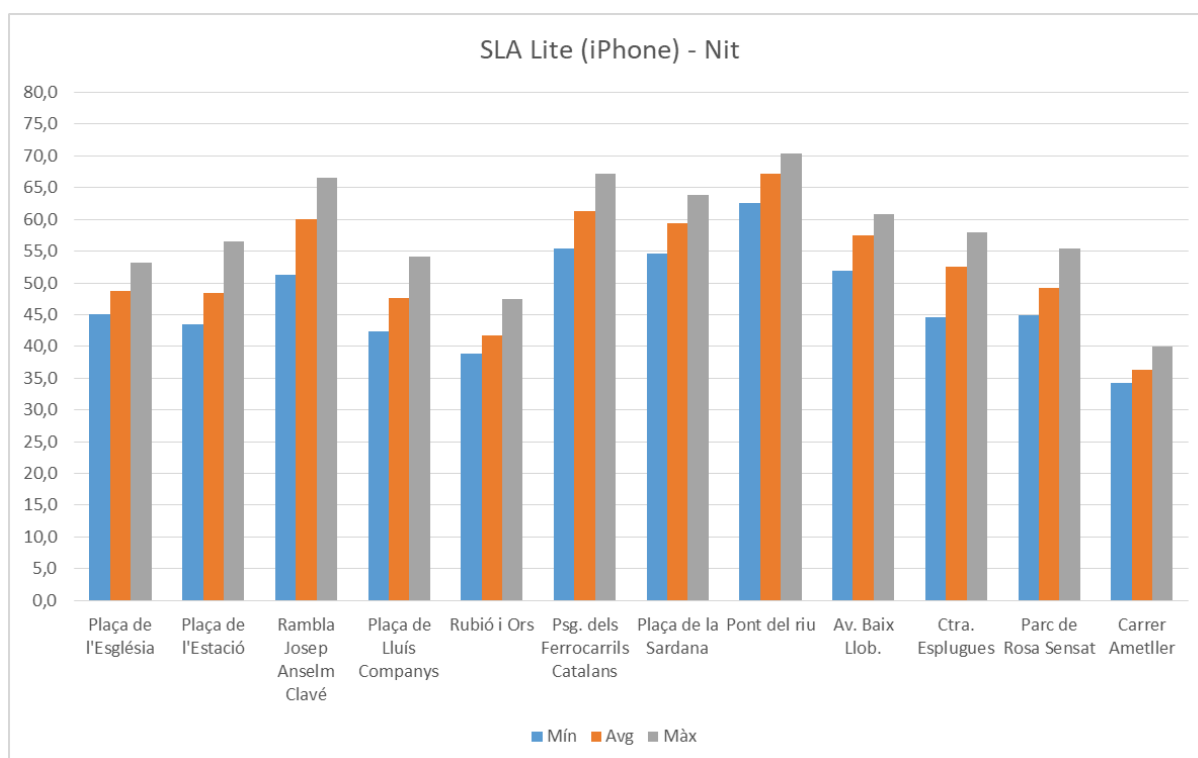
El segueixen molt a prop la plaça de la Sardana, el Passeig dels Ferrocarrils Catalans i la Rambla Anselm Clavé, pel soroll de la gent a terrasses de bar.

Les places i parcs baixen la mitjana perquè es redueix el nombre de persones en elles.

El carrer Ametller registra els valors més baixos en tots tres paràmetres, tots per sota dels 40 dB.

|                                 | Mín  | Avg  | Màx  |
|---------------------------------|------|------|------|
| Plaça de l'Església             | 45,1 | 48,8 | 53,2 |
| Plaça de l'Estació              | 43,5 | 48,3 | 56,5 |
| Rambla Josep Anselm Clavé       | 51,3 | 60,0 | 66,6 |
| Plaça de Lluís Companys         | 42,3 | 47,6 | 54,1 |
| Rubió i Ors                     | 38,9 | 41,7 | 47,4 |
| Psg. dels Ferrocarrils Catalans | 55,4 | 61,2 | 67,1 |
| Plaça de la Sardana             | 54,6 | 59,4 | 63,9 |
| Pont del riu (autovia)          | 62,5 | 67,1 | 70,4 |
| Av. Baix Llob.                  | 51,9 | 57,4 | 60,8 |
| Ctra. Esplugues                 | 44,6 | 52,5 | 58,0 |
| Parc de Rosa Sensat             | 44,8 | 49,2 | 55,4 |
| Carrer Ametller                 | 34,3 | 36,4 | 40,0 |

**Taula 9:** Mitjanes dels màxims, AVG i mínims dels registres realitzats durant la nit



**Fig.40:** Gràfic representatiu de la comparació de llocs a la franja horària de nit

### 7.2.3. Discussió

En general, es pot dir que existeix una estreta relació entre els nivells sonors enregistrats i la tipologia de la trama urbana dels barris i els possibles usos. El barri Centre i Riera són barris residencials amb gran activitat comercial, espais recreatius

i flux vehicular. Els nivells sonors durant el dia abasten un ampli rang comprès entre valors mínims de 55 dB i un màxim de 75 dB, no obstant això, el percentatge més gran de valors es troba entre els 55 i 69 dB. A la nit, els valors majoritàriament per sota dels 59 dB, tenen el rang predominant entre 45 dB i 54 dB.

Les principals fonts de nivells de soroll alts es dedueix que són el trànsit i les aglomeracions de gent. El Pont del riu sobre l'autovia, el lloc on el trànsit és intens a totes hores, té els valors més alts tant durant el dia com a la nit. Al matí, les principals avingudes amb circulació de transport públic, autobusos, tramvia o cotxes tenen també nivells de soroll elevats. A la tarda, en canvi, les terrasses de bars o els nens que juguen a parcs i places fan pujar el soroll en aquests indrets. A la nit, els nivells de soroll baixen en general perquè el trànsit disminueix a les principals vies del municipi i la gent a carrers i places també descendeix. En canvi, on hi ha negocis de restauració el soroll encara té nivells considerables.

Carrers secundaris, de baix trànsit i sense locals per a la restauració, com és el carrer Ametller, utilitzats per a l'accés a l'habitatge del veïnat, i amb edificacions de dues plantes, presenten nivells sonors baixos a les tres franges horàries.

El mapa de capacitat acústica determina com a zones de sensibilitat acústica moderada la majoria dels carrers i places del barri Centre i Riera on s'han fet les mesures. Estableix per aquests indrets límits d'immissió de 65 dB durant el dia i 55 dB a la nit. Únicament el carrer Ametller i el parc Rosa Sensat són considerades zones de sensibilitat acústica alta amb límits d'immissió de 55 dB durant el dia i de 50 dB a la nit. La zona del Pont del riu no està classificada dins de la zonificació.

Atenint-nos als resultats obtinguts amb les mesures, i als límits establerts per la normativa i legislació, pràcticament la totalitat dels punts de mesura estan per sota dels límits establerts al mapa de capacitat acústica publicat per l'Ajuntament de Cornellà.

El valor AVG se situa per sota dels 65 dB establerts com a límit diürn a tots els indrets classificats com a zones de sensibilitat moderada, excepte al Passeig dels Ferrocarrils Catalans al matí, on hi havia obres públiques, una situació excepcional; i a la plaça de la Sardana a la tarda, on sí que sembla que el soroll registrat pugui ser l'habitual.

A la nit, els límits són respectats majoritàriament a tots els indrets, excepte a la plaça de la Sardana, la Rambla Anselm Clavé, el Passeig dels Ferrocarrils Catalans



i l'avinguda del Baix Llobregat. Cal fer menció, que les mesures de nit s'han realitzat en període estival, i de les 23:00 a 00:00 hores, quan les terrasses de bars encara no han tancat.

Els dos indrets amb zonificació de sensibilitat alta, pel seu ús residencial, el carrer Ametller i la zona del parc Rosa Sensat compleixen tant els límits diürns com nocturns.

Tot i que els nivells de soroll semblen acceptables a primera vista, el 26% de les mesures diürnes estan per sobre dels 65 dB i es registren pics alts de nivell de soroll als diferents llocs i franges horàries. S'ha de considerar que són registres puntuals i no de llarga durada, per tal poden donar un marge de distorsió de la realitat.

### **7.3 Avaluació de l'entorn sonor a un Institut d'Educació Secundària**

#### **7.3.1 Descripció. Metodologia**

##### **Entorn de mesurament**

Es realitza l'avaluació de l'exposició al soroll en un centre docent, l'Institut d'Educació Secundària Francesc Macià de Cornellà de Llobregat, que imparteix ESO i Batxillerat en les seves quatre modalitats, amb un total de 790 alumnes d'edats compreses entre 12 i 18 anys.

L'institut se situa en el barri El Pedró del municipi. Està delimitat al sud per les vies de tren, a l'oest per la carretera d'Esplugues per on circula tràfic rodat i el tramvia, i que conflueix a l'est amb l'antiga carretera d'Esplugues.

El centre compta amb tres plantes. Una planta baixa, a la que s'accedeix per la cara oest. Del *hall* central surten dues ales laterals, una nord i una sud, i una orientada a l'est que dona accés als patis nord-est i sud-est. La primera i segona planta tenen la mateixa distribució.

##### **Fonts de soroll**

Les fonts de soroll són moltes. Les podem classificar en internes, professors i alumnes parlant, fotocopiadores, activitats pròpies del centre, classes de música, tallers, activitats esportives, etc.; i fonts de sorolls externes, tràfic viari, ferroviari, tramvia, veus de transeünts o sorolls del veïnat més proper, englobades dins del soroll ambiental.

## **Equips de mesura**

- Aplicació *SLA Lite* per a iPhone. Ponderació de freqüència A i ponderació de temps FAST.

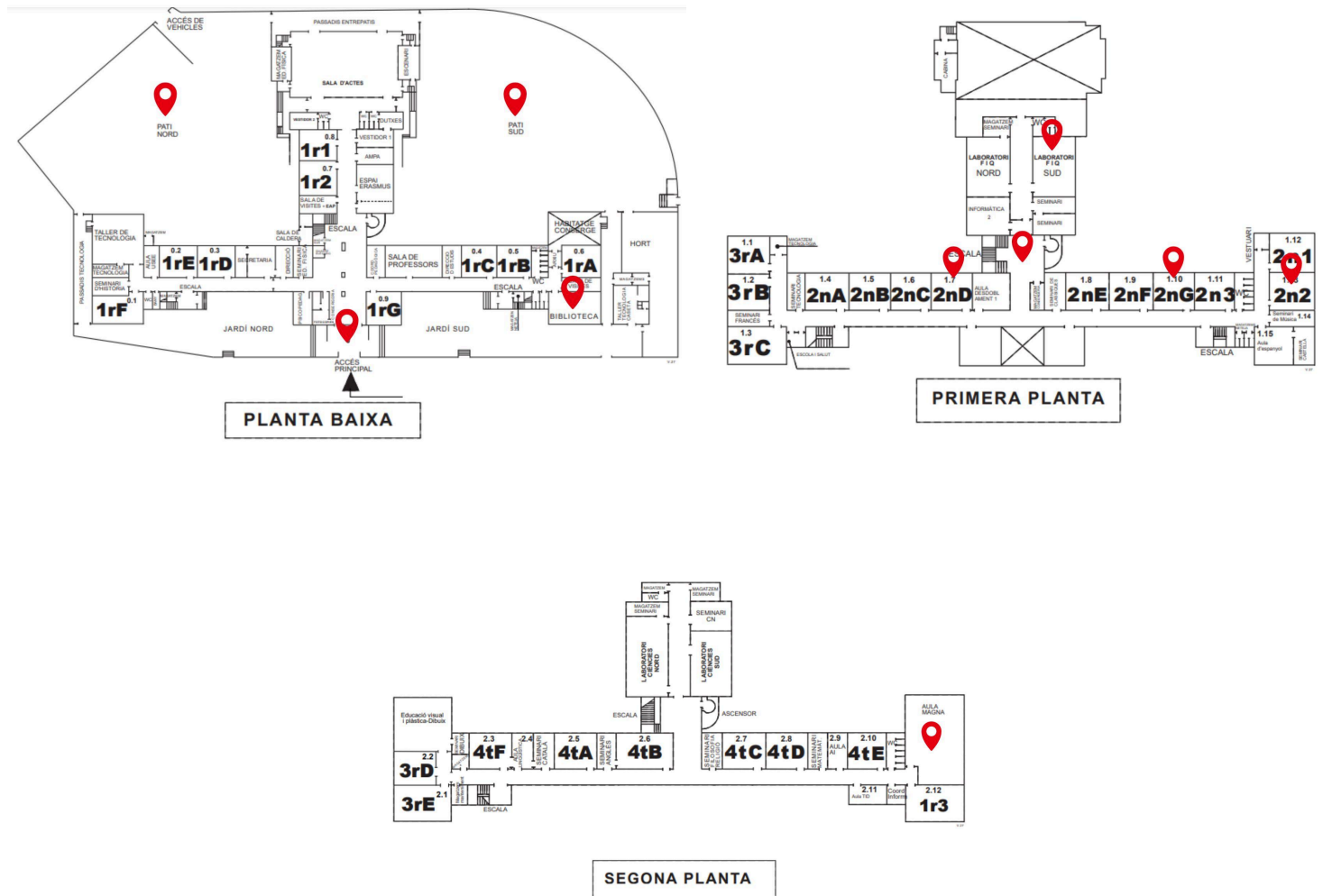
Verificat l'ús de l'aplicació *SLA Lite* per a sorolls variables als exteriors de Cornellà, s'ha procedit a avaluar l'entorn sonor del centre educatiu únicament amb aquesta aplicació.

## **Punts de mesura**

S'ha avaluat la incidència del soroll en diferents aules i espais del centre educatiu per tal de valorar l'impacte del soroll en docents, alumnes i resta de personal que treballa al centre. La mesura de l'exposició al soroll s'ha fet al setembre, amb l'inici del curs 2023-2024.

La sonometria ha tingut lloc durant els dies 15 i 18 de setembre de 2023 entre les 8.00 h i les 12:30.h en unes condicions habituals de funcionament en el centre, ja que les classes ordinàries presencials per als alumnes de batxillerat i ESO han començat amb horari lectiu complet. Amb aquestes condicions els punts de mesura que es van establir, marcats en vermell en el plànol de l'edifici, són:

1. Aula de 2n d'ESO, situada a la primera planta, ala sud.
2. Aula de 2n d'ESO, situada a la primera planta, ala nord.
3. Aula de 2n de batxillerat, situada a la primera planta, ala sud.
4. L'aula Magna, situada a l'ala sud de la segona planta, ha estat escollida estratègicament per analitzar els nivells de soroll que poden haver-hi durant la realització d'una prova.
5. Laboratori.
6. Biblioteca.
7. L'accés principal o *hall*.
8. Escala central d'accés a la primera planta.
9. El pati sud. Durant el temps d'esbarjo dels alumnes de primer i segon d'ESO.
10. El pati nord. Durant el temps d'esbarjo dels alumnes de tercer i quart d'ESO.



**Fig.41:** Plànol de l'Institut Francesc Macià de Cornellà de Llobregat on s'indiquen els llocs on s'han fet mesuraments

S'avalua també l'entorn sonor exterior del centre, amb mesures a dos punts.

1. Antiga carretera d'Esplugues. Gran part d'aules tenen finestres que donen al pati nord, en proximitat amb aquesta via pública.
2. Carrer de Sevilla. Aquest carrer delimita el pati sud, al qual diverses aules tenen orientades les seves finestres.

### **Metodologia. Dades de mesura**

La sonometria s'ha realitzat amb el mòbil amb sistema operatiu iOS 16.6, fabricat per Apple, model 10 XS MAX (MT532QL/A). Per a la realització de la mesura, l'equip ha estat subjectat amb la mà de l'examinador allunyada del seu cos i evitant

qualsevol classe de moviment. El micròfon sempre orientat en la direcció de les possibles fonts de soroll.

El número, duració i moment de la realització de la mesura s'han escollit tenint en compte que l'objectiu d'aquesta pràctica és obtenir dades que reflecteixin l'exposició real al so en una jornada al centre educatiu. La presa de dades s'ha fet prenent cinc mostres de 20 segons de duració en un interval de temps de 5 minuts. S'anoten els valors mínim, AVG i màxim de cada registre, data i hora, i observacions durant el temps de mesura (fonts de soroll, nombre de persones en el lloc, etc.).

A partir de les dades recollides i traslladades a un full de càlcul del programa Microsoft Excel s'extreuen les gràfiques que de manera visual permeten aconseguir els resultats de l'estudi.

### 7.3.2 Resultats

#### Entorn sonor exterior

Inicialment, s'analitza l'entorn sonor exterior en un moment en què no hi ha alumnes de l'institut als patis.

A la carretera d'Esplugues, limitant amb el pati nord, la mitjana dels cinc valors mínims és de 59,3 dB, i dels màxims 78,9 dB. El valor mitjà AVG és de 69,6 dB.

Al carrer Sevilla, limitant amb el pati sud les xifres, la mitjana dels mínims es troba al voltant dels 45,6 dB, el valor AVG en 53,7 dB i els màxims en 63,5 dB.

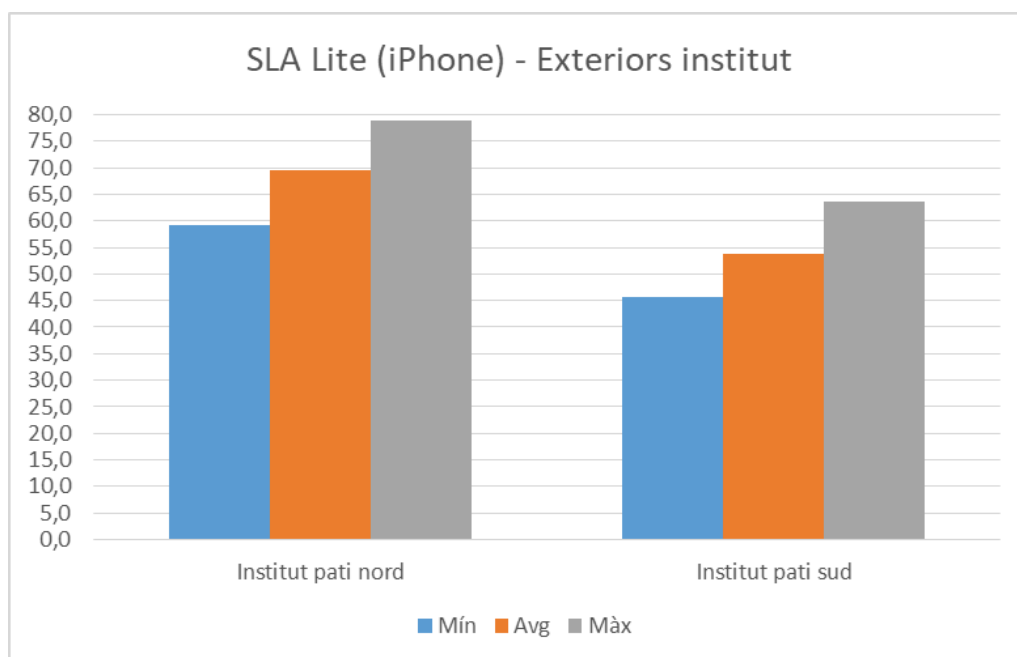


Fig.42: Avaluació de l'entorn sonor exterior del centre docent

## Entorn sonor interior

Primerament, s'analitzen un per un els diferents punts de mesura.

### Aules de 2n d'ESO

Data: 15 de setembre

Hora: 8:00 hores (2n, ala sud) i 10:30 hores (2n, ala nord)

Anotacions: Les mesures fetes a les dues aules de 2n s'han fet quan el professorat passava control d'assistència, amb 21 alumnes a la classe de primera hora i 17 alumnes a l'altra. Les finestres de les aules estaven obertes, per la qual cosa en aquestes mesures també queda reflectit el soroll de fons provinent del carrer.

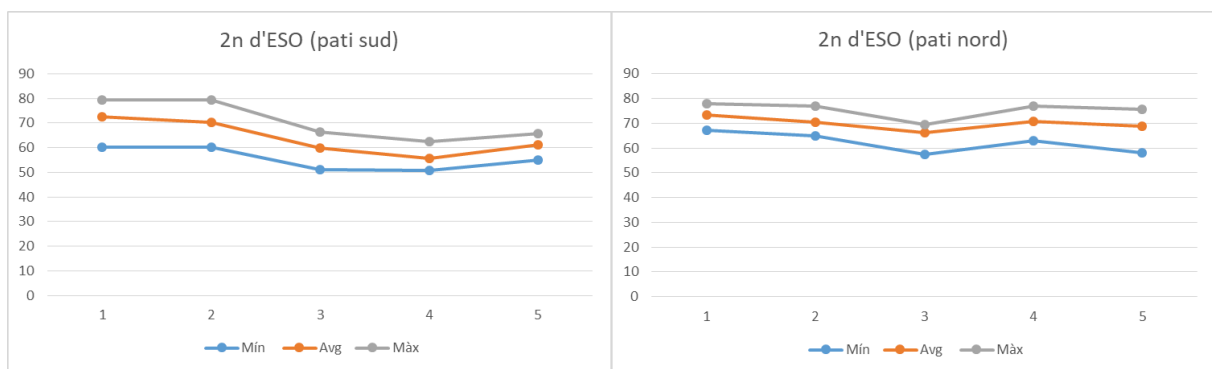


Fig.43: Registre dels nivells de soroll a aules de 2n d'ESO

### Aula de 2n de Batxillerat

- Data: 15 de setembre
- Horari: 10:35

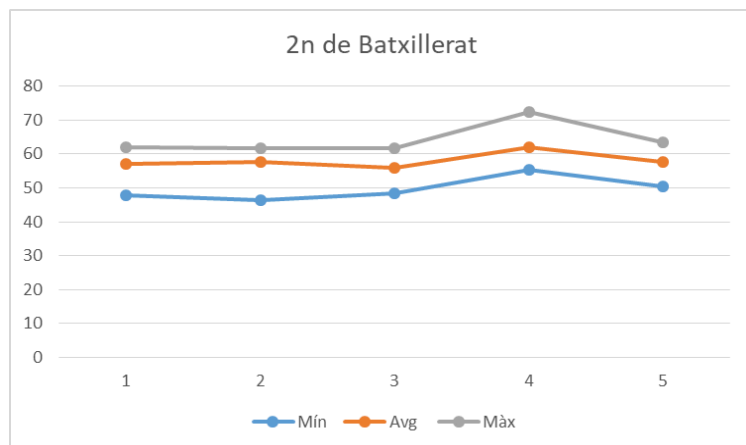


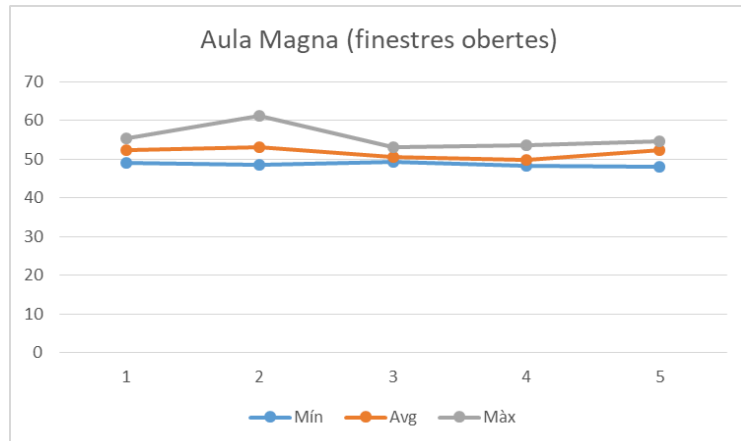
Fig.44: Registre dels nivells de soroll a 2n de Batxillerat

Anotacions: Les mesures s'han realitzat quan el professor impartia classe a 17 alumnes. Les finestres estaven obertes.

## Aula Magna amb finestres obertes

Data: 15 de setembre

Hora: 12:30 hores



**Fig.45:** Registre dels nivells de soroll a l'aula Magna amb les finestres obertes

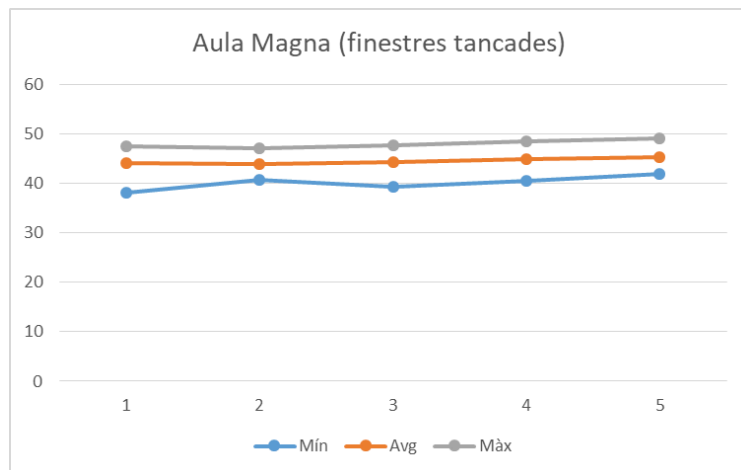
Anotacions: Les mesures s'han realitzat en absència d'alumnes amb les finestres obertes i coincidint amb el segon pati de 1r i 2n de l'ESO

L'examinador s'ha situat al centre de l'aula.

## Aula Magna amb finestres tancades

Data: 18 de setembre

Hora: 10:20 hores



**Fig.46:** Registre dels nivells de soroll a l'aula Magna amb les finestres tancades

Anotacions: Les mesures s'han realitzat en absència d'alumnes i amb les finestres tancades. Hi havia gent al passadís. L'examinador s'ha situat al centre de l'aula.

## Laboratori

Data: 18 de setembre

Hora: 11:30 hores

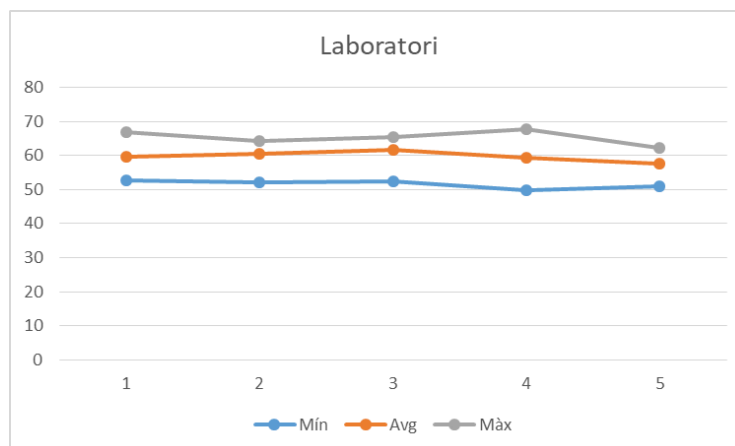


Fig.47: Registre dels nivells de soroll al laboratori de física i química

Anotacions: Amb només 9 alumnes i el professor, les mesures s'han realitzat amb les finestres obertes. A la veu del professor i de l'alumnat se suma el soroll provinent del pati sud. L'examinador s'ha situat al centre de l'aula.

## Biblioteca

Data: 18 de setembre

Hora: 10:13 hores

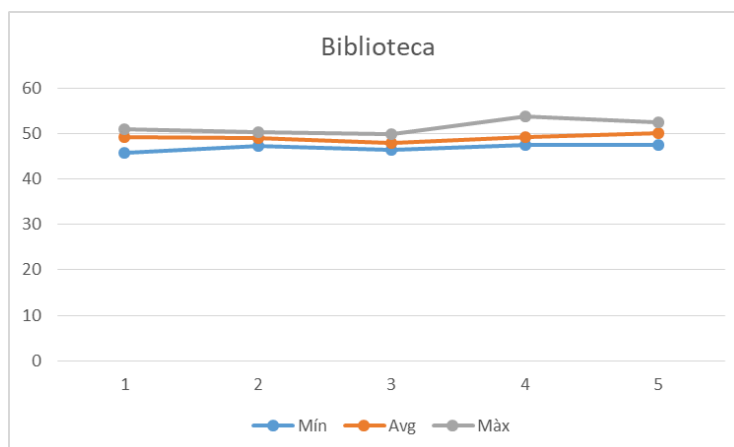


Fig.48: Registre dels nivells de soroll a la biblioteca

Anotacions: Les mesures s'han realitzat amb les finestres obertes mentre hi havia l'alumnat de batxillerat al carrer. L'examinador s'ha situat al centre de l'aula.

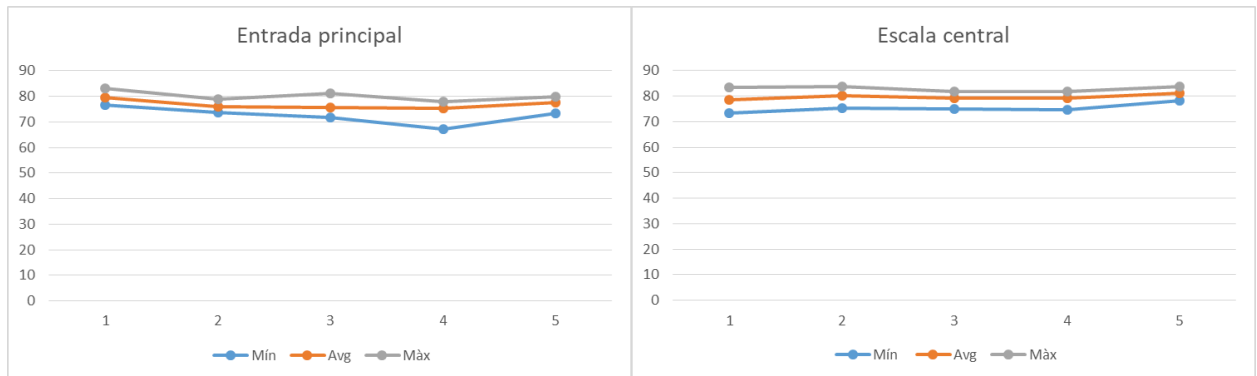
## Zones comunes. *Hall* i escales.

Data: 15 de setembre

Hora: 8:00 hores del matí al *hall*

10:20 hores a l'escala central

Anotacions: Al *hall* s'han obtingut dades en el moment que l'alumnat entrava al centre a primera hora del matí. A l'escala central, quan els alumnes accedeixen a classe després del primer pati.



**Fig.49:** Registre dels nivells de soroll a les zones comunes

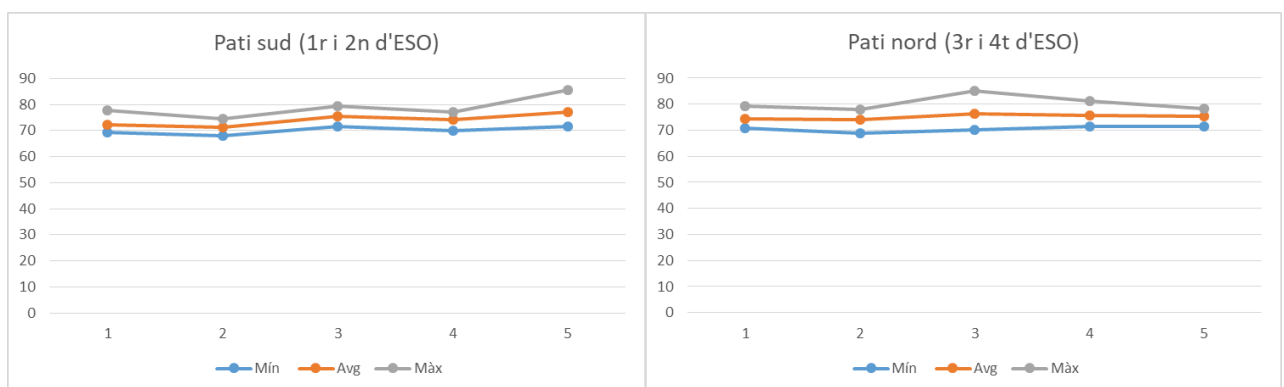
### Patis o zones d'esbarjo

Data: 15 de setembre

Hora: 10:10 hores al pati sud

10:15 hores al pati nord

Anotacions: Al pati sud, els registres s'han fet durant el temps d'esbarjo dels alumnes de primer i segon d'ESO. Al pati nord, durant el temps d'esbarjo dels alumnes de tercer i quart d'ESO.



**Fig.50:** Registre dels nivells de soroll als patis

A continuació, una taula i un gràfic il·lustren la comparativa entre els diferents espais del centre educatiu.



| PUNTS DE MESURA                 | Mínim registrat | Màxim registrat | M I T J A N E S |       |       |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-------|
|                                 |                 |                 | Mín             | Avg   | Màx   |
| 2n d'ESO (pati sud)             | 50,6            | 79,4            | 55,42           | 63,92 | 70,58 |
| 2n d'ESO (pati nord)            | 57,5            | 77,8            | 62,1            | 69,84 | 75,36 |
| 2n de Batxillerat               | 46,3            | 72,5            | 49,7            | 58,08 | 64,3  |
| Aula Magna (finestres obertes)  | 48              | 61,1            | 48,62           | 51,62 | 55,54 |
| Aula Magna (finestres tancades) | 38,2            | 49,1            | 40,16           | 44,54 | 48,04 |
| Laboratori                      | 49,9            | 67,7            | 51,64           | 59,74 | 65,3  |
| Biblioteca                      | 45,8            | 53,7            | 46,88           | 49,08 | 51,52 |
| Entrada principal (hall)        | 67              | 83,2            | 72,48           | 76,84 | 80,22 |
| Escala central                  | 73,5            | 83,8            | 75,34           | 79,68 | 82,96 |
| Pati sud (1r i 2n d'ESO)        | 67,9            | 85,6            | 69,98           | 74,02 | 78,86 |
| Pati nord (3r i 4t d'ESO)       | 69              | 85              | 70,6            | 75,14 | 80,34 |

Taula 10: Valors registrats als diferents punts de mesura de l'Institut Francesc Macià

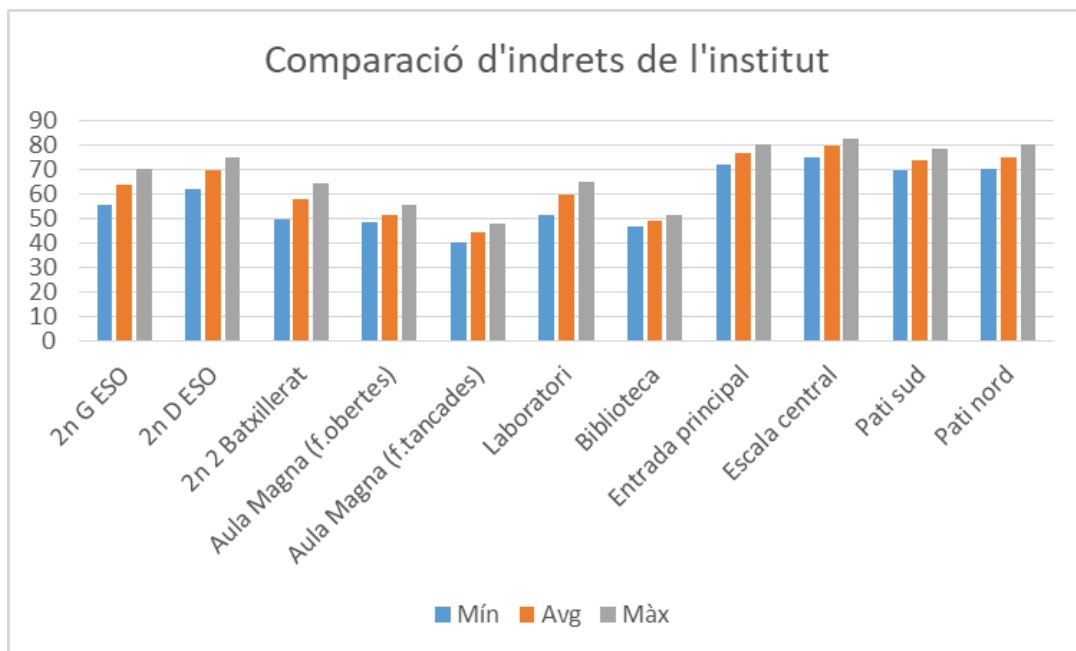


Fig.51: Gràfic comparatiu de diferents indrets de l'institut

### 7.3.3 Discussió

L'avaluació del soroll al centre docent ha permès saber quins són aquells espais del centre en què la població docent i l'alumnat estan exposats a nivells de soroll de disconfort acústic o inclús a nivells considerats perjudicials per a la salut.

Analitzats els resultats, i pel que fa a l'entorn ambiental exterior, els valors de tots tres paràmetres (màxims, AVG, mínims) és considerablement més alt a la banda de l'institut del pati nord, que a la zona d'instal·lacions que donen al pati sud. L'antiga

carretera d'Esplugues té un trànsit important de vehicles lleugers, al que se suma el soroll d'autobusos.

L'Institut Francesc Macià, com a centre docent que és, es considera zona de sensibilitat acústica alta (A2), amb valors límits d'immissió de 55 dB per al Ld (entre les 7:00 h - 21:00 h). Els seus voltants, catalogats com zona de sensibilitat moderada (B1), per ser una zona residencial amb activitats i infraestructures de transport, tenen els valors límits d'immissió fixats en 65 dB. Tenint en compte això, els exteriors del centre compleixen més o menys els límits del mapa de capacitat acústica per a la zonificació B1, però no ajuden a tenir l'ambient sonor desitjable al centre docent.

Amb relació a les mesures efectuades al centre, els resultats mostren com els valors més alts al centre educatiu tenen lloc a l'escala central, quan els alumnes pugen a classe després de l'esbarjo, i en segon lloc, al *hall*, quan entren al centre a primera hora del matí. Són xifres importants que superen els 75 dB, queden molt lluny dels 50 dB que la normativa fixa per a les zones comunes. Té la seva explicació; són dos llocs i moments on un nombre elevat d'alumnes i personal del centre coincideix parlant. El fet que en el *hall* els valors siguin més baixos que en l'escala es podria explicar per què és un espai més ampli, té menys reverberació i, per altra banda, a primera hora els alumnes es mostren més silenciosos que després d'un esbarjo a mig matí.

Pel que fa a les aules, l'aula de 2n (pati nord) dona resultats superiors als de l'aula de 2n (pati sud), amb uns 6 dB de mitjana més per al valor AVG (69 dB contra els 63 dB). Podria tenir relació amb un entorn sonor exterior més alt a la banda de l'institut que dona al pati nord.

A l'aula de 2n de batxillerat, els nivells de soroll baixen, amb un AVG de 58 dB. Coincideix que el nombre d'alumnes és menor, guarden més silenci que els alumnes d'ESO quan el professor fa una explicació, i està situada a l'ala sud amb menys soroll exterior. Al laboratori, amb pocs alumnes, i orientada també al pati sud, més silenciosos, el nivell de so és similar, 59 dB.

De totes maneres, totes les aules superen l'objectiu de qualitat acústica de 40 dB, fins i tot l'aula Magna, on el soroll amb finestres obertes es manté bastant constant, al voltant dels 51 dB, amb algun pic més elevat a causa dels alumnes que es troben al pati. Amb finestres tancades millora l'ambient sonor, baixant fins als 44,5 dB de mitjana, però no prou. L'aula Magna, un espai aparentment silenciosos que hauria

d'assegurar les condicions per a una atenció i concentració que requereix fer una prova o examen, no està lliure de nivells d'incomoditat. Recordem que a una sala de lectura els objectius de qualitat estan en 35 dB.

Queden també lluny d'aquesta xifra, els 49 dB registrats a la biblioteca.

Pel que fa a l'hora de l'esbarjo, en tots dos patis els nivells de soroll estan en els 75 dB, arribant a valors de fins a 85 dB. Són xifres molt altes.

## 8. CONCLUSIONS

Les mesures puntuals de soroll ambiental fetes en aquest estudi han permès extreure estimacions dels nivells de soroll que suporten els ciutadans de Cornellà, tot i que no s'han fet amb els mètodes de mesura i avaluació amb què ho fan entitats especialitzades.

La possibilitat de portar a terme una mesura estandarditzada implica una sèrie de requisits. En primer lloc, es necessiten equips professionals, sonòmetres integradors tipus I. En segon lloc, es necessita una plataforma que permeti recol·lectar la informació i exportar-la de manera ràpida *in situ* per a obtenir una base de dades a partir de la qual es fan càlculs amb paràmetres estadístics. I per últim, mesures de llarga durada són més representatives de la realitat acústica que les mesures puntuals fetes en aquest estudi.

Malgrat que la metodologia emprada a l'estudi no és la que dicten els manuals, adquirir informació sobre la qualitat acústica de l'entorn de forma puntual i extreure conclusions dels nivells sonors a què s'exposa la població ha estat possible amb un sonòmetre tipus 2 d'aplicació general i les aplicacions per a telèfon mòbil utilitzades. Els resultats obtinguts guarden coherència amb els publicats sobre l'àrea metropolitana de Barcelona. Això demostra que un usuari de *smartphone* té el potencial per monitorar l'entorn amb gran granularitat espacial i temporal, i que la metodologia emprada, bé dissenyada, és vital per a una avaluació fiable dels nivells de contaminació acústica.

A continuació es detallen les conclusions a les quals s'ha arribat.

### **Sobre l'avaluació de la contaminació acústica a la ciutat:**

Els nivells sonors dels espais exteriors avaluats als barris Centre i Riera de la ciutat de Cornellà es troben majoritàriament per sota dels límits fixats per la normativa i ordenances, tant en horari nocturn com a diürn. Atès el mapa de capacitat acústica

de l'Ajuntament, el 74% de les mesures realitzades durant el dia es mantenen per sota dels límits fixats. A la nit, el percentatge de les mesures amb valors inferiors als establerts baixa una mica, està al voltant del 60%. Per tant, la normativa en matèria de protecció contra la contaminació acústica es compleix predominantment.

La població de Cornellà està exposada a valors amb repercussions sobre la salut i el benestar de les persones. Es pot reconèixer la contaminació sonora com un dels problemes ambientals que afecten la qualitat de vida en el centre urbà de Cornellà.

Si ens atenim a criteris de l'OMS, més restrictius, un 68% de les mesures diürnes superen els 55 dB que provoquen incomoditat acústica i en determinades ocasions s'arriba a prop dels nocius 75 dB. Per a la nit, l'OMS recomana no superar els 30 dB, fet que no es dona ni en un dels carrers més silenciosos de la ciutat, el carrer Ametller. En aquest sentit, cal considerar que les mesures són puntuals, per tant, poden no ser representatives de tot el període de nit. La no disposició de mesures de llarga durada, no pot determinar el percentatge de temps exposat als nivells resultants.

No tota la població de Cornellà està exposada de la mateixa manera al soroll. Els habitants sotmesos al soroll de carrers per on circulen vehicles, autobusos o amb terrasses a la via pública pateixen nivells de soroll més alts que aquells que es troben en zones purament residencials amb poc trànsit.

### **Sobre l'avaluació de la contaminació acústica a l'Institut Francesc Macià**

- El nivell de soroll registrat indica que alumnes, docents i resta de personal estan exposats a nivells sonors que superen els recomanats per l'OMS i per la normativa. Tots els registres donen valors alts en tots els espais i aules, indicatiu de què el soroll és un constant en un dia lectiu en el centre educatiu Francesc Macià. Professors i alumnes passen tot el temps que dura una jornada sotmesos de manera contínua a un ambient de soroll que incomoda i que arriba a ser nociu.
- L'emplaçament del centre en un entorn urbà condiona que el soroll ambiental esdevingui un important agent contaminant. Un centre educatiu és considerat un edifici sensible i, per tant, en el mapa de capacitat acústica de Cornellà es vetlla per ser considerat dins de la zona de sensibilitat acústica alta amb valors límits d'immissió de 55 dB. L'Institut Francesc Macià, en un emplaçament ambiental sorollós, a prop de la via del tren, del tramvia i del tràfic rodat, amb edificacions al

voltant d'alçada i amb aules que donen als patis on es fan activitats esportives, rep directament l'impacte del soroll ambiental exterior.

- El soroll propi de l'interior del centre, alumnes i professors parlant, activitats, tallers, feines en grups, etc., constitueix la font principal de soroll.
- Les condicions acústiques d'un centre docent depenen del soroll exterior i interior, però també de la transmissió del soroll entre aules i de la reverberació i intel·ligibilitat existent.
- El soroll independentment d'on procedeix comporta interferències en els processos de comunicació i en els processos cognitius. L'impacte del soroll en un centre educatiu no afecta només la qualitat de vida i a la salut, sinó al pilar fonamental d'un centre educatiu, l'ensenyament i l'aprenentatge. Té efectes sobre el desenvolupament professional del docent i sobre l'atenció, memòria i concentració de l'alumnat.

### **Sobre els equips de mesura de soroll i la metodologia**

- Un sonòmetre integrador tipus I, per la seva precisió i exactitud, és l'equip més adequat per avaluar els nivells de soroll.
- És possible mesurar nivells de soroll ambiental mitjançant aplicacions de dispositius mòbils amb una precisió equiparable als instruments professionals. Existeix una gran varietat d'aplicacions de mesura del soroll tant per al sistema operatiu Android com per a iOS, però no totes tenen la precisió per avaluar amb veracitat els nivells de soroll.
- És necessari verificar les aplicacions per a telèfon mòbil abans del seu ús per mesurar els nivells sonors, comprovar si és fiable i si cal calibrar l'equip.
- La precisió de les mesures varia segons el dispositiu que s'utilitza, influïda per la qualitat del micròfon. A vegades pot ser necessari l'ús d'un micròfon extern.
- Les aplicacions per a iPhone han resultat ser més fiables que les aplicacions per a Android. Les aplicacions per a iPhone funcionen bastant fiablement tal com es descarreguen, sense calibració, mentre que les d'Android, possiblement degut a la variabilitat més gran del seu hardware, són més susceptibles de tenir errors i, per tant, la calibració és pràcticament indispensable.
- La portabilitat dels telèfons mòbils, la sinergia amb els sensors que posseeix com el micròfon, càmera, sistemes de posicionament global, acceleròmetres i el baix cost els converteix en instruments interessants i útils per a monitoratge del soroll.

- La correcta utilització del telèfon mòbil per fer les mesures és essencial. Amb un telèfon mòbil cal seguir les mateixes indicacions i precaucions que amb un sonòmetre professional. Si no es volen alterar les mesures, s'ha d'adoptar la metodologia recollida als textos legislatius o les guies de mesura del soroll.

El treball ha permès donar resposta a totes les preguntes plantejades al començament. La part teòrica ha resolt les qüestions inicials sobre les conseqüències del soroll en la salut, sobre les recomanacions de l'OMS i la normativa vigent en matèria de contaminació acústica, i ha aportat informació sobre els instruments i mètodes de mesura.

La teoria ha assentat la base per dur a terme la part pràctica i poder assolir amb èxit els objectius amb què es va iniciar aquest treball de recerca. L'objectiu principal de què es partia, conèixer si el nivell d'exposició al soroll ambiental de Cornellà supera els límits establerts per la legislació com per ser considerat un problema de salut públic s'ha aconseguit, així com els objectius secundaris lligats a aquest.

Pel que fa a les quatre hipòtesis es confirmen tres d'elles. La primera, que la població de Cornellà està exposada a sorolls molestos gran part del dia i en comptades ocasions a sorolls nocius, la segona que els límits de protecció contra el soroll ambiental a Cornellà són superats tot i tenir un pla d'actuacions de millora de la qualitat acústica ambiental, i la tercera, que els espais interiors, com ara l'institut Francesc Macià també violen els límits recomanats. L'última hipòtesi, que posa en dubte la fiabilitat dels dispositius mòbils com a instruments de mesura es refuta o invalida, ja que s'ha comprovat que existeixen aplicacions amb una precisió comparable a la dels sonòmetres.

Finalment, la principal limitació d'aquest estudi ha estat la dificultat inicial per seleccionar tant equips com aplicacions. Els fabricants d'equips no donen detalls dels micròfons que fan servir als seus dispositius, no coneixem els rangs de freqüències i nivell d'intensitat als que poden respondre. Per una altra banda, les especificacions descrites a les aplicacions tampoc tenen un rigor que permeti comparar-les. Cada aplicació dona importància a uns paràmetres concrets i és difícil establir uns factors comparatius comuns.

Com a suggeriment per a futures investigacions es considera que és important reunir diversos dispositius mòbils de diferents fabricants i fer una comparativa preferentment en condicions de laboratori d'acústica. Això vol dir, a l'interior d'una

cambrà d'aïllament acústic, amb equips de generació de sons perfectament controlables que puguin regular la freqüència i intensitat del so amb precisió.

## 9. AGRAÏMENTS

Aquest treball ha suposat tot un desafiament perquè no estava gaire assabentada del tema i m'he embarcat en un univers totalment nou per a mi. El resultat final no hauria estat possible sense el suport i la dedicació de les persones que han contribuït a fer que el projecte tirés endavant. A tots vull donar-vos les gràcies.

En primer lloc, i especialment, al meu tutor Juanjo Ortas, per la seva orientació constant, que m'ha permès posar en ordre les idees i donar l'estructura adequada. Gràcies pel suport demostrat, per la proximitat, la dedicació, la paciència, per corregir-me amb respecte i per escoltar-me, aspectes que valoro personalment. Vull agrair-te també, el teu interès per proporcionar-me material que m'ha estat útil.

A Marc Pons, tècnic en prevenció de riscos laborals, per proporcionar-me un sonòmetre professional i donar-me nocions que m'han ajudat per a la part pràctica d'aquest treball.

I per últim, a la meua família, que ha estat al costat durant tot el procés i que m'ha donat consells que han sigut beneficiosos quan em sentia perduda. Recordaré sempre els passejos de nit per Cornellà fent mesures de soroll ambiental amb vosaltres.

## 10. BIBLIOGRAFIA/WEBGRAFIA

- Serra i Estrada, Salvador; Armengol i Solé, Montserrat; Mercadé i Capellades, Joan M. Física 2n Batxillerat. McGraw-Hill Education, 2018. ISBN: 978-84-486-1407-2
- Bartí Domingo, Robert. *Acústica medioambiental*. Vol. I. España. Editorial Club Universitario, 2013. ISBN: 978-84-9948-020-6
- E. Berg, R. *Sound*. Encyclopedia Britannica. Última actualització: 2023. Disponible a: <https://www.britannica.com/science/sound-physics>  
[http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/SONIDO%20\\_STI\\_.pdf](http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/SONIDO%20_STI_.pdf)
- Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient. *Manual de mesurament i avaluació del soroll* [en línia]. Biblioteca de Catalunya, 1a edició: desembre 1994.
- [Consulta: 4 març 2023]. Disponible a: [https://www.gencat.cat/mediamb/publicacions/monografies/manual\\_mesurament\\_s](https://www.gencat.cat/mediamb/publicacions/monografies/manual_mesurament_s)

[oroll.pdf](#)

<https://sicaweb.cedex.es/wp-content/uploads/2021/08/Conceptos-Basicos-del-ruido-ambiental.pdf>

- *Llei 16/2002, de 28 de juny, de Protecció contra la Contaminació Acústica* [en línia]. «BOE» núm. 177, de 25 de juliol de 2002. [Consulta: 10 abril 2023]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-14987-consolidado.pdf>
- *Directiva 2002/49/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 25 de juny de 2002, sobre evaluació i gestió del soroll ambiental* [en línia]. «DOCE» núm. 189, de 18 de juliol de 2002, pàgines 12 a 25. [Consulta: 10 abril 2023]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2002-81289>
- *Llei 37/2003, de 17 de novembre, del soroll* [en línia]. «BOE» núm. 276, de 18 de novembre de 2003. [Consulta: 10 abril 2023]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-20976>  
[https://coneixement-eu.bcn.cat/widget/atles-resiliencia/docs/es\\_es\\_210823\\_ER\\_E\\_P1\\_Cont\\_ac%C3%BAst\\_PDF%20final.pdf](https://coneixement-eu.bcn.cat/widget/atles-resiliencia/docs/es_es_210823_ER_E_P1_Cont_ac%C3%BAst_PDF%20final.pdf)
- *Reial Decret 1371/2007, 19 d'octubre* [en línia]. «BOE» núm. 254, 23 d'octubre de 2007. [Consulta: 4 setembre 2023]. Disponible a: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42992-43045.pdf>
- *Reial Decret 1513/2007, 16 de desembre* [en línia]. «BOE» núm. 301, pel qual es desenvolupa la Llei 37/2003, de 17 de novembre, del soroll, pel que fa a l'avaluació i gestió del soroll ambiental. [Consulta: 6 setembre 2023]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2005/BOE-A-2005-20792-consolidado.pdf>
- *Reial Decret 1367/2007, 19 d'octubre* [en línia]. «BOE» núm. 254, pel qual es desenvolupa la Llei 37/2003, de 17 de novembre, del soroll, pel que fa a la zonificació acústica, objectius de qualitat i emissions acústiques. [Consulta: 6 setembre 2023]. Disponible a: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-18397-consolidado.pdf>
- *Decret 245/2005, de 8 de novembre, pel qual es fixen els criteris per a l'elaboració dels mapes de capacitat acústica* [en línia]. DOGC núm. 450, 10/11/2005. [Consulta: 8 setembre 2023]. Disponible a: <https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/4507/1214039.pdf>
- *Decret 176/2009, de 10 de novembre, pel qual s'aprova el Reglament de la Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica, i se*



- n'adapten els annexos [en línia]. DOGC núm. 5506, 16/11/2009. [Consulta: 9 setembre 2023]. Disponible a: <https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/5506/1966350.pdf>
- Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. *Mapa estratègic de soroll. Aglomeració del Baix Llobregat I* [en línia]. «DOGC» RESOLUCIÓ TES/195/2021, de 25 de gener. Novembre 2020. [Consulta: 12 març 2023]. Disponible a: [https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/atmosfera/contaminacio\\_acustica/gestio\\_ambiental\\_del\\_soroll/mapes\\_de\\_soroll/mapes\\_estrategics\\_de\\_soroll/mapes\\_d\\_aglomeracions/mapes\\_estrategics\\_aglomeracions\\_3a\\_fase/Memoria-MES-F3-BLLI-cat.pdf](https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_acustica/gestio_ambiental_del_soroll/mapes_de_soroll/mapes_estrategics_de_soroll/mapes_d_aglomeracions/mapes_estrategics_aglomeracions_3a_fase/Memoria-MES-F3-BLLI-cat.pdf)
  - Ajuntament de Cornellà de Llobregat. Confort acústic. *Mapa de capacitat acústica de Cornellà / 2014* [en línia]. [Consulta: 5 març 2023]. Disponible a: <https://www.cornella.cat/ca/media/cornella-natura/natura/mapacontaminacioacustica.jpg>
  - <https://www.insst.es/documentos/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+exposici%C3%B3n+al+ruido/96a86542-1ac3-42c1-9df2-8c385c67db60>
  - European Environment Agency. Chapter 11\_SOER2020. *Environmental Noise* [en línia]. 23 de gener de 2020. [Consulta: 13 juliol 2023]. Disponible a: [https://www.eea.europa.eu/signals-archived/publications/soer-2020/chapter-11\\_soer2020-environmental-noise/view](https://www.eea.europa.eu/signals-archived/publications/soer-2020/chapter-11_soer2020-environmental-noise/view)
  - Neitzel, R. L., & Fligor, B. J. Risk of noise-induced hearing loss due to recreational sound: Review and recommendations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, any 2019. Vol. 146, núm 5, p. 3911-3921.
  - Halonen, J. I., Vahtera, J., Stansfeld, S., Yli-Tuomi, T., Salo, P., Pentti, J., ... & Lanki, T. Associations between nighttime traffic noise and sleep: the Finnish public sector study. *Environmental health perspectives*, any 2012. Vol. 120, núm 10, p. 1391-1396.
  - Evandt, J., Oftedal, B., Hjertager Krog, N., Nafstad, P., Schwarze, P. E., & Marit Aasvang, G. A population-based study on nighttime road traffic noise and insomnia. *Sleep*, any 2017. Vol. 40, núm 2

- Mucci, N., Traversini, V., Lorini, C., De Sio, S., Raymond P., G., Bonaccorsi, G., and Arcangeli, G. Urban Noise and Psychological Distress: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*, any 2020. Vol. 17, núm 18, p. 6621.
- Beutel, M. E., Junger, C., Klein, E. M., Wild, P., Lackner, K., Blettner, M., ... & Munzel, T. Noise Annoyance Is Associated with Depression and Anxiety in the General Population-The Contribution of Aircraft Noise. *PLoS ONE*, any 2016. Vol. 11, núm 5.
- Beutel, M. E., Brähler, E., Ernst, M., Klein, E., Reiner, I., Wiltink, J., ... & Tibubos, A. N. Noise annoyance predicts symptoms of depression, anxiety and sleep disturbance 5 years later. Findings from the Gutenberg Health Study. *European journal of public health*, any 2020. Vol. 30, núm 3, p. 487-492.
- Van Kempen, E., Casas, M., Pershagen, G., Foraster M. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary. *Int J Environ Res Public Health*, any 2018. Vol. 15, núm 2, p. 379.
- Foraster, M., Eze, I. C., Vienneau, D., Schaffner, E., Jeong, A., Héritier, H., ... & Probst-Hensch, N. Long-term exposure to transportation noise and its association with adiposity markers and development of obesity. *Environment international*, any 2018. Vol. 121, p. 879-889.
- Wu, S., Du, W., Zhong, X., Lu, J., & Wen, F. The association between road traffic noise and type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Environmental Science and Pollution Research*, any 2023. Vol. 30, p. 39568–39585.
- Lercher, P., Eisenmann, A., Dekoninck, L., Botteldooren D. The relation between disturbed sleep in children and traffic noise exposure in alpine valleys. Conference paper: INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, any 2013. Vol. 247, núm. 3, p. 4586-4593.
- Klätte, M., Spilski, J., Mayerl, J., Möhler, U., Lachmann, T., & Bergström, K. Effects of aircraft noise on reading and quality of life in primary school children in Germany: Results from the NORAH study. *Environment and Behavior*, any 2017. Vol. 49, núm 4, p. 390-424.
- Foraster, M., Esnaola, M., López-Vicente, M., Rivas, I., Álvarez-Pedrerol, M., Persavento, C., Sebastian-Galles, N., Pujol, J., Dadvand, P., Sunyer, J. Exposure

- to road traffic noise and cognitive development in schoolchildren in Barcelona, Spain: A population-based cohort study. *PLoS Med*, any 2022. Vol. 19, núm 6.
- Clark, C., Paunovic, K. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Quality of Life, Wellbeing and Mental Health. *Int J Environ Res Public Health*, any 2018. Vol. 15, núm 11, p. 2400.
  - González, Y., Fernández, Y. Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares. *Rev Cubana Hig Epidemiol*, any 2014. Vol. 52, núm 3.
  - Zamora, W., Cano, J., Tavares, C., Manzoni, P. Avaluació del soroll ambiental utilitzant telèfons intel·ligents. Conference paper: Jornades SARTECO, any 2017.
  - Kardous, C.A., Shaw, P.B. Evaluation of smartphone sound measurement applications. *The Journal of the Acoustical Society of America*, any 2014. Vol. 135, núm 4, p. EL186-E492.
  - Nast, D., Speer, W., and Le Prell, C. Sound level measurements using smartphone apps: Useful or inaccurate? *Noise and Health*, any 2014. Vol. 16, núm 4, p. 251-256.
  - Kardous, C.A., Shaw, P.B. Evaluation of smartphone sound measurement applications (apps) using external microphones follow-up study. *The Journal of the Acoustical Society of America*, any 2016. Vol. 140, núm 4, p. EL327-EL333.
  - Aumond, P., Lavandier, C., Ribeiro, C., Gonzalez Boix, E., Kambona, K., D'Hondt, E., Delaitre, P. A study of the accuracy of mobile technology for measuring urban noise pollution in large scale participatory sensing campaigns. *Elsevier*, any 2017. Vol. 117, Part B, p. 219-226.
  - Lefevre, B., Issarny, V. Matching Technological & Societal Innovations: The Social Design of a Mobile Collaborative App for Urban Noise Monitoring. *Conferencia internacional IEEE sobre informàtica intel·ligent (SMARTCOMP)*, any 2018. P. 33-40.
  - McLennon, T., Patel, S., Behar, A., Abdoli-Eramaki, M. Evaluation of smartphone sound level meter applications as a reliable tool for noise monitoring. *J Occup Environ Hyg*, any 2019. Vol. 16, núm. 9, p. 620-627.
  - Serpanos C, Y., Renne, B., R Schoepflin, J., Davis, D. The Accuracy of Smartphone Sound Level Meter Applications With and Without Calibration. *Am J Speech Lang Pathol*, any 2018. Vol 21;27, núm. 4, p.1319-1328.

## 11. FIGURES

**Fig.1:**<http://sonidoclave-sonidoclave.blogspot.com/2010/03/produccion-de-una-onda-sonora.html>

**Fig.2:**  
<http://jrtreballfiq.blogspot.com/p/tipus-dones.html>

**Fig.3:** <https://tfgonline.es/principio-de-huygens/>

**Fig.4:**  
<https://docplayer.es/71965640-Unidad-1-naturaleza-y-propagacion-de-la-luz.html>

**Fig.5:**  
<https://www.jananguita.cat/augmentar-la-nostra-frequecia-vibratoria>

**Fig.6:**  
<https://www.jananguita.cat/augmentar-la-nostra-frequecia-vibratoria>

**Fig.7:**  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Onda\\_sonora#/media/Archivo:Frecuencia\\_de\\_la\\_onda\\_sonora.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Onda_sonora#/media/Archivo:Frecuencia_de_la_onda_sonora.png)

**Fig.8:**  
<https://www.mundomicroscopio.com/longitud-de-onda/>

**Fig.9:**  
<https://lidiakonlaquimica.files.wordpress.com/2016/03/hojas-de-trabajo-ondas3.pdf>

**Fig.10:**  
<https://aulavirtualconalepzamora.blogspot.com/p/afeo-uni1-ondas.html>

**Fig.11:**  
<https://aulavirtualconalepzamora.blogspot.com/p/afeo-uni1-ondas.html>

**Fig.12:**  
<https://aulavirtualconalepzamora.blogspot.com/p/afeo-uni1-ondas.html>

**Fig.24:** Imatges pròpies

**Fig.25:** App *SLA Lite*

**Fig.26:** Gràfics propis

**Fig.27:** App *SLA Lite*

**Fig.28:** Gràfics propis

**Fig.29:** App *SLA Lite*

**Fig.30:** Gràfics propis

**Fig.31:** App *SLA Lite*

**Fig.32:** Gràfics propis

**Fig.33:** App *SLA Lite*

**Fig.34:** Gràfics propis

**Fig.35:** Gràfic propi

**Fig.36:** Gràfic propi

**Fig.37:** Gràfic propi

**Fig.38:** Gràfic propi

**Fig.39:** Gràfic propi

**Fig.40:** Gràfic propi

**Fig.41:** Institut Francesc Macià

**Fig.42:** Gràfic propi

**Fig.43:** Gràfics propis

**Fig.44:** Gràfic propi

**Fig.45:** Gràfic propi

**Fig.46:** Gràfic propi

**Fig.47:** Gràfic propi

**Fig.48:** Gràfic propi

**Fig.49:** Gràfics propis

**Fig.50:** Gràfics propis

**Fig.51:** Gràfic propi

**Fig.52:** Sonòmetre PCE-999

**Fig.53:** Sonòmetre YF-20

**Fig.54:** Aplicació *Sonòmetre*

**Fig.55:** Aplicació *Sound Meter*

**Fig.13:**

<https://es.tiching.com/superposicio-d-39-ones-i-ones-estacionaries/recurso-educativo/750399>

**Fig.14:**

<https://luciadiamusica.jimdofree.com/inicio/1%C2%BA-e-s-o-m%C3%BAsica/tema-1/>

**Fig.15:** Serra i Estrada, Salvador; Armengol i Solé, Montserrat; Mercadé i Capellades, Joan M. *Física 2n Batxillerat*. McGraw-Hill Education, 2018. ISBN: 978-84-486-1407-2

**Fig.16:**

<https://www.cornella.cat/ca/media/cornella-natura/natura/mapacontaminacioacustica.jpg>

**Fig.17:**

<https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+exposici%C3%B3n+al+ruido/96a86542-1ac3-42c1-9df2-8c385c67db60>

**Fig.18:**

<https://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42992-43045.pdf>

**Fig.19:** Gràfic propi

**Fig.20:** Gràfic propi

**Fig.21:** Imatge pròpia

**Fig.22:** Imatge pròpia

**Fig.23:**

[https://www.ecured.cu/Cornell%C3%A1\\_de\\_Llobregat#/media/File:Mapa-de-cornella-de-llobregat-4.jpg](https://www.ecured.cu/Cornell%C3%A1_de_Llobregat#/media/File:Mapa-de-cornella-de-llobregat-4.jpg)

**Fig.56:** Aplicació *Decibel X - Pro Sound Meter*

**Fig.57:** Aplicació *Sound Meter Decibel*

**Fig.58:** Aplicació *SLA Lite*

**Fig.59:** Aplicació *NIOSH*

**Fig.60:**

[https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/atmosfera/contaminacio\\_acustica/gestio\\_ambiental\\_del\\_soroll/mapes\\_de\\_soroll/mapes\\_estrategics\\_de\\_soroll/mapes\\_d\\_aglomeracions/mapes\\_estrategics\\_aglomeracions\\_3a\\_fase/Memoria-MES-F3-BLLI-cat.pdf](https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_acustica/gestio_ambiental_del_soroll/mapes_de_soroll/mapes_estrategics_de_soroll/mapes_d_aglomeracions/mapes_estrategics_aglomeracions_3a_fase/Memoria-MES-F3-BLLI-cat.pdf)

**Fig.61:**

[https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/atmosfera/contaminacio\\_acustica/gestio\\_ambiental\\_del\\_soroll/mapes\\_de\\_soroll/mapes\\_estrategics\\_de\\_soroll/mapes\\_d\\_aglomeracions/mapes\\_estrategics\\_aglomeracions\\_3a\\_fase/Memoria-MES-F3-BLLI-cat.pdf](https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_acustica/gestio_ambiental_del_soroll/mapes_de_soroll/mapes_estrategics_de_soroll/mapes_d_aglomeracions/mapes_estrategics_aglomeracions_3a_fase/Memoria-MES-F3-BLLI-cat.pdf)

**Fig.62:**

[https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/atmosfera/contaminacio\\_acustica/gestio\\_ambiental\\_del\\_soroll/mapes\\_de\\_soroll/mapes\\_estrategics\\_de\\_soroll/mapes\\_d\\_aglomeracions/mapes\\_estrategics\\_aglomeracions\\_3a\\_fase/Memoria-MES-F3-BLLI-cat.pdf](https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_acustica/gestio_ambiental_del_soroll/mapes_de_soroll/mapes_estrategics_de_soroll/mapes_d_aglomeracions/mapes_estrategics_aglomeracions_3a_fase/Memoria-MES-F3-BLLI-cat.pdf)

## ANNEXOS

### ANNEX 1: EQUIPS DE MESURA EMPRATS A LA PRÀCTICA. DESCRIPCIÓ I ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES

#### Sonòmetre professional PCE-999

Per a realitzar les mesures s'ha utilitzat l'indicador de nivell de so professional PCE-999 amb número de referència 130113903, que compleix amb les normes i estàndards habituals (IEC651 Tipus 2, ANSI S1.4 Tipus 2). Correspon a un sonòmetre tipus 2, que garanteix un alt grau de precisió (d'aproximadament  $\pm 1,5$  dB) i que, per tant, és apte per prendre mesures tant en interiors com en exteriors. L'equip està calibrat en data 06/05/2021. Les especificacions tècniques es detallen a la següent taula:

|                    |  |
|--------------------|--|
| Rang de freqüència | De 31,5 Hz a 8 KHz   |
| Rang de mesura     | De 30 a 100 dB (LOW) i de 60 a 130 dB (HIGH)   |
| Valoració temporal | SLOW, (lenta) 1 s: per a la mesura del nivell mitjà en valors de medicació amb forts canvis<br>FAST, (ràpida) 125 ms: per a mesuraments normals i determinació del pic sonor |
| Valoració          | A (mesures generals) i C (mesures en rang de freqüència baix)  |
| Precisió           | $\pm 1,5$ dB amb les condicions de referència a 94 dB i 1 KHz  |
| Funcions           | Valor MAX / Hold que manté el valor major  |
| Supressor de vent  | Disponible   |

**Taula 11:** Especificacions tècniques del sonòmetre professional PCE-999



Fig.52: Sonòmetre PCE-999

### Sonòmetre YF-20

El sonòmetre YF-20, amb un visor analògic de fàcil lectura, és adequat per verificar els nivells de so en qualsevol entorn i proporciona la resposta ponderada "A". Consta de dues escales per a una major precisió: una de 40 dB a 80 dB (LOW) i una altra de 80 dB a 120 dB (HIGH).



Fig.53: Sonòmetre YF-20

### Aplicació *Sonòmetre* per a telèfon mòbil Android

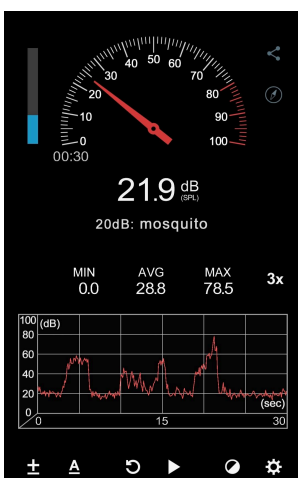
L'aplicació *Sonòmetre* compta amb les característiques d'un mesurador de decibels professional. L'aplicació utilitza el micròfon del dispositiu per mesurar la intensitat del so i mostrar-la en decibels. Recull els valors mínims, màxims i mitjana (AVG). Els valors mesurats es mostren visualment en un gràfic i per avaluar si el nivell de soroll és perjudicial consta d'una taula de referència de soroll. A partir de 70 decibels la pantalla de l'aplicació canvia de color per indicar quan s'arriba a un determinat llindar que comença a ser nociu per a la salut. A més a més, l'aplicació fa un historial on es guarden totes les mesures.



**Fig.54:** Pantalla de mesura de l'aplicació *Sonòmetre*

### **Aplicació *Sound Meter* per a telèfon mòbil Android**

Aquesta aplicació inclou un manòmetre que mostra els decibels detectats en temps real i registra una gràfica amb els punts alts i baixos de soroll. Com l'anterior aplicació, mostra els valors mínims, màxims i mitjana (AVG). Cal destacar que els valors màxims estan limitats pel dispositiu. Els sons molt forts (més de 90 dB) poden no ser reconeguts, atès que els micròfons de la majoria dels dispositius Android estan alineats amb la veu humana. Addicionalment, inclou una llista amb diferents situacions on hi ha diferents nivells de so que es poden assemblar a la mesurada, però no compta amb un historial de mesures. Aquesta aplicació permet calibrar el sensor.



**Fig.55:** Pantalla de mesura de l'aplicació *Sound Meter*



## **Aplicació *Decibel X - Pro Sound Meter* per a telèfon mòbil Android**

*Decibel X - Pro Sound Meter* es calibra per a la majoria dels dispositius i admet ponderacions de freqüència: ITU-R 468, A, B, C i Z. Mesura el nivell de pressió acústica (SPL) com un mesurador de nivell de so professional i consta d'un analitzador d'espectre, el qual mostra la freqüència predominant en temps real. Les dades d'enregistrament es poden desar en una llista de registres d'historial per a l'accés i l'anàlisi futura. Cada registre es pot visualitzar en mode de pantalla completa per donar una visió general de l'historial complet d'un registre i a més a més existeix la possibilitat d'exportació com a gràfic PNG.

A continuació es resumeixen en una taula les característiques i especificacions tècniques de *Decibel X*:

|  |  |
|--|--|
| Ponderacions de temps estàndard (temps de resposta)                      | LENT (500 mil·lisegons), RÀPID (200 mil·lisegons) i IMPULS (50 mil·lisegons) |
| Calibració de retallades   | De -50 dB a 50 dB  |
| Interval de mesura estàndard   | Des de 30 dB(A) fins a 130 dB(A)   |
| Gràfic de nivells d'escala en temps real                                 | -  |
| Mostra els valors actuals, mitjans/leq i màxims                          | -  |
| Text de referència ràpid per comparar amb exemples de la vida real       | -  |
| Opció "Mantenir el dispositiu despert" per a gravacions de llarga durada | -  |
| Restableix i esborra l'enregistrament actual en qualsevol moment         | -  |
| Pausa/reprèn en qualsevol moment   | -  |

**Taula 12:** Especificacions tècniques de l'aplicació per a mòbil *Decibel X - Pro Sound Meter*

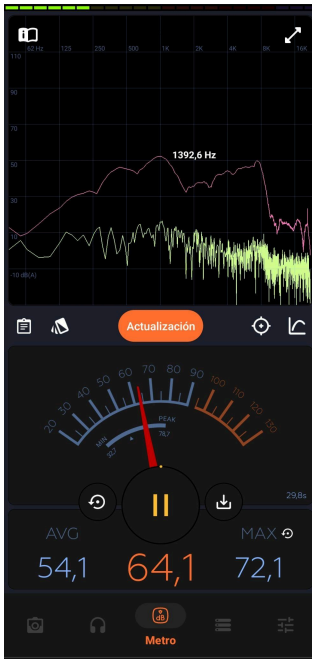


Fig.56: Pantalla de mesura de l'aplicació *Decibel X - Pro Sound Meter*

### Aplicació *Sound Meter Decibel* per a telèfon mòbil Android

*Sound Meter Decibel* és un mesurador de pressió acústica que permet determinar el nivell de soroll ambiental. Cada registre és mostrat gràficament i sota la gràfica s'indiquen els valors mínims, màxims i mitjana (AVG). Conté una llista de 10 dB a 120 dB, on cada 10 dB hi ha l'exemple d'una situació que s'adequa al nivell de so especificat. A l'aplicació hi figura un historial de mesures i pot ser calibrada.



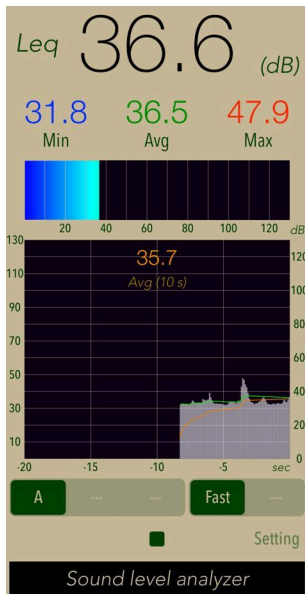
Fig.57: Pantalla de mesura de l'aplicació *Sound Meter Decibel*

## Aplicació SLA Lite per a telèfon mòbil iPhone

*Sound Level Analyzer* és un mesurador de nivell de so que pot emprar-se amb diferents finalitats: mesura del soroll ambiental, so en viu, instal·lació d'equip d'àudio, sintonització de l'equip d'àudio, acústica arquitectònica, emissió i gestió de dispositius. També té la funció de calibratge per ajustar el nivell del micròfon per a cada dispositiu. Tot seguit es mostren a la següent taula les seves característiques més rellevants:

| <b>Funció de medició</b>   | <b>Funció de control</b>   |
|--|--|
| Main (Leq): Medició de nivell de so (visualització en temps real)  |  |
| Mesurament de nivell de so (dB): Leq (nivell de soroll equivalent), Min (valor mínim), Max (valor màxim), Avg (nivell de soroll equivalent promig en el temps)       | Funció de calibració: ajustament del valor de correcció de nivell, -20 a +20 dB                                  |
| Característiques de correcció de la ponderació de la freqüència: A (per al mesurador de nivell de soroll), C (per a la medició de nivell de so), Z (sense correcció) | Funció del temporitzador de medició: 1 minut / 5 minuts / 10 minuts / 15 minuts / 20 minuts / 30 minuts / 1 hora |
| Característiques de la ponderació del temps: Ràpid = 0,125 seg., Lent = 1,0 seg.   | Guardar la pantalla de medició amb la marca de temps   |
| Power Spectrum (P.S.): Vista de l'anàlisi de l'espectre de freqüències (visualització en temps real)   |  |
| Funció d'analitzador d'espectre: Anàlisi FFT, anàlisi de resposta de banda d'1/3 d'octava.   |  |
| Ajustaments del rang de freqüència FFT:<br>100 Hz - 20 kHz (FFT tot) / 100 Hz - 3 kHz / 3 k - 6 kHz  |  |

**Taula 13:** Especificacions tècniques de l'aplicació per a mòbil *SLA Lite*



**Fig.58:** Pantalla de mesura de l'aplicació *SLA Lite*

### **Aplicació *NIOSH* per a telèfon mòbil iPhone**

L'aplicació *NIOSH* combina les millors funcions dels mesuradors professionals de so i dels dosímetres de soroll. Va ser desenvolupada per enginyers acústics experimentats i per experts en pèrdua auditiva. Ha estat provada i validada (precisió de  $\pm 2$  dBA) en una cambra reverberant al laboratori d'acústica de *NIOSH*, per la qual cosa constitueix una font fiable i experiència de classe mundial a investigació de soroll i audició. Compleix els requisits de la norma IEC 61672:3 classe 2 per a sonòmetres quan se la fa servir amb un micròfon extern. Ofereix mitjanes com el LAeq i el TWA, els nivells màxim i pic, i la dosi de soroll i dosi projectada, d'acord amb les normes de *NIOSH* i l'*OSHA*, i les tres principals xarxes de ponderació (A, C i Z). Té la capacitat de calibrar tant el micròfon incorporat com l'extern i es poden reportar i compartir dades. A més a més, té pantalles informatives actualitzades sobre quins sorolls es consideren nocius per a la salut, sobre com fer un mesurament de soroll, sobre com seleccionar correctament un protector auditiu i proporciona directrius per prevenir la pèrdua auditiva. Darrere de l'aplicació hi ha suport tècnic directe d'experts en audició de *NIOSH*.

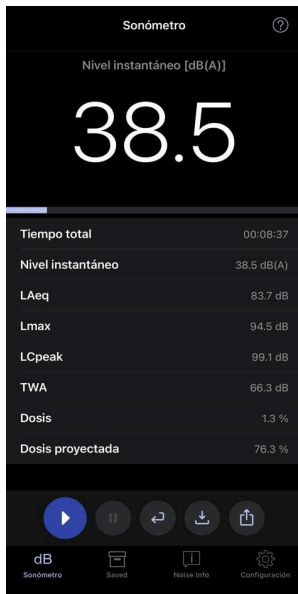


Fig.59: Pantalla de mesura de l'aplicació NIOSH

## **ANNEX 2: MAPA ESTRATÈGIC PER A L'AGLOMERACIÓ DEL BAIX LLOBREGAT (FASE 2017-2022)**

Les dades que es presenten a continuació són extretes directament de l'últim mapa estratègic de soroll publicat per a l'aglomeració del Baix Llobregat I (Fase 3, 2017-2022), versió 1, novembre 2020. La informació ha estat elaborada pels ajuntaments que constitueixen aquesta aglomeració i tramesa a la Direcció General de Qualitat Ambiental i Canvi Climàtic del Departament de Territori i Sostenibilitat, per a la seva agrupació. S'ha fet d'acord amb la metodologia que es detalla a continuació.

S'han realitzat mesures de 24 hores o de llarga durada i mesuraments de 15 minuts o de curta durada (mostreig puntual). Per tal que les mesures puguin ser representatives del total de carrers de la zona d'aglomeració, la ubicació i el nombre de punts de mesura ha atès a variables com la tipologia de la trama urbana (artèries principals de la ciutat, carrers de distribució, carrers secundaris...), les densitats de població en diferents zones de la ciutat i els possibles usos (residencials, comercials, educatius, zones d'oci, etc.).

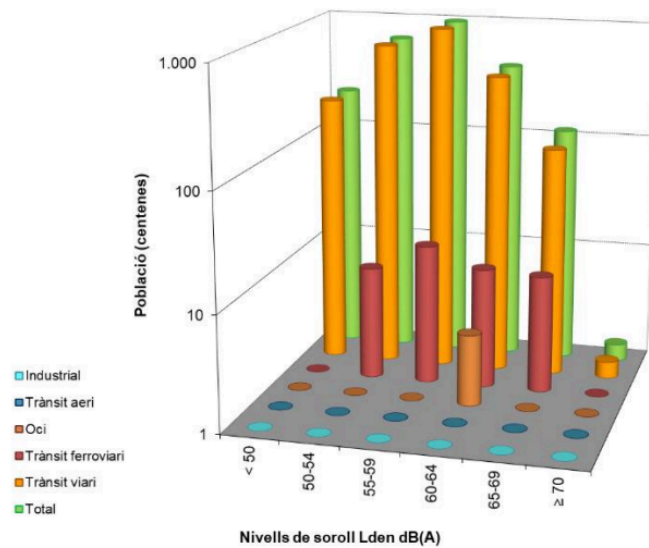
Les mesures de curta durada han estat dutes a terme en dies i horaris representatius del nivell mitjà anual en horari diürn, mentre que les mesures de llarga durada han permès extreure dades del nivell sonor mitjà anual nocturn a partir dels resultats diürns.

A més a més, es van fer mesures addicionals en zones de presència de fonts de soroll afegides com les provinents de tràfic, trànsit ferroviari, aeri, fonts de tipus industrial o fonts d'oci. Amb dades de la població del padró municipal el 2019, s'obtenen els percentatges de població afectada a diferents rangs del nivell de soroll als indicadors Ld, Ln i Lden.

La síntesi d'aquest mapa estratègic posa de manifest la situació existent i conclou que la major part de la població, el 77,9% es troba per sota dels 65 dB(A) per al paràmetre Lden, la resta, el 22%, es troben per sobre.

La principal font de soroll és el tràfic. Afecta a tota la població, amb un percentatge del 95,3% de la població per sota de 65 dB(A) i només un 4,7% igual o per sobre dels 65 dB(A). El soroll a causa d'infraestructures ferroviàries està present a Cornellà a conseqüència de la línia de FFCC de rodalia R1/R4, no existeix afectació

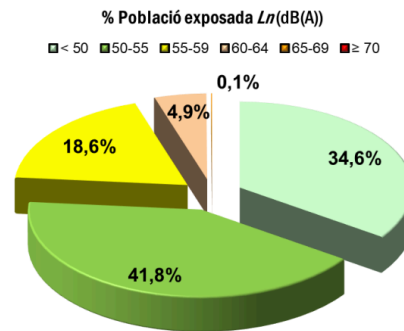
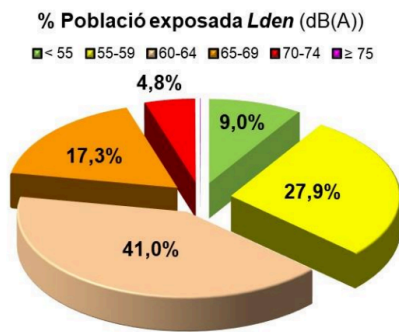
a causa d'infraestructures aèries i, el soroll d'origen industrial i d'oci no és tan significativa en comparació a la resta.



**Fig.60:** Població exposada en funció de la tipologia de la font

Per a l'índex Ln, es recull que el 34,6% de la població està per sota de 55 dB(A), del 65,4% restant, la gran majoria, un 41,8%, es troba en nivells compresos entre 55 i 59 dB(A), i un 23,6% per sobre dels 60 dB(A). En horari nocturn, el 77,8% de la població es troba per sota dels 55 dB(A) referent al soroll pel tràfic rodat, la resta estan sotmesos a més de 55 dB(A).

En resum, només el 15,1% de la població es troba per sota de 55 dB(A) durant el període diürn, en canvi, a la nit ho fa el 76,4%. La franja de població en nivells nocius per sobre dels 65 dB(A) és d'un 14,2% per a l'índex Ld, i tan sols d'un 0,1% per a l'índex Ln. Finalment, considerant l'índex Lden, la població es veu més afectada pel soroll en període diürn que en el nocturn.



**Fig.61:** Percentatge de població exposada a l'índex Lden

**Fig.62:** Població exposada % Ln dB(A)

Totes les dades esmentades fan referència a l'aglomeració de cinc municipis, tot i això, el pla estratègic descrit és una bona referència per a la pràctica que es portarà a terme de mesura del soroll a Cornellà, tant pel que fa a la metodologia utilitzada en aquest mapa estratègic, com per conèixer la situació existent prèviament dels nivells sonors a la ciutat.

### ANNEX 3: MANUAL DE MESURAMENT I AVALUACIÓ DEL SOROLL

No és el mateix mesurar i avaluar el soroll procedent d'activitats que mesurar i avaluar el soroll del trànsit. En els annexos tècnics dels textos legislatius s'incorpora la metodologia de mesurament i avaluació del soroll, però la realitat és complexa. Estem exposats a tan gran diversitat de fonts que generen soroll, els escenaris poden ser tan diferents, que apareixen molts dubtes a l'hora de treballar amb la norma, tant per fer mesuraments com per fer-ne l'avaluació.

Les guies de gestió i avaluació de l'exposició al soroll estableixen indicacions no obligatòries sobre el procediment. Solen presentar la resolució de casos pràctics que es poden donar a la realitat per facilitar pautes d'aplicació de la normativa. Són guies orientatives.

A continuació es fa una síntesi del Manual de Mesurament i Avaluació del Soroll publicat pel Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, pel que fa al soroll de trànsit, ja que representa el 80% del soroll ambiental, i al soroll d'activitats.



## Soroll de trànsit

Per analitzar el trànsit com una font emissora de soroll es tenen en compte una sèrie d'indicadors:

- Nombre de vehicles pesants que circulen per unitat de temps
- Nombre de vehicles lleugers que circulen per unitat de temps
- Velocitat de circulació
- Pendent de la via
- Tipus de ferm
- Reflexions dels edificis a cada banda de la via

La intensitat mitjana diària de vehicles (IMD) és l'indicador que expressa el trànsit diari d'una via. Es calcula a partir del nombre total de vehicles anual que circula per una via. A partir d'ell es poden definir altres indicadors, el nombre de vehicles pesants o lleugers/hora que circulen durant el dia (Nd), durant la nit (Nd), o en hores punta (Hp).

Aquests índexs seran utilitzats per fer càlculs o prediccions de nivell de soroll a causa del trànsit.

Pel que fa a l'equip, el sonòmetre ha de ser tipus 1 o 2, amb corba de ponderació A, micròfon de camp lliure, pantalla antivent i ha de mesurar directament el nivell  $L_{Aeq}$ . És recomanable que mesuri el  $L_{An}$  i  $L_{Ae}$ .

El paràmetre bàsic que cal mesurar és el  $L_{Aeqt}$  en dB(A) o nivell soroll equivalent continu, i per a una millor visió de l'ambient acústic són interessants els paràmetres estadístics  $L_{An}$ .

Les mesures s'han de fer en condicions representatives de l'indret, en llocs destinats a l'estada regular o perllongada de persones. La mesura en el carrer es farà a determinada distància d'autopistes o vies interurbanes, però en el cas que s'hagi d'avaluar el soroll en aquest entorn es mantindrà una distància de 20 m a 30 m de l'autopista o via. Es recomana col·locar el micròfon a 80 cm de les façanes d'edificis, i evitar situar-lo arran de la vorada, pròxim als vehicles.

Els nivells de soroll es poden determinar amb mesures de llarga o curta durada i amb mètodes de predicció:

- Es considera mostreig de llarga durada aquell de 24 hores o més. Permet conèixer les variacions del nivell de soroll al llarg del temps, reflectint l'evolució en els diferents horaris, dia, nit o hores punta.

- Mostreig de curta durada és aquell d'un temps inferior a 30 minuts. Oscil·la entre 10 minuts per a soroll d'autopistes i 30 minuts per a carrers amb trànsit de menys de 500 vehicles/hora. Els mesuraments de curta durada permeten ponderar els resultats per a períodes de temps superiors utilitzant l'IMD, i així obtenir resultats representatius de soroll global diürn o nocturn.
- Els mètodes de predicció, sense fer mesuraments i amb càlculs fàcils permet conèixer el nivell de soroll d'un carrer en què circulin vehicles pesants de manera hipotètica.

Realitzat el mesurament, l'avaluació del soroll pel trànsit es fa comparant els nivells mesurats amb els estàndards que fixen objectius de qualitat o d'immissió.

### **Soroll d'activitats**

Inclou el soroll originat per activitats comercials, industrials o serveis, subjectes al tràmit de llicència municipal. Les citades activitats són el motiu principal de queixa per soroll quan són contigües a habitatges.

Per determinar el nivell de soroll s'ha de tenir en compte la descripció de l'entorn. Un petit croquis de la planta i alçat pot ajudar a entendre la propagació del so per la via aèria o estructura.

S'ha d'utilitzar un sonòmetre de classe 1 o 2. Els mesuraments es poden fer a l'interior o exterior de l'edifici depenent de la localització de les fonts de soroll. Es tindrà en compte la font de soroll i el tipus de soroll, si és continu, variable, o impulsiu (cop de porta) o de característiques tonals, és a dir, que predomini una freqüència sobre les altres.

Els paràmetres més utilitzats són el LAeq,t en un temps determinat i el Lpa, en dB(A). Es poden complementar els nivells màxims i mínim registrats. Sempre que sigui possible, s'hauria de mesurar el soroll de fons.

Per mesurar sorolls continus és suficient tres lectures d'1 minut cadascuna (Laeq1min) i prendre com a resultat la mitjana arrodonida a 0,5 dB(A) si la diferència entre la màxima i mínima és inferior a 2 dB. Diferències superiors es tracten com a soroll variable. Si el paràmetre és el Lpaf es faran deu lectures, una cada deu segons. El resultat és la mitjana aritmètica arrodonida a 0,5 dB.

Per mesurar sorolls variables, si el paràmetre utilitzat és el Laeq,1min es faran tres lectures d'un minut en un interval de cinc minuts. Es repeteix tres vegades, obtenint nou lectures en total, a partir de les quals es calcula el nivell equivalent global. Si el

paràmetre és el Lpaf es fan mesures cada 10 segons durant 5 minuts. Es repetirà dues o tres vegades més, obtenint un total de 90 lectures. La mitjana aritmètica de les 90 lectures s'arrodoneix sobre 0,5 dB.

Finalment, l'avaluació del soroll d'activitats es fa comparant les mesures amb els nivells màxims admissibles per les ordenances municipals.

### **ANNEX 3: GUIA PER A LA MESURA ACÚSTICA AMB SMARTPHONE DIRIGIDA AL CIUTADÀ:**

[https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/atmosfera/contaminacio\\_acustica/jornades\\_cursos/2015/Guia-rapida-medidas-NOISE-WATCH\\_cast.pdf](https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_acustica/jornades_cursos/2015/Guia-rapida-medidas-NOISE-WATCH_cast.pdf)

### **ANNEX 4: GENERACIÓ D'UN SO PATRÓ PER VERIFICAR LES APLICACIONS:**

<https://www.youtube.com/watch?v=PyD9cMarVJk>