



LA CONTAMINACIÓ ACÚSTICA

ELABORACIÓ D'UN MAPA SÒNIC DE L'INSTITUT

Índex

Índex.....	1
1.Introducció.....	3
2. El so	4
2.1 Característiques del so	5
2.1.1 To i timbre	5
2.1.2 Intensitat	6
2.1.3 Velocitat de propagació.....	9
2.1.4 Fenòmens físics que afecten a la propagació del so	11
2.1.5 Percepció del so.....	13
2.2 Tècniques de l'estudi del so	15
2.2.1 El sonòmetre	15
2.2.2 Els mapes sònics.....	16
3. Contaminació acústica	17
3.1 Efectes sobre la salut de l'ésser humà	17
3.1.1 Efectes fisiològics.....	17
3.1.2 Efectes psicològics	23
3.2 Fonts del soroll	25
4. Legislació sobre el soroll.....	30
4.1 Normativa Europea	30
4.2 Normativa Estatal.....	32
4.3 Normativa Catalana.....	33
4.4 Normativa Municipal (Reus).....	34
5. El soroll en els centres educatius.....	35
5.1 Fonts del soroll	35
5.2 Recomanacions generals.....	36
6. Part experimental.....	37
6.1 Recollida de dades d'intensitat sonora i anàlisi de resultats	37
6.2 Mapa sònic de l'institut	42
7. Conclusions i Recomanacions	45
8.Bibliografia.....	48

9. Annexos.....	51
9.1 Característiques del sonòmetre i consola emprats	51
9.2 Enquestes	56
9.3 Els ultrasons	63
9.4 L'efecte Doppler	64
9.5 Curiositats	66
9.5.1 Per què l'extrem d'un fuet pot superar la velocitat del so?	66
9.5.2 Què passa quan un avió trenca la barrera del so?	66
9.5.3 Per què quan acostem l'orella a un cargol de mar sentim el mar?	66
9.5.4 El tro	67
9.5.5 Ressonància: com trencar copes amb la veu.....	67
9.5.6 Levitació acústica	67

1. Introducció

Sovint el tema de la contaminació interessa. Però quan es pregunta a algú la seva opinió, es refereix només a la contaminació atmosfèrica i a la de les aigües. La contaminació acústica i la lumínica queden en un segon terme, i poca gent les esmenta. Tot i això, d'uns anys ençà es fan més estudis i es regulen millor les lleis per tal de minimitzar aquestes contaminacions, cosa que vol dir que s'han donat compte de la seva importància.

El terme contaminació acústica fa referència al soroll, quan aquest es considera com a un contaminant, és a dir, un so molest que pot produir efectes fisiològics (com la pèrdua d'audició) i psicològics (com la irritabilitat) nocius per a una persona o a un grup de persones. La intensitat del so es mesura en decibels (dB) i els equips de mesura més habituals són els sonòmetres. Una informe de l'Organització Mundial de la Salut (OMS) considera els 50 dB com a límit superior desitjable.

Tècnicament, el soroll és un tipus d'energia secundària dels processos o activitats que es propaga en l'ambient de forma ondulatoria complexa des del focus emissor fins al receptor a una velocitat determinada i disminuint la seva intensitat amb la distància.

La contaminació acústica pertorba les diferents activitats comunitàries, interferint en la comunicació parlada, base de la convivència humana, interferint en el son, el descans i la relaxació, impedit la concentració i l'aprenentatge i, el que és més greu, creant estats de cansament i tensió que poden degenerar en malalties de tipus nerviós i cardiovascular.

Hi ha documentació sobre les molèsties del soroll a les ciutats des de l'antiguitat, però és a partir del segle XIX, com a conseqüència de la Revolució Industrial, del desenvolupament de nous mitjans de transport i del creixement de les ciutats quan comença a aparèixer realment el problema de la contaminació acústica urbana. La causa principal de la contaminació acústica és l'activitat humana: el transport, la construcció d'edificis i obres públiques, la indústria, els serveis de neteja i recollida d'escombraries, sirenes i alarmes, així com les activitats lúdiques i recreatives entre d'altres.

La llei regula la intensitat sonora permesa en diferents àmbits, i la seva implantació millora la nostra qualitat de vida.

Per sort cada dia es pren més consciència de la importància d'estar en un ambient amb poc soroll ambiental. En aquest sentit ha ajudat la difusió de resultats d'estudis sonors fets en diferents situacions, impulsant els esforços (de manera personal i social) per reduir les fonts de soroll. Un treball de recerca com aquest contribueix a aquest fi.

En el treball de recerca em proposo fer dues parts:

La primera part, una part teòrica, per tal de comprendre (i fer comprendre a qui el llegeixi) el contingut del treball.

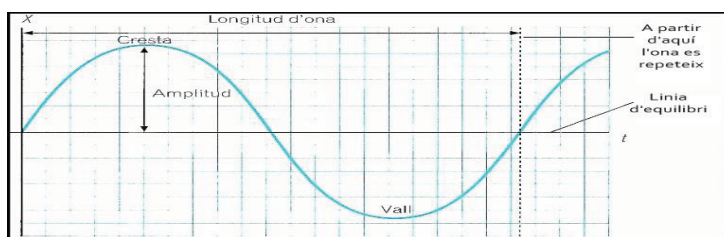
La segona part, una part experimental, consistent en elaborar un mapa sònic del meu institut a partir de la recollida de dades del nivell d'intensitat sonora en dB (amb l'ajut d'un sonòmetre connectat a una consola enregistradora) en diferents punts del Centre i en determinats períodes de temps. L'anàlisi dels resultats obtinguts permetrà fer un estudi de la possible contaminació acústica en determinats espais i en determinades franges horàries, per tal de fer més fàcil la cerca de solucions (i, per tant, plantejar les recomanacions necessàries per reduir aquesta contaminació) en conèixer el focus del problema.

2. El so

El so és una successió de canvis de pressió (compressions i dilatacions) en un medi (sòlid, líquid o gas), provocats per una vibració que s'hi transmet en forma d'ones sonores. Aquesta vibració provoca alteracions mecàniques a les partícules del medi creant canvis de pressió que es propaguen en totes direccions a partir del punt on hi ha la vibració.

A diferència de l'energia calorífica o lluminosa, que poden viatjar a través del buit, el so necessita un medi material per a transmetre's.

Com qualsevol moviment ondulatori, el so es pot representar com una suma de corbes sinusoidals, que es caracteritzen per tenir una:



FREQÜÈNCIA (f): La freqüència mesura el nombre d'oscil·lacions completes per unitat de temps. La seva unitat és el Hertz (Hz) o (s^{-1}) en el SI.

LONGITUD D'ONA (λ): És la longitud que existeix entre una ona i la següent (entre dos punts anàlegs consecutius). Es mesura en metres en el SI, però sovint s'usen submúltiples del metre.

PERÍODE (T): És el temps que tarda en passar una longitud d'ona. Es mesura en segons en el SI.

AMPLITUD (A): És l'altura de l'ona. Es mesura en metres en el SI, però sovint s'usen submúltiples seus.

2.1 Característiques del so

2.1.1 To i timbre

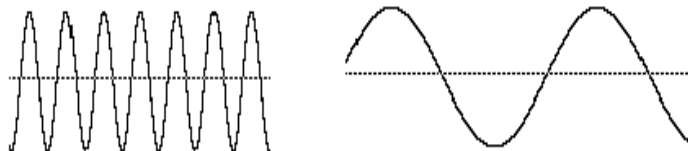
La oïda humana no registra totes les freqüències, necessita una variació de pressió mínima (llindar d'audició) per percebre el so. No percebem sons emesos de freqüències menors a 20 Hz o majors a 20.000 Hz. Els inferiors a 20 Hertz s'anomenen infrasons, i els superiors a 20.000 Hertz s'anomenen ultrasons.

A) EL TO

El to d'un so depèn únicament de la vibració i la freqüència de l'ona sonora, és a dir, del nombre d'oscil·lacions per segon. L'altura d'un so correspon a la nostra percepció del mateix com més greu o més agut. Quan major sigui la freqüència, hi haurà una tonalitat o to major.

Dins del rang de freqüències audibles pels humans podem distingir tres regions:

- Freqüències baixes (entre 20 i 400 Hz), que corresponen al sons més greus i són vibracions lentes.
- Freqüències mitjanes (entre 400 i 1.600 Hz).
- Freqüències altes (entre 1.600 i 20.000 Hz), que corresponen als sons més aguts i són unes vibracions molt ràpides.



So agut (de 1.600 a 2.000 Hz) So greu (de 20 a 400 Hz)

És molt difícil trobar un so que estigui compost només per una sola freqüència, normalment el so és la suma de diferents freqüències. El to d'un so doncs, ve determinat per la freqüència de la vibració fonamental o primer harmònic, també anomenada to objectiu del so.

El to juga un paper fonamental en la melodia: aquesta correspon a un so compost per una successió de tons d'una determinada duració i amb una determinada velocitat que resulta agradable per l'oïda humana.

Quan es fa una mescla de sons amb tons diferents i simultanis es produeix una harmonia: si la mescla la formen sons de freqüències fonamentals que guarden una relació numèrica senzilla, l'harmonia serà agradable i rep el nom de *consonància*; en cas contrari formen el que s'anomena una *dissonància*.

B) EL TIMBRE

Malgrat tenir el mateix to, sonoritat, potència i duració, dos sons no tenen perquè ser idèntics. La seva diferència està en el timbre.

El timbre és una qualitat subjectiva del so, que serveix per distingir sons que tenen la mateixa intensitat i el mateix to però que tenen una ona de diferent forma, o sigui, de diferent evolució temporal. Ens permet diferenciar, per exemple, una mateixa nota musical feta per dos instruments diferents, o les veus de dues persones. En tot cas, es podria afirmar que el timbre és una característica pròpia de cada so, d'alguna manera identificadora de la font sonora que el produeix.

Dos sons emesos per focus diferents poden tenir la mateixa ona fonamental però les seves ones complementàries (o harmònics) són diferents. Els harmònics són una sèrie de vibracions subsidiàries que acompanyen a una vibració primària o fonamental del moviment ondulatori (especialment en els instruments musicals).

Quan un cos vibra ho pot fer produint un moviment harmònic simple. És a dir, un moviment que es pot expressar en funció del temps amb una funció sinusoidal ($g(t)=A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$), on f representa la freqüència del so, A la seva amplitud i $g(t)$ l'elongació vibratòria en funció del temps. Aquest és el cas del diapasó, una petita forqueta de dues puntes utilitzada pels músics per obtenir, en ser colpejada, un to fix, amb el qual s'afinen els instruments. Produeix un so pur, quasi sense harmònics, que no varia amb canvis de temperatura.

Normalment, en fer vibrar un cos, no obtenim un so pur, sinó un so compost de sons de diferents freqüències (harmònics). La freqüència dels harmònics, sempre és un múltiple de la freqüència més baixa anomenada freqüència fonamental o primer harmònic. La resta de les freqüències tenen menys intensitat i es perceben com a foses amb la freqüència d'ona fonamental.

2.1.2 Intensitat

La intensitat sonora està relacionada amb l'amplitud d'ona sonora i amb la quantitat d'energia transportada.

L'amplitud d'una ona de so és el grau de moviment de les molècules d'aire en l'ona, que correspon a la intensitat d'expansió i compressió que l'acompanyi. Com més gran és l'amplitud de l'ona, més intensament colpegen les molècules el timpà i més fort és el so percebut. L'amplitud d'una ona de so pot expressar-se en unitats absolutes mesurant la distància de desplaçament de les molècules de l'aire, o la diferència de pressions entre la compressió i la expansió, o l'energia transportada.

La intensitat sonora es defineix com la quantitat d'energia sonora (potència acústica) que travessa per segon una superfície. La intensitat depèn de l'amplitud de l'ona, perquè quant major sigui l'amplitud de l'ona, major és la quantitat d'energia (potència acústica) que genera i, per tant, major és la intensitat del so. La intensitat del so que es percep subjectivament és el que es denomina *sonoritat* i permet ordenar els sons en una escala del més fort al més dèbil. La intensitat sonora disminueix amb la distància de la font. Disminueix 6dB cada vegada que es duplica la distància a què es troba la font sonora.

Factors que determinen la intensitat del so

1. La intensitat d'un so depèn de la amplitud del moviment vibratori de la font que el produeix: com major sigui la amplitud de l'ona, major serà la quantitat d'energia que genera i, per tant, major serà la intensitat del so.
2. També depèn de la superfície de la font sonora. El so produït per un diapasó es reforça quan aquest es col·loca sobre una taula o sobre una caixa de parets primes que entren en vibració. L'augment de l'amplitud de la font i el de la superfície vibrant fan que augmenti simultàniament l'energia cinètica de la massa d'aire que està en contacte amb ella; aquesta energia cinètica augmenta, en efecte, amb la massa d'aire que es posa en vibració i amb la seva velocitat mitjana.
3. La intensitat de percepció d'un so per l'oïda depèn també de la seva distància a la font sonora. L'energia vibratòria emesa per la font es distribueix uniformement en ones esfèriques. L'energia que rep l'oïda és, per tant, una fracció de l'energia total emesa per la font, per tant, és menor quant més allunyat està l'oïda.
4. Finalment, la intensitat depèn també de la naturalesa del medi elàstic interposat entre la font i l'oïda. Els medis no elàstics, com la llana, el feltre, etc., debiliten considerablement els sons.

Si parlem d'intensitat, hem d'anomenar diferents conceptes que venen implícits en aquest terme:

- **Potència sonora:** La potència acústica és la quantitat d'energia radiada per una font determinada en un temps determinat. Es mesura en watts (W).

La potència acústica ve determinada per la pròpia amplitud de l'ona, perquè quant major sigui l'amplitud de l'ona, major és la quantitat d'energia que genera. I també és un valor intrínsec de la font i no depèn del local on es troba, és a dir, el valor no canvia per estar en un local reverberant o en un sec.

- **Pressió sonora:** Quan es produeix un so, la pressió de l'aire que ens rodeja canvia lleugerament segons avança l'ona de propagació, augmentant i disminuint en petites fraccions de segon. Aquesta diferència instantània de pressió deguda a l'ona sonora és la pressió sonora. Es mesura en pascals (Pa).

- **Intensitat sonora:** es defineix com la quantitat d'energia que travessa durant un segon la unitat de superfície situada perpendicularment a la direcció de propagació de la ona sonora. Les seves unitats en el S.I són el W/m^2 .

La pressió sonora o acústica és producte de la pròpia propagació del so. L'energia provocada per les ones sonores genera un moviment ondulatori de les partícules de l'aire, provocant la variació alterna en la pressió estàtica de l'aire. La raó d'aquestes variacions de pressió atmosfèrica és que es produeixen àrees on es concentren aquestes partícules (zones de concentració) i altres àrees queden menys saturades (zones de rarefacció). Les zones amb major concentració de molècules tenen major densitat i les zones de menor concentració tenen menor densitat. Quan aquestes ones es troben al seu camí amb l'oïda, la pressió que exerceixen sobre el mateix no és igual per a tota la longitud d'ona.

Així doncs, la pressió acústica queda definida com la diferència de pressió instantània (quan l'ona sonora arriba a l'oïda) i la pressió atmosfèrica estàtica. Es mesura en Pascals (Pa), però sovint s'empren submúltiples (el micropascal, μPa).

L'oïda humana comença a sentir variacions de pressió molt dèbils (de $20 \mu Pa$ o 0 dB, que és el llindar d'audició), i el seu màxim arribant és de $10^8 \mu Pa$ o 134 dB (llindar de dolor).

S'escull una escala logarítmica per determinar el nivell de pressió sonora (N_p): la unitat en que s'expressa el nivell de pressió sonora s'anomena decibel¹ (dB), de manera que 0 decibels equivalen a $20 \mu Pa$.

$$N_{PS} = 20 \log_{10} \frac{P_1}{P_0}$$

on P_1 és la pressió del so a estudiar, i P_0 és el valor de referència, igual a $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (llindar d'audició a l'aire)

S'utilitza una escala logarítmica perquè la sensibilitat que presenta l'oïda humana a les variacions d'intensitat sonora segueix una escala aproximadament logarítmica, no lineal. Per això el bel (B) y el seu submúltiple el decibel (dB), resulten adequats per valorar la percepció dels sons per un oient. Es defineix com la comparació o relació entre dos sons perquè en els estudis sobre acústica fisiològica s'ha vist que un oient, al que se li fa escoltar un sol so, no pot donar una indicació fiable de la seva intensitat, mentre que, si se li fan escoltar dos sons diferents, és capaç de distingir la diferència d'intensitat.

¹Com el seu nom indica el decibel és la desena part del Bel. El Bel (en honor a l'inventor del telèfon, Alexander Graham Bell) és el logaritme en base 10 de la relació de dues potències, pressions o intensitats. No és una mesura absoluta i no té unitats físiques.

Com que el decibel és una unitat relativa, per a les aplicacions acústiques, s'ha agafat per conveni, un llindar d'audició de 0 dB equivalent a un so amb una pressió de 20 μPa , més o menys com un augment de la pressió atmosfèrica normal de 1/5.000.000.000. Tot i això, el veritable llindar d'audició varia entre diferents persones i dins de la mateixa persona, per a diferents freqüències. Es considera el llindar del dolor per un humà a partir dels 140 dB.

Normalment una diferència de 3 decibels és la mínima diferència apreciable per una oïda humana sana.

De la mateixa manera també es pot definir el nivell d'intensitat sonora (N_I), expressada mitjançant l'expressió:

$$N_I = 10 \log_{10} \frac{I_1}{I_0}$$

on I_1 és la intensitat del so a estudiar, i I_0 és la intensitat mínima igual a 10^{-12} W/m^2 .

És a dir, el nivell d'intensitat objectiva i el nivell de pressió sonora venen donats (aproximadament) pel mateix número.

2.1.3 Velocitat de propagació

Certes característiques dels fluids i dels sòlids influeixen en les ones sonores i la velocitat de la propagació del so és major en els sòlids que en els líquids, i és major en els líquids que en els gasos: quan les partícules estan més juntes la vibració es transmet més ràpidament. Les ones sonores necessiten un medi material per a propagar-se i la velocitat de propagació depèn de les característiques del medi en que es realitza aquesta propagació com ara la pressió, la temperatura, la humitat i la densitat, però no de les característiques de l'ona o de la força que genera.

En general quan més gran sigui la compressibilitat del medi, menor serà la velocitat de propagació del so. En els gasos, la temperatura influeix tant en la compressibilitat com en la densitat, de tal manera que el factor a considerar acostuma a ser la mateixa temperatura.

En els gasos la densitat és molt baixa ja que les partícules estan més separades unes de les altres i, per tant, la velocitat de propagació serà menor.

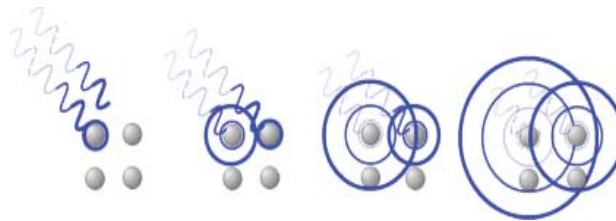
El so es propaga en forma d'ones sonores que són ones mecàniques, longitudinals i tridimensionals.

El so, com a ona **mecànica**, no pot desplaçar-se en buit, necessita fer-ho a través d'un medi material, però això no és suficient. Es requereix que aquest sigui elàstic. Un medi rígid no permet la transmissió del so, perquè no permet les vibracions i, com hem vist, la propagació de la pertorbació es produeix per la compressió i expansió del medi. És a dir, l'elasticitat del medi

permet que cada partícula transmeti la pertorbació a la partícula adjacent, donant origen a un moviment en cadena.

D'altra banda, que el so sigui una ona **longitudinal** implica que el moviment de les partícules que transporta l'ona es produeix en la mateixa direcció de propagació de l'ona. El so es transmet a través dels gasos, el plasma i els líquids en forma d'ones longitudinals, també anomenades ones de compressió. En l'ona longitudinal la direcció del moviment de les partícules degut a les vibracions és paral·lela a la direcció de propagació de l'ona. En canvi, a través de sòlids es pot transmetre tant en forma d'ones longitudinals com d'ones transversals. En les ones transversals el moviment de les partícules o la variació del camp electromagnètic és perpendicular a la direcció de propagació de les ones.

Per últim, hem definit l'ona sonora com una ona **tridimensional**, és a dir, és una ona que es mou en tres direccions i els seus fronts d'ones són esferes radials que surten de la font de pertorbació en totes les direccions. El principi de Huygens diu que cadascun dels punts d'un front d'ones esfèriques pot ser considerat com un nou focus emissor d'ones secundàries també esfèriques, que avançarà en el sentit de la pertorbació amb la mateixa velocitat i freqüència que l'ona primària.



- En els gasos la velocitat de propagació del so augmenta a l'augmentar la temperatura, ja que l'augment de velocitat de les molècules fa que augmenti la freqüència de les interaccions. Lògicament, quant més pesants siguin les molècules es mouran més lentament a una determinada temperatura, i per això en augmentar la massa molecular mitjana del gas disminueix la velocitat de propagació del so.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$$

on γ és el coeficient adiabàtic del gas (a l'aire : $\gamma = 1,4$), R la constant dels gasos, T la temperatura absoluta i M la massa molar del gas.

- En els sòlids la velocitat del so està donada per:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

on E és el mòdul de Young (constant que mesura la rigidesa i l'elasticitat del sòlid) i ρ és la densitat. D'aquesta manera es pot calcular la velocitat del so per a l'acer que és aproximadament d'uns 5.100 m/s.

- En els líquids:

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

on K és el mòdul volumètric del líquid, una constant que mesura la seva elasticitat i compressibilitat.

La velocitat del so a l'aigua és d'interès per a realitzar mapes del fons de l'oceà .

En aigua salada, el so viatja a aproximadament 1.500 m/s i en aigua dolça a 1.435 m/s. Aquestes velocitats varien a causa de la pressió, profunditat, temperatura i salinitat, entre d'altres factors.

2.1.4 Fenòmens físics que afecten a la propagació del so

Són fenòmens que són importants de cara a fomentar les tècniques que es faran servir en relació al so.

1. ABSORCIÓ

Quan una ona sonora arriba a una superfície, la major part de la seva energia es reflecteix, però un percentatge d'aquesta és absorbida pel nou medi.

La capacitat d'absorció del so d'un material és la relació entre l'energia absorbida pel material i l'energia reflectida pel mateix. És un valor que varia entre 0 (tota la energia es reflecteix) i 1 (tota l'energia és absorbida).

En relació a l'absorció, s'ha de tenir en compte:

- El *coeficient d'absorció*: indica la quantitat de so que absorbeix una superfície en relació amb la incident.
- La *frequència crítica*: és la freqüència a partir de la qual una paret rígida comença a absorbir part de l'energia de les ones incidents.

2. REFLEXIÓ

Una ona quan xoca amb un obstacle que no pot travessar es reflecteix (torna al medi del qual prové).

La mida de l'obstacle i la longitud d'ona determinen si una ona rodeja l'obstacle o es reflecteix en la direcció de la qual provenia. Si l'obstacle és petit en relació amb la longitud d'ona, el so la rodejarà (difracció), i si passa el contrari, el so es reflecteix (reflexió). Si l'ona es reflecteix, l'angle de la ona reflectida és igual a l'angle de l'ona incident, de manera que si una ona sonora incideix perpendicularment sobre la superfície reflectant, torna sobre si mateixa.

La reflexió no actua igual sobre les altes freqüències que sobre les baixes. La longitud d'ona de les baixes freqüències és molt gran (pot arribar als 18 metres), pel que són capaces de rodejar la majoria d'obstacles; en canvi les altes freqüències no rodegen els obstacles i produeixen *ombres* darrera d'ells i rebots en la seva part davantera.

En l'acústica, aquesta propietat de les ones és sobradament coneguda i aprofitada. No només per aïllar, sinó també per dirigir el so cap a l'auditori mitjançant plaques reflectores.

- **Ones estacionàries**

Una ona estacionària es produeix per la suma d'una ona i la seva ona reflectida sobre un mateix eix. Depenent com coincideixin les fases de l'ona incident i de la reflectida, es produirà una modificació del so (augmenta l'amplitud o disminueix), per la qual cosa el so resultant pot ser desagradable.

Quan la longitud d'ona de l'estacionària és igual a una de les dimensions d'una sala (llarg, alt o ample), es diu que la sala està en ressonància. L'efecte és encara més desagradable si és el cas. Hi ha punts on no arriba cap so (interferència destructiva) i altres on l'amplitud es doble (interferència constructiva).

- **Eco**

L'eco s'explica perquè l'ona reflectida ens arriba en un temps superior al de la persistència acústica.

Es produeix eco quan l'ona sonora es reflecteix perpendicularment en una paret. Perquè es produeixi eco, la superfície reflectora ha d'estar separada del focus sonor una determinada distància: 17 metres per a sons musicals i 11.34 metres per a sons secs (paraules), la qual cosa es deu a la persistència acústica.

L'oïda pot distingir separatament sensacions que estiguin per damunt del temps de persistència acústica, que és 0,1 segons per a sons musicals i 0,07 segons per a sons secs. Per tant, si l'oïda capta un so directe i, després dels temps de persistència especificat, capta el so reflectit, s'apreciarà l'efecte de l'eco.

- **Reverberació**

Un camp reverberant és aquell en què l'energia associada a les ones es reparteix de forma homogènia i isotròpa, es propaga amb la mateixa velocitat en totes les direccions i dóna lloc a una mateixa intensitat incident sobre totes les superfícies límits.

Es produeix reverberació quan les ones reflectides arriben a l'oïent abans de l'extinció de l'ona directa, en un temps menor que el de persistència acústica de l'oïda. Aquestes ones reflectides tindran un retardament no superior a 1/10 de segon o de 17 metres, que és el valor de la persistència acústica. En un recinte petit la reverberació pot resultar inapreciable, però quant major és el recinte, millor percep l'oïda aquest retard o lleugera prolongació del so.

Per a determinar com és la reverberació en un determinat recinte s'utilitza un paràmetre físic conegut com a temps de reverberació que mesura la persistència del so en una sala després de cessar la font.

3. TRANSMISSIÓ

En molts obstacles plans, una part de l'energia es transmet a l'altre costat de l'obstacle. La suma de l'energia reflectida, absorbida i transmesa és igual a l'energia sonora incident (l'original).

4. REFRACCIÓ

La refracció és la desviació que sofreixen les ones en la direcció de la seva propagació, quan el so passa de un medi a un altre de diferent. La refracció es deu a que al canviar de medi, canvia la velocitat de propagació del so.

A diferència del que passa en el fenomen de la reflexió, en la refracció l'angle de refracció no és igual al d'incidència.

La refracció també es pot produir dins d'un mateix medi, quan les característiques d'aquest no són homogènies, per exemple, quan d'un punt a un altre del mateix medi augmenta o disminueix la temperatura.

5. DIFRACCIÓ O DISPERSIÓ

S'anomena difracció al fenomen que té lloc quan el so, davant de determinats obstacles o obertures, en lloc de seguir la propagació en la direcció normal, es dispersa. L'explicació la trobem en el Principi d'Huygens (ja explicat anteriorment) que estableix que qualsevol punt d'un front d'ones és susceptible de convertir-se en un nou focus emissor d'ones idèntiques a la que el va originar. D'acord amb aquest principi, quan l'ona incideix sobre una obertura o un obstacle que impedeix la seva propagació, tots els punts del seu pla es converteixen en fonts secundàries d'ones, emetent noves ones, denominades ones difractades.

La difracció es pot produir per dos motius diferents:

- Perquè una ona sonora troba al seu pas un petit obstacle i el rodeja.
- Perquè una ona sonora es troba al seu pas un petit forat i el travessa.

6. DIFUSIÓ

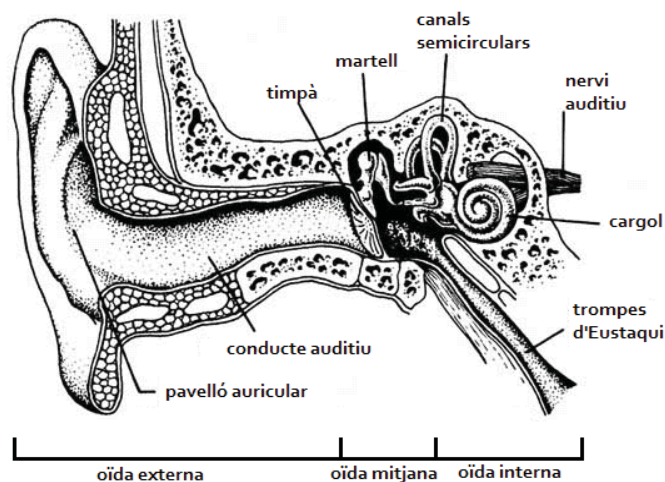
Si la superfície on es produeix la reflexió presenta alguna rugositat, l'ona reflectida no només segueix una direcció, sinó que es descompon en múltiples ones.

2.1.5 Percepció del so

L'oïda té dues funcions diferents: una d'elles és actuar com a òrgan de l'oïda (percepció de sons) i l'altra funció és la d'actuar com a òrgan de l'equilibri (percepció de la postura corporal i de l'equilibri).

El sons que es produeixin al nostre entorn arriben a l'oïda en forma d'ones sonores. Les vibracions emeses pel so arriben per l'aire fins al pavelló auricular. El so penetra en el conducte

auditiu extern i es transmet en direcció a l'orella mitjana cap a la membrana timpànica. El timpà vibra i aquesta vibració arriba fins al martell, el qual transmet la vibració a la resta de la cadena ossicular. Un cop aquí, el so passa a l'oïda interna i, mitjançant impulsos nerviosos, el transmet al cervell.



En la constitució anatómica de l'oïda humana es poden distingir tres parts: l'oïda externa (formada pel pavelló auditiu, el conducte auditiu i la membrana del timpà), l'oïda mitjana (amb una cadena d'ossos molt petits) i l'oïda interna.

- *Oïda externa*: està constituïda pel pavelló auricular, el conducte auditiu i el timpà. L'oïda recull les ones sonores que es canalitzen fent vibrar el timpà. A continuació, les ones passen a l'oïda mitjana.
- *Oïda mitjana*: és una cavitat estreta i irregular que va a continuació del timpà. Les vibracions del timpà són percebudes per una cadena de tres ossets (martell, enclusa i estrep) que actuen ampliant les excitacions que arriben al timpà. Aquestes vibracions es transmeten a la finestra oval.

Aquesta part de l'oïda actua com a selector del sons de manera que no transmet els de freqüències molt altes o molt baixes. Per tal de que la membrana timpànica enregistri les vibracions sonores, és important una bona mobilitat i així poder vibrar d'una manera adequada. Per a mantenir aquesta mobilitat és essencial que a l'orella externa i a la mitjana hi hagi la mateixa pressió. L'encarregada de que aquesta pressió es mantingui equilibrada és la Trompa d'Eustaqui, ja que comunica l'interior de la caixa timpànica amb la cavitat rinofaríngia que es relaciona amb la cavitat nasal. La trompa d'Eustaqui normalment està tancada però mitjançant diversos moviments (com el badall o la deglució) s'obre deixant passar l'aire cap a l'orella mitjana o expulsant-lo cap a la rinofaringe, equilibrant així de manera automàtica la pressió.

- *Oïda interna*: Aquesta part de l'òrgan auditiu compren el laberint ossi (canals semicirculars, vestíbul i cargol) i el laberint membranós. Quan l'estrep es mou s'introdueix a la finestra oval, colpejant la perilimfa i d'aquesta manera les vibracions es transmeten al líquid perilimfàtic. Davant d'una vibració sonora, a la perilimfa es produeix un impuls que es desplaça per tot l'interior del cargol. El desplaçament de la perilimfa fa vibrar la membrana basilar que forma el sòl del cargol. Aquesta vibració es transmet a l'òrgan de Corti, situat a l'interior del cargol i per sobre de la membrana basilar. Aquest recorregut provoca el moviment de les cèl·lules sensorials, el moviment d'aquests cilis fa que es produeixi una substància que estimula les terminacions nervioses del nervi auditiu. Aquest estímul mecànic es transforma en nerviós que es transmet cap al nervi acústic i d'aquí a les zones respectives del cervell que és on es percep el so.

2.2 Tècniques de l'estudi del so

2.2.1 El sonòmetre

El sonòmetre és l'eina imprescindible per tal de mesurar el nivell sonor que hi ha en un lloc i en un moment determinat i per verificar amb garanties el compliment de normatives i ordenances de soroll.

És molt important el mesurament correcte del soroll per tal d'obtenir uns bons resultats, per això cal tenir coneixement de la precisió i de les limitacions dels aparells. És per la seva precisió que es classifiquen els aparells, seguint normes nacionals i internacionals.

Els elements principals d'un sonòmetre són: un micròfon, un preamplificador, un amplificador i un dispositiu de lectura analògica o digital. El sonòmetre processa els nivells sonors a mesura que els rep i els mostra successivament o a intervals de temps determinats.

Quan ens disposem a realitzar un mesurament de soroll és imprescindible tenir presents els diferents factors que poden influir en la mesura, com són:

- **Efectes de l'observador**: La majoria dels mesuraments es realitzen amb el sonòmetre a la mà. Degut al fet que l'operador pot actuar com a pantalla de les ones sonores es recomana separar l'aparell el màxim possible del cos.
- **Ones estacionàries**: En espais tancats i petits les reflexions entre les parets donen origen a ones estacionàries
- **Condicions meteorològiques**: Els mesuraments a l'exterior s'han de fer sempre protegint el micròfon amb pantalles antivent, ja que el vent pot incrementar el nivell en freqüències baixes. Tampoc no és molt recomanable fer-ho en ambients humits ni en temperatures superiors a 50°C, ja que poden donar-se canvis de sensibilitat.

2.2.2 Els mapes sònics

Un mapa sònic representa gràficament sobre el plànol el nivell de soroll que afecta un espai determinat.

La realització del mapa sònic d'una ciutat permet de conèixer la localització de les zones espacialment sorolloses (facilitant l'actuació posterior si el que es desitja és millorar-ne la situació) o bé els indrets especialment tranquils (adoptant les mesures oportunes per tal de preservar aquestes situacions privilegiades).

Els mapes sònics es configuren com un instrument imprescindible per al disseny i la planificació de mecanismes racionals de disminució de soroll.

Els principals objectius, a l'hora de realitzar un mapa sònic, són:

- Conèixer els nivells sonors que predominen en la implantació d'alguna activitat nova.
- Adaptar les ordenances a la realitat sònica de l'indret.
- Servir de suport per a la realització de qualsevol planificació urbanística, de zones verdes o espais oberts, i per aconseguir una millora de l'asfalt i la distribució del trànsit.
- Dissenyar accions municipals per tal de reduir el soroll.

Per a fer un mapa sònic s'han d'escollir uns punts en els que han de quedar representades diferents parts d'una ciutat: en la seva realització cal prèviament establir un criteri per tal de determinar els punts on es faran les mesures. Aquestes mesures s'han de prendre en diferents moments del dia, ja que el mapa ha de representar la mitjana de les mesures de cada indret.

S'han d'identificar sobre el terreny els focus sonors i després classificar-los en funció dels criteris següents: continus i discontinus, interiors i exteriors, evitables i inevitables.

Finalment, amb les dades obtingudes de tots els mesuraments i un mapa de la zona estudiada, s'acolorix l'indret segons els diferents nivells sonors.

3. Contaminació acústica

Denominem contaminació acústica a l'alteració de les condicions de so normals del medi ambient en una determinada zona. El terme contaminació acústica fa referència al soroll (entès com a so excessiu i molest), provocat per les activitats humanes (trànsit, indústries, locals d'oci, ...), que produeix efectes negatius sobre la salut auditiva, física i mental de les persones. Si bé el soroll no s'acumula, es trasllada o es manté en el temps com les altres contaminacions, també pot causar grans danys en la qualitat de vida de les persones si no es controla.

Un informe de l'Organització Mundial de la Salut (OMS), considera els 50 dB com el límit superior desitjable. A Espanya, s'estableix com a nivell de confort acústic els 55 dB. Per damunt d'aquest nivell, el so resulta perniciosos per al descans i la comunicació.



3.1 Efectes sobre la salut de l'ésser humà

Els paràmetres acústics no serveixen per si sols per avaluar l'impacte del soroll, ja que el mesurament d'una energia acústica no significa gairebé res si no es posa en relació amb la seva traducció biològica i psicològica en les persones. En aquest sentit, la possibilitat que el soroll ambiental provoqui efectes negatius sobre la salut humana ha estimulat en gran manera les investigacions en aquest camp, per la qual cosa la majoria dels estudis s'han centrat a conèixer quins són els nivells de contaminació acústica del medi ambient i en quina mesura afecten a la salut i el benestar de les persones.

3.1.1 Efectes fisiològics

a) Auditus

Com que l'oïda és el principal òrgan receptor dels sons, aquest és el més afectat en una sobrecàrrega acústica, per tal raó els efectes auditius del soroll constitueix la conseqüència més directa i quantificable del soroll en els éssers humans. L'excés de pressió sonora que arriba a cau d'orella provoca pèrdues de sensibilitat auditiva temporal o permanent, experimentant-se dolor en l'oïda.

La pèrdua auditiva és l'efecte que ha estat més investigat. La exposició a sorolls que contenen una gran quantitat d'energia acústica pot produir desplaçaments en els llindars d'audició, i després els sons requeriran majors nivells de pressió sonora per ser escoltats.

Els desplaçaments dels llindars auditius per exposicions al soroll poden ser temporals o permanents, són coneguts com: TTS (temporal threshold shift) i PTS (permanent threshold shift).

- TTS: temporal threshold shifts

Després d'una breu exposició a nivells de soroll, relativament intensos, es produeix, de manera temporal, un desplaçament del llindar auditiu que ocasiona una pèrdua temporal d'audició. La recuperació de l'audició està en funció de la intensitat del desplaçament, el tipus i el temps d'exposició i la susceptibilitat de l'individu.

- PTS: permanent threshold shifts

La exposició excessiva i prolongada a un estímul acústic pot produir efectes greus i permanents sobre l'audició. La exposició prolongada al soroll ocasiona un desplaçament permanent del llindar auditiu a causa del soroll i, conseqüentment una alteració irreversible sensorioneural.

La deficiència auditiva es produeix principalment entre els 3.000 i els 6.000 Hz. Determinats tipus de sons poden provocar a més de fatiga o mort de les cèl·lules ciliades, esquinçaments del timpà i luxacions dels ossets de l'oïda mitjana. Els sorolls involucrats en aquest tipus de trauma són impulsius (com dispars, explosions, etc.) i segons quina sigui la posició del nostre cos a aquest tipus de sorolls, el dany pot produir-se en una oïda o en les dues.

Un altre efecte en el sistema auditiu és l'anomenat xiulet de l'oïda (tinnitus): Es tracta d'un to molt agut que els afectats noten de vegades durant uns minuts sense que sigui notat per altres. Sovint aquest xiulet només dura uns breus instants i es deu a un efecte agut posterior a una intensa agressió acústica. Però es disposen d'informes relatius a xiulets de l'oïda més o menys crònics entre els habitants de zones veïnes a aeroports.

La pèrdua d'agudesia acústica té conseqüències en molts camps de la vida. Així doncs, estar exposat a nivells d'entre 85 i 120 dB pot causar la pèrdua gradual i irreversible de l'oïda, i s'ha de tenir en compte que no hi ha cap tractament mèdic o intervenció quirúrgica per poder recuperar les lesions auditives.

Els temps d'exposició (en minuts) a un so de 90 dB, 92 dB, 95 dB, 97 dB, 100 dB, 102 dB, 105 dB i 110 dB són, respectivament, de 8, 6, 4, 3, 2, 1.5, 1, 0.5, 0.25 min.

En la següent taula es relacionen els efectes que produeixen en l'ésser humà diferents sons característics:

SONS CARACTERÍSTICS	NIVELL DE PRESSIÓ dB	EFFECTE
Explosió volcà Krakatoa	180	Pèrdua auditiva irreversible
Zona de llançament de coets	180	
Sirena antiaèria	140	Trauma acústic agut
Tro	130	
Enlairament d'avions	120	Màxim esforç vocal
Clàxon automòbil	120	
Martell pneumàtic	110	Extremadament fort
Concert de rock	110	
Camió d'escombraries	100	Molt fort
Petards	100	
Camió pesant	90	Molt molest. Dany auditiu
Trànsit urbà	90	
Rellotge despertador	80	Molest
Assecador de cabells	80	
Restaurant sorollós	70	Difícil ús del telèfon
Trànsit d'autopista	70	
Oficina de negocis	70	
Aire condicionat	60	Silenci
Conversa normal	60	
Trànsit de vehicles lleugers	50	
Dormitori	40	
Oficina tranquil·la	40	
Biblioteca	30	Molt silenciós
Xiuxiueig a 5 metres	30	
Estudi radiofònic	20	
Respiració tranquil·la	10	Amb prou feines audible
Llindar d'audició	0	Llindar auditiu

b) No auditiu

Els efectes fisiològics no auditiu agrupen totes aquelles alteracions sobre el normal funcionament de l'organisme que es produeixen com a conseqüència de la exposició al soroll.

Algunes alteracions físiques poden ser advertides per l'individu exposat al soroll, com es el cas de la fatiga corporal, les nàusees, les respostes reflex i el mal de cap entre d'altres. En canvi moltes anomalies que pateix l'organisme a nivell funcional poden passar inadvertides per la persona, com per exemple les alteracions gastrointestinals i els trastorns cardiovasculars.

Alguns efectes fisiològics extra-auditiu són temporals i no deixen seqüeles clíniques significatives. Però alguns efectes no audibles del soroll poden tenir conseqüències terribles i irreversibles.

RESPOSTA REFLEX

La resposta reflex consisteix en una contracció involuntària dels músculs de les extremitats i la columna com a conseqüència d'un so abrupte i inesperat. Aquest reflex prepara a l'individu per a realitzar una acció davant a una possible situació de perill que podria estar alertada pel soroll.

ALTERACIÓ DE L'EQUILIBRI

L'equilibri és regulat per l'aparell vestibular, també anomenat laberint. En ell es troben els canals semicirculars que són tres conductes que posseeixen un fluid en el seu interior i estan recobertes de cèl·lules ciliades sensibles al moviment. Aquests canals estan orientats de tal manera que permeten les acceleracions angulars del cap. També, dins del vestíbul es troben altres òrgans que permeten els moviments lineals del cap permetent controlar la percepció visual del cap. Els canals semicirculars es troben dins de l'oïda interna i són molt vulnerables a estímuls sonors intensos. Quan això succeeix pot veure's afectat temporalment el sentit de l'equilibri, la qual cosa ocasiona que s'experimentin deficiències motrius, moviments rítmics i involuntaris dels ulls, marejos, vertigen, nàusees i fins i tot desmaís.

FATIGA CORPORAL

El soroll pot causar directa i indirectament la sensació de fatiga, especialment aquells sorolls que contenen longituds d'ones grans i fins i tot infrasons.

Els principals afectats són els treballadors que estan exposats a aquest tipus de sorolls, els quals arriben a presentar símptomes de fatiga crònica.

Un factor indirecte del soroll que pot provocar fatiga física és la realització d'esforços per comprendre missatges parlats en presència del soroll.

RESSONÀNCIA EN L'ORGANISME

L'organisme dels éssers humans respon de diferents maneres enfront dels estímuls sonors. La quantitat d'energia acústica que ingressa a l'organisme depèn dels canvis d'impedància que la pertorbació acústica experimenta en travessar els mitjans de propagació que troba en el seu camí. El cos humà imposa certa resistència al fet que l'ona sonora ingressi a ell; una vegada que l'energia acústica ingressa a l'organisme es propaga dins del mateix a través de teixits i ossos. Les ones acústiques interaccionen mecànicament amb l'organisme de manera complexa. Quan la longitud d'ona d'un so és molt menor que d'una determinada cavitat, aquest es comporta en forma anàloga a una gran sala en les quals es produeixen reflexions. I si la longitud d'una ona és molt major que la cavitat, les molècules d'aire vibren com un tot produint compressions i expansions del volum de l'aire interior.

Alguns dels efectes localitzats relacionats amb la invasió d'ones acústiques en l'organisme són:

- Vibracions als pits

- Vibracions a la panxa
- Vibracions a les cuixes i a la zona lumbar
- Vibracions a les cavitats nasals
- Sensació d'eixamplament de la gola
- Vibracions a la paret abdominal
- Gran pressió sota l'estèrnum
- Molèsties sota les costelles i la faringe

Cal assenyalar que a causa de la resistència que l'ésser humà ofereix a la invasió d'ones sonores, perquè aquest tipus de ressonàncies es presentin es requereixen nivells d'excitació elevats (superiors a 125 dB).

També que les ressonàncies internes com a conseqüència del soroll, no depenen de l'oïda en absolut. Es pot arribar fins i tot al fet que una persona sorda experimenti aquest tipus de ressonàncies amb igual magnitud que una persona amb audició normal (i fins i tot poden ser més conscients d'elles).

DEFICIÈNCIA VOCAL

Quan es produeix una comunicació oral en un ambient de soroll, l'individu ha d'eleva la potència de la seva veu entre 3 i 6 dB per cada 10 dB d'augment de soroll de fons. Si aquest tipus d'escenari es presenta freqüentment, com per exemple els professors de les escoles, es poden ocasionar alteracions cròniques en el seu aparell vocal. Els components de la veu en estat relaxat no són les mateixes que les de la veu forçada. Per tal motiu en elevar la veu en un ambient de soroll no significa solament elevar els nivells sonors sinó que també implica elevar la freqüència.

EFFECTES CARDIOVASCULARS

L'exposició al soroll pot provocar diferents disturbis i patologia cardiovasculars, que són:

- Increment de la pressió sanguínia, diastòlica i sistòlica, sobretot aquella a través d'una vasoconstricció generalitzada que provoca una disminució del flux sanguini perifèric.
- Hipertensió arterial: una llarga exposició a sorolls elevats provoca un increment de la pressió sanguínia, que al seu temps pot provocar atacs de cor, embòlies (també cerebrals), aneurismes cerebrals i aòrtics.
- Augment del colesterol a la sang: segons recents estudis, el soroll eleva el contingut de colesterol a la sang.
- Augment del ritme cardíac: la constant exposició al soroll fa que el cor bategui més ràpid, el que pot provocar un atac de cor. També provoca una fibril·lació auricular (dissociació del ritme cardíac, tan aviat es pot patir una taquicàrdia com una bradicàrdia).

EFFECTES GASTROINTESTINALS

Alguns processos gastrointestinals involucrats en la digestió poden ser alterats per la presència del soroll.

Les principals conseqüències són:

- Disminució d'activitat gàstrica (provoca nàusees, vòmits).
- Retardament en la digestió dels aliments, que ocasiona digestions pesades.
- Reducció de la motilitat de l'estómac (funció necessària per l'alliberament d'espai per que ingressin nous aliments).
- Disminució del trànsit intestinal.
- Disminucions o augments en les secrecions de saliva, que provoca dolor a l'empassar els aliments.
- Gastritis o úlcera estomacal, intestinal o duodenal.

EFFECTES RESPIRATORIS

La respiració pot ser afectada pel soroll. Les principals conseqüències en el sistema respiratori són:

- Acceleració de la freqüència respiratòria (taquipnea), que unida a efectes circulatoris genera un augment en el consum d'oxigen.
- Dificultats al respirar, produint ofegament.
- Esquinçaments dels alvèols pulmonars si l'estímul acústic és molt elevat.

ALTERACIONS ENDOCRINES I IMMUNOLÒGIQUES

En el cos humà diferents glàndules segreguen hormones que permeten desenvolupar funcions vitals. Quan l'ésser humà es troba exposat a nivells de soroll, pot veure's afectada la secreció de certes glàndules.

La presència de soroll pot originar:

- Major secreció de cortisol, provocant efectes sobre el sistema immunològic amb un augment de glucèmia (glucosa en la sang) afavorint la diabetis i l'acumulació o relocalització de greixos.
- Increment en la producció d'adrenalina i noradrenalina, que incrementen l'activitat de funcions corporals com el ritme cardíac, la pressió sanguínia, contracció dels vasos sanguinis, augment del pols i de la força de contracció del cor.
- Increment de les secrecions de la hipòfisi.
- Augment dels nivells de l'hormona de creixement (HGH), i de l'hormona sexual masculina (andrògens).
- Alteració de les glàndules sudorípares.

EFFECTES EN EL SISTEMA NERVIÓS

La presència de nivells de soroll exagerats produeix canvis en el sistema nerviós dels éssers humans, com són:

- Provocar tensions que generen respostes d'estrès
- Irritabilitat
- Nerviosisme
- Agressivitat
- Alteracions de l'observació i dels processos mentals d'anàlisi i concentració.

EFFECTES SOBRE LA PELL

L'exposició al soroll produeix efectes a la pell de l'individu. Entre les principals conseqüències tenim:

- Augment de l'activitat elèctrica de la pell
- Enrogiment del cutis
- Refredament de la pell
- Canvis en la resistència galvànica de la pell
- Fissures a la pell

EFFECTES EN LA VISTA

L'exposició sonora provoca varies conseqüències en la vista. Algunes són:

- Dilatació de les pupil·les
- Estrenyiment del camp visual
- Disminució de la percepció del color
- Canvis de nivell de percepció de la brillantor de fons
- Dèficit de l'apreciació del color vermell i de la visió nocturna
- Disminució de la velocitat del moviment dels ulls

També s'ha d'assenyalar que si l'estímul sonor es produeix sobre una oïda, es poden produir algunes deficiències en l'ull oposat, tals com a pèrdua de sensibilitat, reducció del camp visual i canvis en la verticalitat percebuda d'una línia.

3.1.2 Efectes psicològics

La salut no s'ha d'entendre només com l'absència de malaltia, sinó que la salut ha de ser sinònim de benestar físic i psíquic. La *Psicoacústica* és una àrea que es dedica a investigar les alteracions psíquiques que provoca el soroll en les tasques de vital importància per el desenvolupament humà. Entre aquestes parlarem del son, la memòria, l'atenció i el processament de la informació.

EFFECTES EN EL SON

Un altre dels efectes negatius del soroll, i més fàcilment identificable, és la pertorbació del son, fenomen que es dona sobretot en les grans ciutats. Com assenyala Domínguez Ortega, «el son és una parcel·la important de la nostra vida, de la quantitat del qual depèn, en gran manera, la qualitat de la vigília». Referent a això, el soroll ambiental pot incidir sobre el son, dificultant-ne o retardant-ne l'inici o interrompent-ne el transcurs. A més, cal tenir en compte que els sorolls, durant el descans, no solament afecten al cervell, sinó que tot el conjunt de l'organisme en els seus components neuroendocrins, tèrmics i cardio-respiratoris.

S'ha comprovat que sons de l'ordre dels 60 dB redueixen la profunditat del somni. Per descansar apropiadament el nivell de so equivalent no ha de sobrepassar els 30 dB per al soroll continu de fons i s'ha d'evitar el soroll individual per sobre dels 45 dB.

El soroll contribueix a debilitar els mecanismes de defensa de l'organisme, afavoreix l'aparició de malalties i en retarda la curació. S'ha descobert que un ambient sorollós redueix entre 2 i 2,5 vegades l'efectivitat dels tractaments de malalties cròniques. Per tot això, podem afirmar que el cos s'habitua al soroll, però no arriba a adaptar-s'hi mai, amb la qual cosa es converteix en un perill per a la salut i el benestar humà.

L'insomni provoca altres malalties, com per exemple insuficiència coronària (trastorns circulatoris), insuficiència ventricular esquerra, trastorns pulmonars, asma, trastorns de la conducta alimentària (anorèxia nerviosa), trastorns endocrins (disfunció tiroïdal), trastorns neurològics (mals de cap, migranyes), malaltia de Parkinson i lesions al tàlem.

EFFECTES SOBRE LA CONDUCTA

El soroll produeix alteracions en la conducta momentànies, que consisteixen en agressivitat o mostrar un individu amb major grau de desinterès o irritabilitat. Aquestes alteracions són generalment passatgeres i es produeixen a causa de la presència d'un soroll que produeix inquietud, por o inseguretat en determinats casos.

EFFECTES SOBRE EL RENDIMENT I LA MEMÒRIA

El soroll pot perjudicar el rendiment dels processos cognitius, principalment en treballadors i nens. Entre els efectes cognoscitius més afectats pel soroll es troben la lectura, l'atenció, la solució de problemes i la memorització. L'exposició al soroll afecta negativament al rendiment, especialment a les escoles properes als aeroports, on els nens tenen problemes en l'adquisició i comprensió de la lectura i comunicació verbal, afavorint l'aïllament del nen, fent-lo poc sociable. Alguns sorolls constants poden crear un estat monòton, la qual cosa podria disminuir el nivell d'activació i produir insomni. La pèrdua del rendiment depèn del tipus de soroll i de les exigències de la tasca a realitzar. El nivell de caiguda del rendiment està afectat per la familiaritat que la persona tingui amb la tasca a realitzar, el temps necessari per realitzar-ho, la necessitat d'ús de paraules i les variacions d'atenció.

EFECTES SOBRE L'ESTRÈS

El soroll és un factor generador d'estrès, això implica que tots els símptomes i signes propis de l'estrès poden produir-se quan estiguem exposats al soroll. En estar exposats a nivells acústics elevats es produeix l'activació d'algunes glàndules i canvis en la secreció endocrina, com el cortisol (el cortisol és també conegut com l'hormona de l'estrès).

EFECTES SOBRE L'ESTAT D'ÀNIM

Com ja sabem el soroll és un agent extern no desitjat que en la majoria dels casos no es pot controlar, freqüentment provoca canvis en l'estat d'ànim.

El soroll pot ocasionar canvis d'estats d'ànim actius com:

Irritabilitat	Ansietat	Fatiga	Nerviosisme
Molèstia	Impotència	Exaltació	Depressió

3.2 Fonts del soroll

El soroll és una de les principals causes de preocupació entre la població urbana, ja que incideix en el nivell de qualitat de vida i, a més a més, pot provocar, com hem vist abans, efectes nocius sobre la salut, en el comportament i l'activitat de l'home, i provocar efectes psicològics i socials.

S'estima que al món hi ha 120 milions de persones que tenen dificultats auditives invalidants. Les xifres europees relatives al 1995 i segons l'Agència Europea del Medi Ambient, prenent dades de l'OCDE diuen que hi havia prop de 113 milions de persones (aproximadament el 17% de la població) que estaven exposades a nivells de soroll ambiental per sobre dels 65 dB, 450 milions de persones (aproximadament un 65% de la població) a nivells que superen els 55 dB i 9,7 milions de persones (aproximadament un 8% de la població) amb l'exposició superior a 75 dB durat 24 hores.

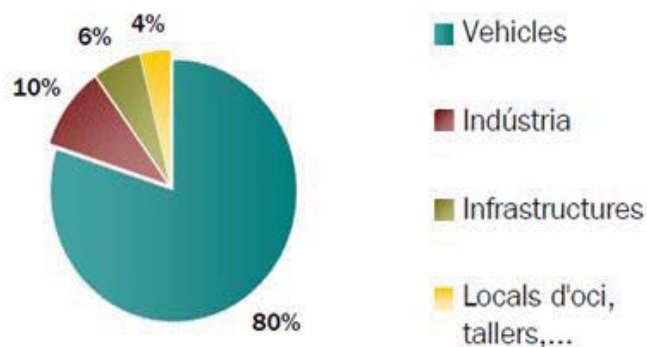
Segons el Llibre Verd² els percentatges de contaminació acústica que pateix la població europea serien del 20%, si es pren com a llindar de delimitació els 65 dB, i el percentatge pujaria fins al 45%, si s'estableix el límit en els 55 dB.

Aquestes són només algunes dades per entendre la magnitud del problema.

² *Llibre Verd : Segons la terminologia habitual a la Unió Europea, un "llibre verd" és un document de reflexió d'un àmbit polític o social concret, destinat a fomentar el debat i la participació dels diversos sectors, organitzacions i persones directament i indirectament implicades que, un cop acabada la fase de consulta i participació, i per tant convertit ja en un instrument generador de consens i de complicitats diverses, pot conduir a un desenvolupament legislatiu.*

És un tòpic en totes les investigacions assenyalar que són els vehicles a motor la font principal de contaminació acústica. De fet, hi ha un gran consens per apuntar que el 80% de la contaminació acústica que es genera a les nostres ciutats prové d'aquesta font.

Altres fonts, que cal considerar, si bé amb una importància quantitativa molt menor, serien l'activitat industrial, amb una aportació a la contaminació acústica de prop del 10%; el que prové de les infraestructures, al voltant del 6% del soroll total; i els bars, les discoteques, els locals d'oci, etc., l'aportació dels quals pot significar un percentatge de prop del 4%.



Font: Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya, 2003.

Sembla que hi ha un acord bastant generalitzat a l'hora d'establir les fonts que produeixen el soroll a les nostres ciutats.

- a) Sorolls originats per indústries i obres públiques
- b) Sorolls originats pel tràfic rodat: vehicles i ferrocarrils
- c) Sorolls originats per l'aviació
- d) Sorolls originats per locals públics
- e) Sorolls domèstics

A continuació analitzarem cada un d'aquests apartats

a) Sorolls originats per indústries i obres públiques

Els problemes actuals de soroll industrial són deguts en molts casos a l'expansió urbanística i l'acostament de zones habitades a àrees industrials, que han quedat incorporades al teixit urbà residencial.

El soroll provocat per les obres públiques és possiblement un dels que més queixes té per part dels ciutadans. La seva repercussió, no obstant això, es veu esmorteïda pel fet que excepte en emergències, es produeixen només durant el dia i en el transcurs de jornades laborals, podent generalment descansar el ciutadà a la nit.

El creixement de les ciutats, i la necessitat de dotar-les d'infraestructures o renovar les ja existents ha incrementat l'activitat de les obres públiques, donant la sensació entre els veïns que les obres al carrer són ja alguna cosa endèmica a les ciutats.

b) Sorolls originats pel tràfic rodat

COTXE

Segons reflecteix el Llibre Verd sobre el medi ambient urbà, el problema del trànsit està directament relacionat amb la mobilitat a la ciutat. La distribució funcional del territori, basada en un model de desenvolupament urbà dispers i zonificat, ha donat lloc a la creació d'una extensa xarxa de carrers i avingudes que enllacen les diferents zones de la ciutat per les quals circulen de manera constant i ininterrompuda els diversos mitjans de transport i, per tant, en aquest model de ciutat difusa, l'individu es converteix en una entitat difícilment dissociable de l'automòbil.

El soroll produït pel trànsit és una seqüència temporal de la suma de nivells sonors variables generats pels vehicles que circulen. Prové del motor i de les transmissions, i de la fricció causada pel contacte del vehicle amb el terra i l'aire.

Finalment, hi influeixen també les condicions físiques de propagació sonora des de la via fins al receptor. Totes elles constitueixen factors que influeixen de manera notable en els nivells de soroll ambiental produïts pel trànsit de vehicles.

Evidentment, respecte al tema que ens ocupa, el de la contaminació acústica, no caldria considerar només el nombre de vehicles, sinó també les seves característiques, però en aquest terreny no sembla que haguem avançat gaire.

Segons el Llibre Verd, el futur no presenta un panorama gaire positiu: les dades mostren que el nombre de persones greument exposades està disminuint, però el problema global està augmentant. En moltes zones urbanes els valors extrems de soroll de trànsit no augmenten, sinó que ho fa el període de l'exposició a sorolls elevats. Mentre que en el passat el període diürn entre les 8 i les 18 hores era més sorollós, ara la nit cada vegada resulta més sorollosa.

FERROCARRIL

El creixement del ferrocarril ha anat associat al creixement de l'activitat humana. Des dels seus orígens va ser considerat una font de comerç i beneficis, però també una font de soroll.

Per a tots els tipus d'unitats ferroviàries les fonts de soroll es poden englobar en aquests tres grans apartats: propulsió i sistema de suport, interacció roda-carril i sistemes de guiatge, i flux aerodinàmic derivat del moviment. Ara bé, per avaluar el soroll produït pel trànsit ferroviari cal tenir en compte, a més de l'anomenat soroll directe (que és el que produeix el trànsit per ferrocarril) també l'indirecte (que és el que es genera a les estacions i que procedeix d'altres fonts de soroll com ara la megafonia, l'escalfament de les locomotores i les instal·lacions de climatització o de ventilació).

La sonorització de les andanes és, sens dubte, la que genera els problemes més grans de contaminació acústica. Com que es tracta d'espais oberts, és molt més difícil prendre mesures per a la propagació del soroll. L'objectiu hauria de ser evitar els sorolls a l'origen, ajustant bé la megafonia, o tenint cura dels aparells dels quals s'obté la climatització i la ventilació. Més

difícil resulta reduir el soroll que es produeix en l'escalfament de les locomotores, que es pot prolongar fins a una hora i és especialment molest per als habitatges circumdants.

Els avenços tècnics auguren un futur esperançador. El canvi dels motors de gasoil per motors elèctrics, la introducció gradual dels carrils soldats en lloc dels carrils acoblats, i la major utilització de material rodador amb fre de disc, han fet que les emissions sonores dels trens hagin disminuït. La preocupació actual radica en el tren d'alta velocitat, que constitueix el principal motiu de queixa per a les poblacions. Com assenyala el Llibre Verd, cal que la pràctica actual inclogui mesures de protecció contra els sorolls en la planificació i la construcció d'aquestes línies.

c) Sorolls originats per l'aviació

El trànsit aeri com a factor de contaminació acústica és un fenomen relativament nou a causa de dues circumstàncies: la primera, l'extraordinari increment d'aquesta manera de viatjar, tant a escala nacional com internacional; i la segona, el costum d'envoltar les zones circumdants dels aeroports de barris residencials.

Pel que fa al primer factor l'increment de trànsit aeri, és revelador el fet que l'any 1980 els vols que es comptabilitzaven al nostre país superaven lleugerament el mig milió, i vint anys més tard s'acosten al milió i mig. L'evolució ha estat, doncs, meteòrica, sobretot si es comptabilitzen les entrades i sortides per dia.

En el mesurament del soroll que es produeix als aeroports adquireix cada vegada més importància el concepte de *dosi de soroll*, que defineix la quantitat de soroll percebuda per una persona en una unitat de temps donada.

El segon factor que cal destacar és com afecta a les persones. El paper dels aeroports com a generadors i promotors de riquesa ha tingut al llarg de la seva curta història l'efecte no desitjat de creixement al seu voltant de poblacions i barris que acullen treballadors i les empreses que subministren els serveis. Les poblacions assentades als voltants dels aeroports en veuen afectades, la qual cosa constitueix un veritable problema per al soroll urbà. Com en el cas del trànsit de vehicles, en el soroll produït pels avions cal tenir en compte el nombre d'operacions, l'hora del dia, els procediments operatius, l'ús dels terrenys circumdants i el trànsit rodant que comunica amb l'aeroport.

Les previsions de futur, segons preveu el Llibre Verd, deixen una porta oberta a l'optimisme gràcies, d'una banda, a les millores tècniques, però també a la introducció de normes més estrictes de certificació sonora, així com a altres mesures no tècniques com la restricció dels moviments nocturns, el control de les rutes d'enlairament i aterratge de vols, o procediments de control del trànsit.

d) Sorolls originats per locals públics

La situació és molt més preocupant quan s'analitzen els nivells de soroll que pateixen els joves que freqüenten les discoteques. En moltes discoteques el nivell sonor mitjà es situa al voltant de 90 dB i, fins i tot, en alguns moments, el nivell màxim pot arribar a assolir els 120 dB.

Ara bé, tot i ser preocupants els nivells de soroll que es produeixen als centres tancats, resulten molt més agressius quan els sorolls surten a l'exterior. Aquests punts acostumen a ser els que provoquen més queixes en la població, i és una font de soroll encara pitjor que la dels cotxes, entre altres coses perquè la màxima activitat es concentra a la nit. Els nivells de contaminació acústica d'aquest sector solen procedir no solament dels aparells reproductors de música, sinó també de les actituds del públic que acudeix a aquests llocs. En aquesta pràctica es dona un clar enfrontament d'interessos: el dret dels veïns a la tranquil·litat i al descans, i el dels joves a oci i a la diversió.

Sensibilitat acústica	Valors límit d'immissió (a l'exterior)		Valors d'atenció (a l'exterior)		Valors límit d'immissió (a l'interior)	
	Dia	Nit	Dia	Nit	Dia	Nit
Alta	60	50	65	60	30	25
Moderada	65	55	68	63	35	30
Baixa	70	60	75	70	35	30

Font: Llei 16/2002 de protecció contra la contaminació acústica

e) Sorolls domèstics

La bona qualitat de vida dins de l'habitatge exigeix un comportament cívic i respectuós, que eviti molestar els veïns i veïnes amb sorolls innecessaris com tancaments de porta bruscs, crits, música molt alta, salts, balls i accions similars, especialment durant l'horari nocturn.

f) Conclusions finals

La combinació particular d'aquest conjunt de fonts principals de generació de sorolls als assentaments humans conforma un clima sonor propi de cada espai social. Per això, al marge de quin sigui el seu origen, el soroll s'ha convertit en una qüestió de creixent preocupació social i política a les àrees urbanes. Aquesta preocupació s'ha centrat tant en els efectes sobre la salut com en la percepció de les molèsties que ocasiona en el desenvolupament de la vida quotidiana i en el son. Les molèsties per contaminació sonora es manifesten amb un índex més elevat a les grans ciutats, on s'ha produït un desenvolupament industrial i una concentració de la població més grans.

4. Legislació sobre el soroll

És un tòpic, en tots els estudis consultats, la manca d'una normativa general i actualitzada sobre el soroll que permeti fixar uns criteris mínims amb els quals poder avaluar un problema tan important i de tant impacte social.

La legislació sobre el soroll s'ha d'objectivar al màxim i no es pot pensar en termes de soroll en situacions que estan permeses en una comunitat i de vegades no en altres; o nivells que es tolerin en una ciutat i estiguin prohibits en una altra. Per això és totalment necessari que hi hagi una llei general sobre el soroll, que emmarqui i concreti les decisions que puguin ser protegides a escala local.

Ja hi comença a haver una normativa àmplia i precisa sobre aquest problema als ajuntaments i en algunes comunitats autònomes, però hi ha hagut moltes dificultats per tirar endavant una directiva comunitària. Una cosa semblant està passant a escala nacional: s'ha detectat la necessitat de disposar d'una llei marc, però s'està retardant la seva publicació. Tot això és un símptoma inequívoc de que el problema del soroll encara no es considera com un problema important de la nostra societat o, si ho és, les dificultats són grans per arribar a un consens.

Si ens atenim a l'evolució de la legislació sobre el soroll, sembla que el procés ha estat totalment invers a com s'hauria d'haver desenvolupat. Han pres consciència de la situació, en primer lloc els ajuntaments, que són els que viuen i es troben més a prop del problema; al voltant d'aquestes institucions s'ha desenvolupat una normativa pròpia, mitjançant les anomenades ordenances municipals. Després, ha seguit la preocupació des de les comunitats autònomes, que s'han adonat que no estava bé que cada ajuntament disposés d'una legislació pròpia, sense que hi hagués un marc de referència general a la comunitat a la qual pertanyen; això ha fet que alguns parlaments autonòmics s'hagin pres seriosament aquesta necessitat, de manera que han promulgat lleis que poguessin actuar com un marc general per ajudar els ajuntaments a establir la seva pròpia normativa. Aquest compromís s'ha considerat totalment necessari, atès el gran desordre que es podria crear en un tema que hauria d'estar marcat per l'objectivitat i el consens. En un tercer moment ha estat el Govern espanyol qui ha vist la necessitat d'harmonitzar i unificar una legislació que podia resultar caòtica. Finalment, és també la Unió Europea la que ha intervingut i s'ha compromès a promulgar una normativa que sigui un marc de referència per als països de la Unió.

4.1 Normativa Europea

La referència més general en l'àmbit europeu és el V Programa d'Acció en relació amb el Medi Ambient i el Desenvolupament sostenible del maig de 1992. En aquest programa es posen els límits al creixement de la contaminació acústica i es donen per bons aquells nivells que poden ser tolerables. Pensant en l'any 2000, s'estableixen els següents objectius:

- Impedir que la població estigui exposada a nivells de soroll superiors a 65 dB i que en cap moment no se superin els 85 dB.
- La població de les ciutats que ja estigui exposada a nivells compresos entre 55 i 65 dB, no s'hauria de veure afectada per nivells superiors.
- La població actualment exposada a nivells inferiors a 55dB, no s'hauria de veure afectada per nivells superiors.

El 25 de juny del 2002, es va aprovar la *Directiva europea 2002/49*, sobre l'avaluació i la gestió del soroll ambiental. Els seus principals objectius són: establir un enfocament comú destinat a evitar, prevenir o reduir amb caràcter prioritari els efectes nocius, incloent les molèsties, de l'exposició al soroll ambiental. S'aplicaran progressivament les mesures següents:

- a) La determinació de l'exposició al soroll ambiental, mitjançant l'elaboració de mapes sònics segons mètodes d'avaluació comunes als Estats membres.
- b) Posar a la disposició de la població la informació sobre el soroll ambiental i els seus efectes.
- c) L'adopció de plans d'acció pels Estats, prenent com a base els resultats dels mapes de sorolls, amb vista a prevenir i reduir el soroll ambiental sempre que sigui necessari i, en particular, quan els nivells d'exposició puguin tenir efectes nocius en la salut humana, i a mantenir la qualitat de l'entorn acústic quan aquesta sigui satisfactòria.

El 06/02/2003, es va aprovar la *Directiva 2003/10* del Parlament Europeu i del Consell sobre les disposicions mínimes de seguretat i salut dels treballadors exposats al soroll.

El Llibre Verd és ja una referència obligada a l'hora de plantejar el tema de la contaminació acústica. Després d'una introducció on es recull l'estat de la qüestió i els objectius que cal aconseguir, exposa de manera concisa el problema del soroll a Europa, i incideix, sobretot, en dos aspectes: el primer, els nivells actuals de contaminació acústica segons algunes de les fonts que contaminen; i el segon, la població afectada. Com que la Comissió Europea no té la intenció de crear conflictes territorials, dedica un apartat a analitzar les accions dutes a terme pels països membres a fi de poder arribar a un consens. La conclusió a què arriba és poc satisfactòria; d'una banda, reconeix que s'han obtingut certs èxits, gràcies a la legislació i als avenços tecnològics, però sembla que no hi ha hagut progressos significatius al llarg dels darrers quinze anys en el nivell d'exposició al soroll ambiental.

Però l'important no és el passat ni el present, sinó el futur, i en aquest sentit el document deixa ben clar quins objectius cal aconseguir: crear un nou marc basat en la responsabilitat compartida, la qual cosa implica establir objectius, controlar els progressos aconseguits i adoptar mesures per millorar l'exactitud i l'estandardització de les dades, per tal que les diverses accions siguin més coherents.

VALORS PRESENTATS PER L'OCDE COM A VALORS MOLESTOS

- A partir de 55-60 dBA el soroll causa molèstia.
- Entre 60-65 dBA la molèstia augmenta considerablement.
- Per sobre de 65 dBA sorgeixen perturbacions dels models de comportament i símptomes de lesió greu.
- L'Organització Mundial de la Salut ha suggerit un valor estàndard per als nivells mitjans de soroll a l'aire lliure de 55 dBA.

	Dia		Nit	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Habitatges dormitoris	50 dBA	55 dBA	30 dBA ^(*) 45 dBL _{Amàx}	45 dBA
Escoles i hospitals				
General	35 dBA		35 dBA	45 dBA
Sales	30 dBA		30 dBA	40 dBA
Sales de concert	100 dBA durant 4 h		100 dBA durant 4 h	
Discoteques	90 dBA durant 4 h		90 dBA durant 4 h	

dBA: decibels.

(*) Inclús nivells sonors més baixos poden perturbar el son, depenent de la font de soroll i de la situació global del soroll.

4.2 Normativa Estatal

Els nostres legisladors no han tingut consciència de la magnitud del problema i, a vegades, s'han justificat assenyalant que es tractava d'un problema local. Això no obstant, en aquests moments la situació està canviant, i juntament amb la normativa dispersa que ha anat abordant algunes qüestions relacionades amb la contaminació acústica.

El 17 de novembre del 2003, es va aprovar la *Llei estatal 37/2003* del soroll. Aquesta llei té per objecte prevenir, vigilar i reduir la contaminació acústica, per evitar i reduir els danys que d'aquesta poden derivar-se per a la salut humana, els béns o el medi ambient.

El 16 de desembre del 2005, es va aprovar el *Real Decret 1513/2005* de desenvolupament de la Llei 37/2003 del soroll.

El 10 de març del 2006, es va aprovar el *Real Decret 286/2006* sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors exposats al soroll.

El 19 d'octubre del 2007, es va aprovar el *Real Decret 1367/2007* de desenvolupament de la Llei 37/2003 de Soroll, referent a la zonificació acústica, objectius de qualitat i emissions acústiques i també, el *Real Decret 1371/2007*, pel qual s'aprova el document bàsic "DB-HR Protecció frente al ruido" del Codi Tècnic de l'Edificació.

A l'hora d'establir objectius de qualitat sonora es diferencien clarament la recuperació o correcció d'ambients sonors degradats, de la prevenció de les noves situacions. Amb aquesta distinció es tracta de deixar clares les diferents polítiques que cal adoptar, tant si es tracta de planificar les zones de la ciutat del futur, com de corregir l'impacte acústic en situacions ja consolidades. Mentre que per al primer objectiu es poden i s'han d'establir uns valors límit clars, precisos i estrictes, a fi i efecte de garantir una qualitat acústica, pel que fa al segon això resulta més problemàtic, ja que, si s'estableixen nivells, es deixaria en una situació anòmla una gran part dels nuclis urbans de les ciutats. Per això, es creu que la solució dels problemes del soroll d'aquestes zones no s'aconseguirà amb actuacions estrictament acústiques, sinó amb

mesures més generals, que tinguin en compte tota l'activitat de la zona, incloent-hi també el trànsit.

En definitiva, es tracta de desenvolupar una norma que permeti establir un procediment administratiu ràpid i eficaç, amb el qual es pugui assegurar de manera eficient i integradora la protecció dels ciutadans contra els efectes nocius produïts pel soroll en qualsevol de les seves manifestacions.

4.3 Normativa Catalana

La Generalitat de Catalunya va publicar una resolució el 30 d'octubre de 1995, per la qual s'aprovava una Ordenança Municipal Tipus, amb la finalitat d'establir objectius de qualitat ambiental i regular les actuacions específiques en matèria de sorolls i vibracions. Posteriorment, es va aprovar la *Llei 3/1998*, sobre protecció ambiental, i el *Decret 136/1999*, que la desenvolupa. Des del 28 de Juny del 2002, disposem d'una Llei de Protecció Contra la Contaminació Acústica (*Llei 16/2002*). Aquesta llei regula les mesures necessàries per prevenir i corregir la contaminació provocada pels sorolls i les vibracions. Estableix els mecanismes necessaris per fixar els objectius de qualitat acústica en el territori i per donar resposta a la problemàtica produïda per aquest tipus de contaminació. El seu objectiu primordial és vetllar perquè les actuacions que es porten a terme en l'àmbit dels nuclis urbans no afectin la salut, el benestar i la qualitat de vida dels ciutadans i ciutadanes, el dret a la intimitat i el dret a tenir un medi ambient adequat per al desenvolupament de la persona.

El 8 de novembre del 2005, s'aprova el *Decret 245/2005* sobre els criteris per a l'elaboració de mapes de capacitat acústica. Aquest decret diu que: els ajuntaments han d'elaborar un mapa de capacitat acústica amb els nivells d'immissió dels emissors acústics a que és aplicable la Llei de protecció contra la contaminació acústica que estiguin inclosos a les zones urbanes, els nuclis de població i, si escau, les zones del medi natural, a l'efecte de determinar la capacitat acústica del territori mitjançant l'establiment de les zones de sensibilitat acústica en l'àmbit del municipi respectiu.

Catalunya té una àmplia normativa sobre el soroll: la norma a seguir és l'Ordenança Municipal Tipus. No delimita els nivells que no es poden sobrepassar, sinó que estableix uns valors guia ajustats a uns criteris. S'entén per valors guia d'immissió aquells nivells màxims recomanats en l'ambient exterior o interior, i que són fixats en funció del període horari i de la zona de sensibilitat acústica.

VALORS LÍMIT PERMESOS A CATALUNYA

En decibels (dBA)

	Nivell mitjà de soroll en dBA	
	Diürn	Nocturn
<i>Els valors guia d'immissió en l'ambient exterior^(*)</i>		
Zona de sensibilitat acústica alta	60	50
Zona de sensibilitat acústica moderada	65	55
Zona de sensibilitat acústica baixa	70	60
Zona de servitud ^(**)	Sense especificar	Sense especificar
<i>Els valors guia d'immissió en l'ambient interior</i>		
Zona de sensibilitat acústica alta	30	25
Zona de sensibilitat acústica moderada	35	30
Zona de sensibilitat acústica baixa	40	35

(*) A les vies i travessies urbanes on l'intensitat mitjana de vehicles diaris és igual o superior a 250.000 vehicles, els valors guia d'immissió s'incrementarien en 5 dBA.

(**) La determinació dels nivells es deixa a mans dels ajuntaments.

4.4 Normativa Municipal (Reus)

La finalitat d'aquesta ordenança és establir els objectius de qualitat ambiental i de protecció de la salut i urbanística, com també regular les actuacions en el municipi específiques en matèria de sorolls i vibracions.

Els principals objectius són:

- Integrar en el conjunt de l'acció que exerceix l'ajuntament, els requeriments de qualitat de vida, protecció i millora del medi ambient i de la salut.
- Ordenar la conducta dels ciutadans vers el respecte als objectius de qualitat que s'assenyalen en l'apartat anterior.
- Establir els sistemes, procediments i instruments d'actuació necessaris per a una intervenció eficient en aquesta funció.

Aquesta regulació s'aplica a qualsevol activitat pública o privada que origini sorolls i/o vibracions, que estigui emplaçada o s'exerceixi en l'àmbit del terme municipal, com ara el trànsit, les màquines, les instal·lacions, les obres, espectacles, activitats musicals, etc. Per a l'exigència del compliment de les determinacions d'aquesta Ordenança davant l'Administració municipal estan legitimats tots els veïns i residents en el municipi.

En el desenvolupament de les diferents tasques de planejament urbà i d'organització de tot tipus d'activitats i serveis, l'Ajuntament contemplarà el soroll juntament amb els altres factors implicats, per tal de garantir el més elevat nivell de qualitat de vida.

5. El soroll en els centres educatius

Una bona qualitat acústica dins de l'aula és un requisit essencial per tal que la comunicació oral sigui fàcil i fluïda. Estudis realitzats demostren que una mala acústica en el moment de l'aprenentatge es tradueix en una deficiència en l'adquisició de les tasques cognitives (lectura, atenció, memorització i la capacitat de resoldre problemes). Aquest fet s'agreuja en els alumnes més joves, en els que tenen algun tipus de problemes (com ara dislèxies) o pel qui les classes es realitzen en una llengua diferent a la llengua materna. Aquest grup requereix un nivell de claredat de la paraula més elevat que la resta ja que és necessari comprendre la totalitat de les paraules per entendre el missatge.

D'altra banda el soroll també actua com a estímul de distracció i una incitació per generar més soroll. En general, els alumnes de secundària no són massa conscients del soroll o bé els serveix com a codi de comunicació, de manera que no experimenta cap sentiment de molèstia respecte del soroll. Això provoca que els nostres alumnes no se'n protegeixin i que, fins i tot, el busquin, cosa que els fa molt més vulnerables a les agressions acústiques. Aquest fet dificulta de forma important la feina dels ensenyants, tant pel que fa a la qüestió purament docent com a l'intent d'establir un clima acústic millor als centres.

L'augment del nivell sonor d'una aula per sobre dels 65 dB fa disminuir la intel·ligibilitat de l'alumnat de forma sensible i, en canvi, en una aula amb bona acústica, l'aprenentatge és més fàcil.

5.1 Fonts del soroll

Una ullada per la geografia de la ubicació dels centres docents posa de relleu que alguns han estat edificats sense tenir en compte el volum de soroll del seu entorn i els problemes que això ocasiona. En un país de clima mediterrani com ara el nostre, les finestres s'obren durant un període considerable del curs escolar.

Però el soroll dels centres d'ensenyament no prové únicament de l'exterior. Acostumen a ser problemàtics alguns equipaments com ara els tallers de certes assignatures, que no sempre han estat situats pensant en la incidència de les activitats sorolloses que s'hi fan en relació a d'altres de tipus intel·lectual en què la comunicació esdevé imprescindible; les classes d'Educació Física, quan el pati on s'imparteixen és molt pròxim a les aules; parets que no aïllen suficientment una aula de l'altra...

Podríem classificar en tres els factors de contaminació acústica a les aules:

- 1r: El soroll produït pels mateixos alumnes.
- 2n: El soroll de fons de l'aula, que pot provenir de fonts externes (carrers, tallers, pati...).

- 3r: La reverberació: l'efecte produït pels rebots de les ones sonores a les parets, al sostre..., que fan que l'alumne no només rebi el missatge parlat de forma directa, sinó innumerables còpies d'aquest missatge, fruit de la reflexió sobre parets i objectes del recinte.

5.2 Recomanacions generals

Abans de plantejar actuacions, tant de caràcter preventiu com pal·liatiu, cal conèixer la realitat del centre educatiu, és a dir, s'hauria primer d'avaluar l'impacte acústic que pateix i les seves repercussions per poder plantejar, posteriorment, actuacions correctores o preventives tenint en compte les característiques del centre i el context on està situat.

Per aconseguir que el soroll ambiental no interfereixi en la comunicació i, per tant, en l'efectivitat de l'ensenyament, cal:

- Seleccionar cuidadosament la seva ubicació, estant el més allunyat possible de focus de soroll. Això es pot saber mitjançant la informació dels mapes sònics de la ciutat.
- En cas que no es puguin evitar focus de soroll ambiental (per proximitat a trens, cotxes, aeroports...), cal estudiar la possibilitat de col·locar dispositius anti-soroll (pantalles anti-soroll) o alternativament es poden seleccionar els elements que constitueixen les façanes (les finestres) d'aquests edificis atenent a les seves característiques d'amortiment del soroll exterior amb certificats acreditatius.

S'aconsella instal·lar una fusteria eficaç a les finestres, de manera que l'aïllament mínim del soroll ambiental sigui de 30 dB.

- Per tal de prevenir interferències de sorolls dins del propi edifici i per aconseguir que dins de l'aula les característiques acústiques permetin la intel·ligibilitat de la comunicació oral també és important seleccionar els materials que constitueixen els revestiments de les aules i també dels elements separadors de les diferents aules.

Per evitar reverberació cal afegir material absorbent a les aules (panells absorbents al sostre i meitat superior de les parets). Si això no és possible també es poden aconseguir millores:

- * Vestint les aules amb llibreries, prestatgeries, penja-robes i objectes diversos que facilitin la difusió del so i disminueixin la reverberació.
- * Instal·lant juntes e goma a les finestres o elements per hermetitzar les obertures que donen al carrer.
- * Substituint les tarimes de rajola per tarimes de fusta, que permetin reduir el temps de reverberació.
- * Proveint les potes de taules i cadires de taps de pelfa per tal d'evitar el soroll d'arrossegament de cadires al final de les hores de classe, evitant generar sorolls a les aules de pisos inferiors durant els canvis de classe.

- Finalment és important verificar (fent proves in-situ) la transmissió del soroll exterior, la del soroll entre aules i la reverberació i intel·ligibilitat existent en l'interior de cada aula.

Per donar més importància als aspectes relacionats amb contaminació acústica dins de la gestió del centre es pot:

- Millorar la conscienciació en alumnes i professors.
- Informar als alumnes per tal d'intentar provocar un cert grau de reflexió.
- Tenir un mapa sònic del centre i actualitzar-lo en el temps.
- Fer un seguiment dels resultats, valoració i informació per a tothom.
- Valorar i portar a terme millores continuades.
- Considerar-ho en noves instal·lacions o canvis.
- Especificar-ho bé en el Reglament de Règim Intern.

6. Part experimental

La part experimental d'aquest treball consisteix en l'enregistrament de dades per tal d'elaborar un mapa sònic de l'institut i poder veure el nivell d'intensitat sonora que patim cada dia tots els alumnes i professors del centre.

Per a poder fer aquest mapa sònic, es procedirà a la mesura del so mitjançant un sonòmetre en diferents parts de l'institut i en determinats períodes de temps.

En aquest treball es vol determinar el nivell d'intensitat sonora a que estem exposats cada dia i saber quin és el focus del problema. Això servirà per poder fer unes recomanacions per tal de millorar la situació acústica a l'institut.

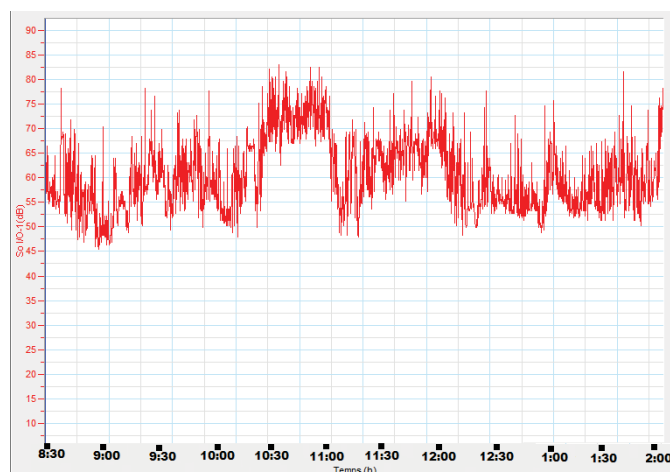
A més s'inclouen unes enquestes (i els seu anàlisi) sobre contaminació acústica respostes per alumnes de l'institut de diferents cursos, per tal de saber el grau de preocupació envers aquesta problemàtica.

6.1 Recollida de dades d'intensitat sonora i anàlisi de resultats

Dilluns 25/10/2010. BAR

Enregistrament dades: 8:30 h. a 2:00 h.

- Punta màxima 83 dB
- Punta mínima 45,406 dB



Aquest és un gràfic del bar de l' Institut. En aquest gràfic podem veure que durant el pati d'ESO (10:30-11:00) és quan és més alt el nivell d'intensitat sonora i es manté constant.

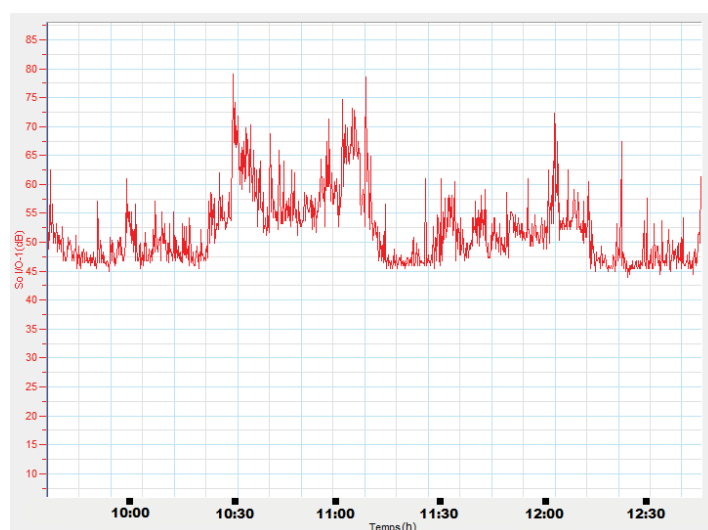
Seguidament hi trobem el pati de BAT (11:30-12:00) que també té un nivell d'intensitat sonora força elevat. La diferència es deu a que el nombre d'alumnes d'ESO és major i el seu comportament (són més joves) influeix també en un augment del soroll.

La recollida de dades s'ha tingut que fer varies vegades, ja que es tracta d'un local petit i tancat, i les reverberacions són més intenses.

Dimarts 2/11/2010. BIBLIOTECA

Enregistrament dades: \approx 10 h. a 12:30 h.

- Punta màxima: 79,094 dB
- Punta mínima. 43,941 dB



Aquest és un gràfic de la biblioteca de l' institut. En aquest gràfic es veu clarament que l'hora del pati dels alumnes d'ESO és, sens dubte, el moment on és més alt el nivell d'intensitat sonora. Això és degut a que molts alumnes aprofiten l'hora del pati per anar a la biblioteca a estudiar.

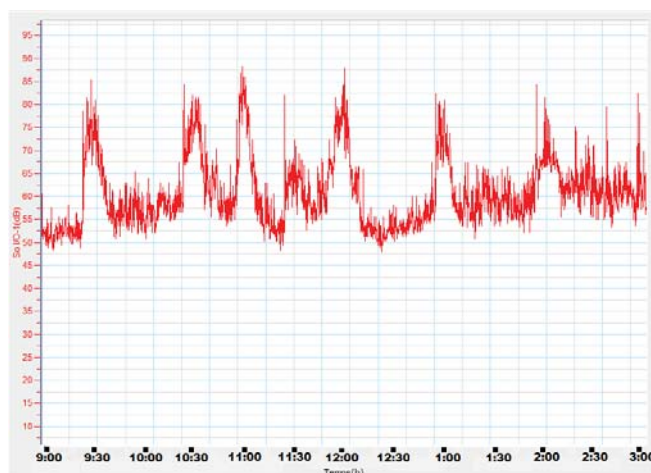
A l'hora del pati de BAT la biblioteca estava tancada, per tant el soroll enregistrat prové del passadís. Això fa pensar que les parets no estan massa ben aïllades i es detecta un soroll de fons a l'interior de la biblioteca sense haver-hi alumnes.

A les biblioteques el nivell d'intensitat sonora ha de ser baix, ja que molts alumnes hi van a estudiar i, per tant, necessiten molta concentració (que només la poden tenir si no hi ha soroll).

Dijous 21/10/2010. Passadís BAIX

Enregistrament dades : de 9h. a 15 h.

- Punta màxima: 88,371 dB
- Punta mínima: 47,847 dB



Aquest és un gràfic del passadís de la primera planta de l' institut. En aquest gràfic es veuen clarament les puntes de soroll en els 5 minuts de canvi de classe, ja que és una zona on quasi tots els alumnes d' ESO passen a l'hora de canviar de classe.

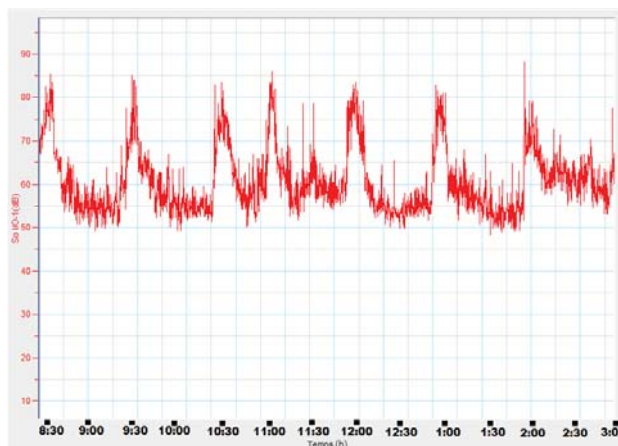
Per analitzar bé aquesta gràfica, l'hauríem de dividir en dues parts: abans del pati i després del pati. En les dues parts succeeix exactament el mateix. A la primera hora el nivell d'intensitat del soroll provinent de les classes és relativament baix, però va augmentant a mesura que passa el temps i ens anem acostant a l'hora del pati. Passa exactament el mateix després del pati on comença amb menys intensitat i va augmentant progressivament.

També ens hem de fixar en la duració dels "5 minuts entre classe i classe", ja que conforme passen les hores i s'arriba al final de les classes, es va allargant més aquest període. Així, a les 1:00 h l'obertura del pic és de 4 mm i a les 2:00 és de 6 mm.

Dijous 28/10/2010. Passadís DALT

Enregistrament dades: de 8:30h. a 15h.

- Punta màxima: 88,371 dB
- Punta mínima: 48,335 dB



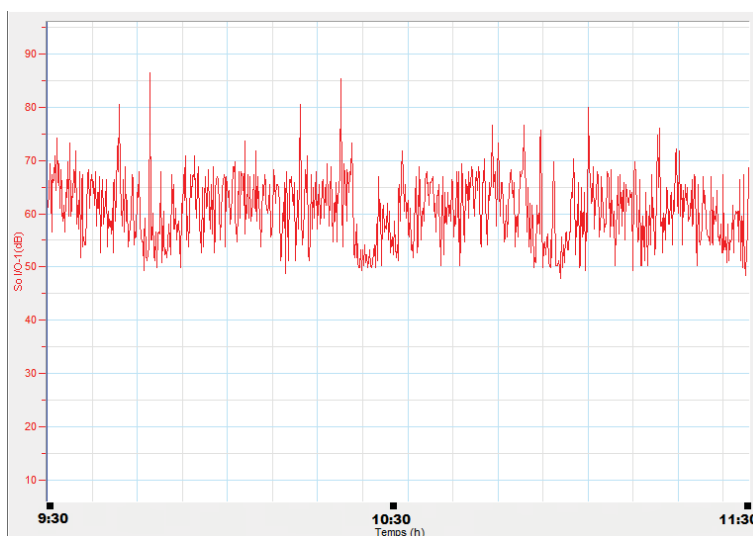
Aquest és un gràfic del passadís de la segona planta de d'institut. En aquest gràfic es veuen clarament les puntes de soroll en els 5 minuts de canvi de classe, ja que és una zona on quasi tots els alumnes d' ESO passen a l'hora de canviar de classe.

En aquesta gràfica passa exactament el mateix que a l'anterior (la del passadís de baix) en referència a les obertures dels pics en els períodes de canvi de classe.

Dimecres 3/11/2010. ELO 1 (aula informàtica)

Enregistrament dades: 9:30 h. a 11:30 h.

- Punta màxima 86,418 dB
- Punta mínima 47,847 dB

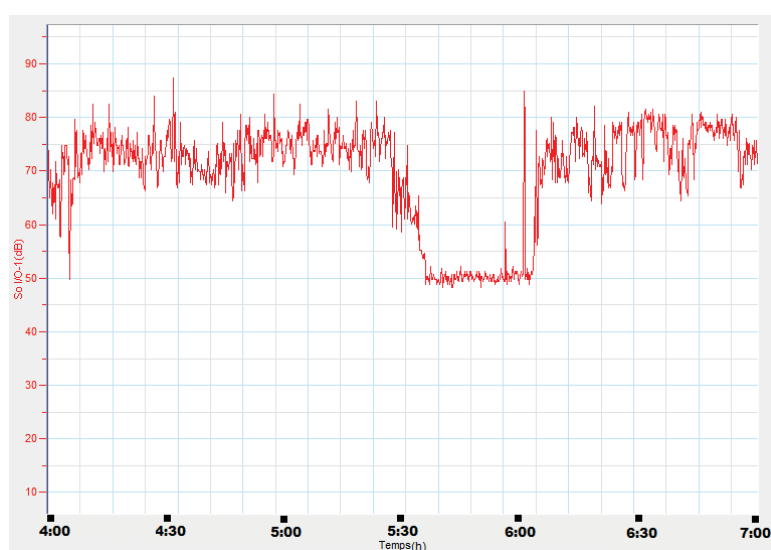


Aquest és un gràfic de l'aula d'informàtica dels tallers d'ELO de l' institut. En aquest gràfic es veu que el soroll dels ordinadors és constant (aproximadament 60 dB) i, per tant, no té gaires alts i baixos. En els "5 minuts de canvi de classe" podem veure una baixada de soroll degut a que l'aula queda buida.

Dimecres 3/11/2010. MET 1. (aula de metall)

Enregistrament dades: 4:00 h. a 7:00 h. (PM)

- Punta màxima 87,394 dB
- Punta mínima 48,335 dB



Aquest és un gràfic de l'aula de metall de l' institut. Vam recollir les dades a la tarda, ja que és quan totes les màquines de l'aula estan en funcionament. El so es manté constant en un nivell d'intensitat molt alt (entre 70 i 80 dB).

A l'hora del pati (de 5:30 a 6:00), podem veure clarament una baixada en el nivell d'intensitat sonora, ja que apaguen totes les màquines i l'aula queda buida.

Els alumnes d'aquesta classe estan exposats a alts nivells d'intensitat sonora durant un període prolongat de temps. Per tant, jo els recomanaria l'ús de cascs o algun altre mètode per tal de disminuir el soroll percebut i evitar així els seus efectes nocius.

6.2 Mapa sònic de l'institut

Per tal de confeccionar el mapa sònic de l'institut cal partir de les dades d'intensitat sonora mesurades. Hi ha sorolls variables en el temps, com per exemple el soroll del trànsit: per això cal fer la mitjana aritmètica de les dades.

També es requereix l'esquema de plantes de distribució de l'institut. En les pàgines següents s'inclouen tres esquemes:

- En el primer esquema (indicat com a mapa-1) estan senyalitzats amb un quadre vermell els llocs on s'ha col·locat el sonòmetre per tal de recollir les dades.
- El segon esquema (indicat com a mapa-2) correspon al període de 10:30 a 11:00 h (pati d'ESO). S'han acolorit els espais on s'han fet mesuraments seguint un gradient de colors en funció del nivell sonor. L'escala de colors es refereix tot seguit.
- El tercer esquema (indicat com a mapa-3) correspon al període de 11:30 a 12:00 h (pati de BAT), on també s'ha procedit a acolorir els espais segons la intensitat sonora enregistrada.

Escala de colors									
(dB)	50-52	53-55	56-58	59-61	62-64	65-67	68-70	71-73	74-76

El mapa sònic ens permetrà:

- 1.- Conèixer les característiques sonores del centre
- 2.- Fixar uns objectius que permetin protegir la salut física i emocional dels que hi estan
- 3.- Planificar els usos de les diferents instal·lacions i modificar o regular el trànsit de l'alumnat si s'escau
- 4.- Aplicar mesures correctores on calgui
- 5.- Donar informació a la població total dels nivells de soroll màxims que no s'han de superar
- 6.- Impulsar i fomentar programes d'informació i conscienciació per l'alumnat
- 7.- Fer públics els resultats en el centre i a la web de l'institut



MAPA 1



MAPA-2

MAPA-2 : PATI D'ESO

En el mapa-2 s'observa que el nivell d'intensitat sonora més elevat correspon al bar, seguit del passadís de baix, del passadís de dalt i finalment la biblioteca.

Al bar en nivell és molt elevat (al voltant de 70 dB), ja que en un recinte no massa gran es concentra molta gent en aquesta mitja hora i, a més, hi ha reverberació.

Al passadís de baix hi ha més soroll (uns 66 dB) que al de dalt (uns 63 dB), ja que hi ha alumnes que surten o entren al bar, que van al lavabo... i passen prop del passadís de la planta inferior. En canvi el passadís de dalt es troba menys transitat i això es reflecteix en les dades.

A la biblioteca, els nivells sonors estan al voltant dels 60 dB, molt per sobre del recomanat per un lloc on es pretén concentrar-se.



MAPA-3

MAPA-3 : PATI BAT

Els espais amb més intensitat sonora són el passadís de baix i el bar, ambdós amb uns 66 dB, ja que és on més es concentren el alumnes en aquest període. S'observa que al bar hi ha menys intensitat sonora que no en el pati d'ESO, ja que els alumnes de BAT són menys nombrosos i tenen un millor comportament.

A continuació li segueix el passadís de dalt amb uns 60 dB, xifra també menor que la mesurada en el pati d'ESO.

Finalment és a la biblioteca on el nivell sonor és menor (d'uns 51 dB). En aquest espai no hi havia ningú en aquests trenta minuts i la dada mesurada es deu al soroll del passadís que, tot i que es redueix, no ho fa tot el que caldria ja que els aïllaments no són bons.

7. Conclusions i Recomanacions

Després de fer aquest treball he pres consciència de que la contaminació acústica és un assumpte important que cal tenir en compte, i que afecta negativament a la salut integral de les persones (ho corroboren els estudis mèdics, tant d'efectes fisiològics com psíquics) i al rendiment escolar.

En la bibliografia consultada he trobat que la societat sent preocupació per aquest tema i també els alumnes del nostre institut (com ho han expressat en les enquestes).

També m'he adonat que la contaminació acústica és un tema complex: amb això vull dir que hi ha molts factors que hi intervenen. A l'institut, per exemple, en la influència sobre el rendiment escolar hi ha aspectes personals (no a tots els afecta el mateix), de relació (el soroll que fa un, afecta a uns altres), té relació amb la vida personal, aspectes de gestió del Centre, aspectes tècnics, legals, etc.

A l'hora de confeccionar la part teòrica del treball he tingut que buscar, ordenar, classificar i, sobretot, sintetitzar tota la informació trobada en llibres i a internet. És una bona experiència que em serà útil en un futur.

Per fer la part experimental del treball he emprat (i estrenat!) un sonòmetre per a la recollida de dades de la intensitat sonora, sonòmetre que connectat a una consola de l'equip multilab ha permès el processament informàtic pel tractament de les dades. La part pràctica ha comprès diferents etapes: la recollida de dades de la intensitat sonora a diferents llocs del centre per determinar el nivell d'intensitat sonora ambiental - el grau de confort sònic - del centre i no de l'interior de les classes (amb la prèvia planificació, els entrebancs superats quan unes mesures no sortien bé i s'havien de repetir...), el processament d'aquestes per fer-ne una valoració, la confecció del mapa sònic de l'institut en determinats espais i en unes hores determinades i un estudi estadístic del grau d'afectació de la contaminació acústica als companys de l'institut mitjançant unes enquestes.

El mapa sònic serà útil per poder analitzar i controlar en el futur l'evolució del soroll en el temps. Com a eina de gestió penso que és molt interessant i imprescindible per poder comprovar les millores que es facin.

Les dades d'intensitat sonora obtingudes en els mesuraments posen en evidència que hi espais on la mitjana és més elevada, com en el bar a les hores del pati, sobretot en el pati d'ESO.

També en les aules de cicles on hi ha maquinària en funcionament (com passa a l'aula de metall) la mitjana d'intensitat és elevada i es determina clarament la baixada d'aquesta en el moment en què les màquines s'apaguen. Aquest nivell elevat d'intensitat sonora es veu reflectit en les queixes dels alumnes de 2n de BAT que tenen l'aula just al davant del taller de metall.

En els passadissos es detecta una gran pujada de la intensitat sonora en els cinc minuts del canvi de classe, quan els alumnes surten de l'aula. De fet, els nivells auditius són superiors, com és previsible, al passadís del pis de baix que no al de dalt a les hores del pati ja que hi ha més trànsit d'alumnes.

El sonòmetre emprat mesura en un rang de 45-110 dB i, per tant, el mínim valor que detecta és el de 45 dB que correspon a la intensitat sonora aproximada d'una conversa.

He trobat que les normatives legals respecte el soroll als centres educatius són poc clares i molt genèriques. Si som coherents amb la importància sobre el rendiment escolar, vol dir que les accions per minimitzar el soroll han de venir de la conscienciació de la direcció, dels alumnes i dels professors.

En el nostre centre tenim la sort d'estar en un lloc una mica aïllat i per això no hi ha massa repercussió del soroll exterior. De cara a reduir el soroll al nostre centre passo a relacionar unes recomanacions (les més pràctiques i les que no tenen un cost molt elevat, donada la situació de crisi actual), de manera que depenen més de la nostra voluntat que d'aspectes econòmics. Aquestes recomanacions sorgeixen de l'anàlisi de les dades experimentals i de les fonts bibliogràfiques, de les enquestes realitzades i de l'observació.

Recomanacions

1.- Per millorar la conscienciació en alumnes, professors, AMPA i la direcció:

S'hauria d'incloure la voluntat de controlar i minimitzar el soroll al Centre dins del Reglament de Règim Intern.

Seria d'ajut informar en les sessions de presentació del diferents cursos, fer campanyes de conscienciació (mitjançant cartells amb eslògans impactants, notes escrites, etc.), premiar als cursos menys sorollosos, fer enquestes a diferents nivells per saber l'abast del problema...

2.- Tenir un mapa sònic del centre i actualitzar-lo en el temps:

Donat que disposem del sonòmetre al centre, estaria bé confeccionar un mapa sònic renovat en períodes de temps establerts.

3.- Seguiment dels resultats, valoració i informació per a tothom:

Els resultats del mapa sònic haurien de ser coneguts per tothom i si hi ha desviacions, analitzar-ho per tal de posar-hi solució.

4.- Valoració i millores continuades a les instal·lacions del Centre. De les observacions que s'han anat fent, se'n desprèn:

- Les aules més sorolloses i que poden afectar a les aules del costat són les dels tallers i l'aula de música. Tot el que sigui insonoritzar millor aquestes aules reduiria el soroll de les del costat.

A més les portes dels tallers no són hermètiques (convindria revisar-les) i els compressors d'aire (que són models antics) que hi ha en aquests espais fan molt soroll puntualment.

- Els equips rotatius (normalment ventiladors) són els que fan més soroll.
Al passadís del segon pis n'hi ha un (ventilació instal·lació xarxa internet) que en fa bastant. També n'hi ha alguns més per refrigeració d'equips elèctrics o electrònics. El dispensador de llaunes de refresc també es bastant sorollós.
Una revisió d'aquests punts milloraria la qualitat acústica de l'entorn.
- L'estat dels fluorescents també és important. Quan comencen a anar malament augmenta considerablement el soroll, i convindria canviar-los.
- Al bar hi ha molta reverberació. Vestint una mica les parets es podria millorar l'acústica.
- A la zona de secretaria, les canonades de calefacció fan bastant soroll. Es podrien recobrir per mitigar-ho.
- Dins de les aules, les millores podrien ser:
 - Millorar les juntes de goma de les portes de les finestres.
 - Col·locar doble vidre a les finestres.
 - Mantenir en bons estat la goma de les potes de les cadires i les taules.
 - Mantenir ben engraxades les frontisses de les portes.
 - Posar juntes de goma a les portes i finestres per evitar cops.
 - Vestir les aules amb penja-robes, estants, cortines, etc. per evitar reverberacions. (també seria interessant fer proves amb pintura antireverberació).
- Posar bases anti-vibració fetes de goma en tots el equips rotatius (bombes, condicionadors d'aire, dispensador de llaunes de refrescs, etc.).
- El sistema d'altaveus hauria de ser menys estrident.

5.- Considerar-ho en noves instal·lacions o canvis

Per exemple, si algun dia s'obris una carretera a la part nord de l'institut, a on ara hi ha un camí, augmentaria bastant el soroll a les aules que donen al nord. S'haurien de demanar barreres físiques per no tenir afectació.

6.- Bona organització al Centre

De les classes, tallers, patis, etc., per tal de minimitzar la generació de soroll.

7.- Disciplina

És important que els professors actuïn per tal de mantenir a les classes el màxim silenci tant per la pròpia classe com per les aules del costat. Els horaris de començament i acabament de les classes s'hauria de complir de forma rigorosa.

S'ha de canviar l'actitud dels alumnes molt sorollosos. Crits, corredisses, soroll tancant portes, moviments de cadires o taules, són accions que s'han d'anar reduint.

En definitiva, hauríem d'implantar entre tots la cultura del silenci, com una eina que ens permeti millorar el rendiment escolar i la salut i que ens ajudi no solament a l'escola sinó a tot arreu.

8. Bibliografia

Pàgines web

El so

- http://www.germansanantonio.com/departamento_musica/2eso/experienciasenelaula/trabajos_tema1/2esob/adrianjaen_alvaro_2b_tema1_musica.pdf
- <http://usd.proves.ub.edu/psicamb/uni4/4920.htm>

a). Característiques del so

- <http://personal.redestb.es/azpiroz/acusticap.html#>
- <http://www.who.int/topics/noise/es/>
- <http://www.mitecnologico.com/Main/IntensidadDelSonido>
- <http://personal.redestb.es/azpiroz/acusticap.html#anchor18398>
- <http://www.ieesa.com/universidades/tesis01/capt4b.pdf>
- http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/andared01/paisaje_sonoro/contamina.htm
- <http://www.elruido.com/divulgacion/curso/cualidades.htm>
- http://www.zator.com/Hardware/H10_1.htm

b). Propagació del so

- http://ca.wikibooks.org/wiki/So/Propagaci%C3%B3_del_so
- http://portales.educared.net/wikiEducared/index.php?title=Velocidad_de_propagaci%C3%B3n_de_una_onda
- http://web.educastur.princast.es/proyectos/jimena/pj_franciscga/propason.htm

La contaminació acústica

- http://www.aytorota.es/doc/medio_ambiente/indicadores_ambientales/11.contaminacion_acustica.pdf
- <http://revistas.ucm.es/cca/11391987/articulos/OBMD0303110073A.PDF>
- http://www.edu365.cat/aulanet/comsoc/treballsrecerca/treballs_03_04/treb_publicats/conta_acustica/la%20contaminaci%F3acustica.pdf
- <http://www20.gencat.cat/portal/site/dmah/menuitem.8f64ca3109a92b904e9cac3bb0c0e1a0/?vgnnextid=f74e31012bd47210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=f74e31012bd47210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD>

a). Efectes sobre l'ésser humà

- <http://www.ehu.es/acustica/espanol/ruido/efectos%20y%20normativa/efectos%20y%20normativa.html>
- <http://www.botanical-online.com/ruidosalud.htm>
- http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Noise_health_effects

b). Legislació sobre el soroll

- <http://acústica.net/normativa/u-europea/normativa-europea/>
- http://www.gencat.cat/mediamb/ea/escoles_verdes/c_acustica_graf/manual_sonometre.pdf
- http://www.belt.es/legislacion/vigente/seg_ind/prl/higiene/cont_fisi/ruido/internacional/index.htm
- <http://reus.net/ajuntament2/govern/normativa/ordenances/ordenances/sorollvibracions.php?cap=1>
- http://www.sindic.cat/site/unitFiles/2167/49_Contaminacioacustica.pdf
- <http://www.diba.es/mediambient/soroll.asp>

c). Tècniques d'estudi del so

- <http://ddd.uab.cat/pub/ciencias/16996712n6p8-pdf>
- http://www.xtec.cat/formacio/materials_recursos/multilog/fisica/caiguda.pdf
- http://www.xtec.cat/formacio/materials_recursos/multilog/fisica/dissipada.pdf
- http://www.xtec.cat/formacio/materials_recursos/multilog/multilogmultilab.pdf

Revistes (pàgines web)

- http://www.isover.net/asesoria/revista_club/025/seccion_acustica.pdf: “¿como evitar el ruido a tu vivienda?”
- http://www.isover.net/asesoria/revista_club/017/seccionacu.pdf: “El decibelio”
- http://www.isover.net/asesoria/revista_club/018/secciontec.pdf: “La frecuencia”
- http://www.isover.net/asesoria/revista_club/015/secciontec.pdf: “La absorción acústica”
- http://www.isover.net/asesoria/revista_club/019/seccionacu.pdf: “Propagación del sonido”

Libres

- García Sanz, Benjamín i Garrido, Francisco Javier (2003). *“La contaminación acústica a les nostres ciutats”*. Editorial Fundació “La Caixa”. Barcelona
- Isalgué Buxeda, Antoni (1995). *“Física de la llum i el so”*. Edicions UPC. Barcelona
- Cuenca David, Ignasi i Gómez Juan, Eduard (2006). *“Tecnología básica del sonido”*. Edicions Paraninfo. S.A. Madrid
- Edward Gettys, W. , Keller, Frederich i Skove, Malcom (1991). *“Física clásica y moderna”*. Edició de McGRAW-HILL. Madrid
- Sears, Francis W. i Zemansky, Mark W. (1971). *“Física”*. Tercera edició. Editorial Aguilar. EE.UU
- Resnick, Robert i Halliday, David (1961). *“Física”*. Primera edició. Editorial C.E.C.S.A. Mèxic
- Garrido González, Antoni i altres (2009). *“Física II”*. Editorial Edebé. Barcelona.
- Jiménez Albiac, Dani (2007). *“Ciència a un euro”*. Editorial Ara llibres. Badalona
- Galadí-Enriquez, David (2006). *“Cuestiones curiosas de ciencia”*. Alianza editorial. Madrid
- Aydon, Cyiril (2006). *“Historias curiosas de la ciencia”*. Editorial Robinbook. Barcelona
- Wolke, Robert L. (2003). *“Lo que Einstein le contó a su barbero”*. Editorial Robinbook. Barcelona
- Wolke, Robert L. (2002). *“Lo que Einstein no sabía”*. Editorial Robinbook. Barcelona

9. Annexos

9.1 Característiques del sonòmetre i consola emprats

La interfície o consola té al costat esquerre l'entrada d'alimentació (DC9-12V) i els sòcols de connexió sèrie USB i sèrie de 9 pins per comunicar la consola i l'ordinador. La consola també disposa d'una bateria interna recarregable que li permet funcionar de manera autònoma. A la part posterior de la consola hi ha 4 sòcols d'entrada i de sortida per als corresponents sensors.

Sòcols d'entrada i de sortida (I/O)

- 1^a entrada, I/O-1
- 2^a entrada, I/O-2
- 3^a entrada, I/O-3
- 4^a entrada, I/O-4



Entrada d'alimentació
(DC 9-12V)

Sòcol de
connexió PC
sèrie USB

Sòcol de connexió
PC sèrie de 9 pins

El sensor de nivell de so es pot connectar als recollidors de dades ITP-C, MultiLog PRO o TriLink. El sensor de nivell de so mesura el so en decibels (dB). És ideal per mesurar sorolls i acústica ambiental. El DT320 inclou un filtre especial per filtrar qualsevol soroll que pugui venir del voltatge de base de recollidor de dades. El sensor té tres etapes d'amplificació i canvia automàticament per tal d'obtenir un rang màxim i flexible.

El sensor consta d'un micròfon amb la corresponent part electrònica. El micròfon detecta les petites variacions de pressió de l'aire associades al so i les transforma en senyals elèctriques que són processades pel circuit electrònic del sensor.

Especificacions:


Rang:	45 – 110 dB
Precisió: (a $23^{\circ} \pm 5^{\circ}$)	± 3 dB
Resolució (12-bit):	0.05 dB
Ritme de mostreig recomanat:	10 o 25 mostres per segon
Angle d'emissió i recepció:	$\pm 15^{\circ}$ - $\pm 20^{\circ}$
Rang de freqüències:	31.5 – 8000 Hz

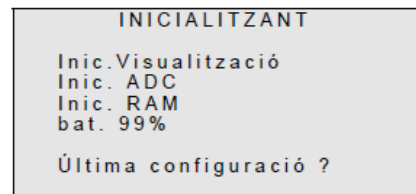
Temps de resposta:	20 ms
Temperatura d'operació:	0°C a 50°C (32°F a 122°F)
Humitat d'operació:	Max.90%RH (0°C a 35°C)


A continuació es relaciona el procediment seguit en l'ús d'aquest equip.

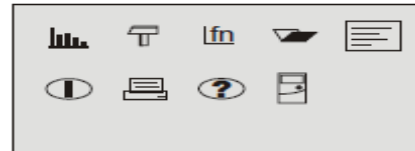
La consola MultiLog Pro


Captació de dades

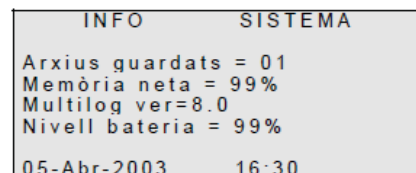
- Engegar el MultiLog Pro (premer el botó  i es veu la pantalla d'iniciació).



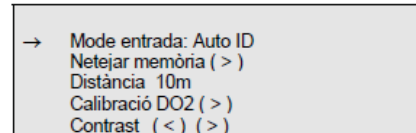
- Premer **Enter**  per carregar l'última configuració. Si es necessita una nova configuració cal esperar fins que es vegi la pantalla del Menú Principal.




- Anar a la pantalla **d'Informació del sistema**  i comprovar quants arxius hi ha guardats de memòria útil, l'estat de la bateria, el rellotge integrat i el calendari. (El rellotge integrat i el calendari es configuren per primera vegada quan s'utilitza l'opció Configuració del programari MultiLab per programar el MultiLog Pro, i s'actualitza a l'hora i data de l'ordinador cada cop que es connecta el MultiLog Pro a l'ordinador).

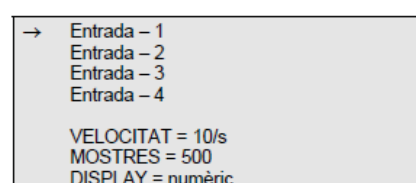


- **Sortir**  i anar a **Configuració del sistema**





- , fer **Enter**  i escollir el Mode d'entrada: Auto ID, netejar la memòria i ajustar el contrast conforme es vulgui.

- Sortir i anar a **Configuració de les mesures**  i veure que indica que no hi ha cap sensor connectat.





- Connectar el sensor a l'entrada I/O-1
- El cursor es col·loca automàticament davant de *VELOCITAT*


Escollir amb el botó  l'opció: Cada segon, fer **Enter**, anar a *MOSTRES* i escollir-ho.

- Anar a *DISPLAY* i escollir gràfic. Acceptar i el cursor indica **COMENÇAR**.
- Prémer  i iniciar la captació de dades.



Anàlisi de dades

Anar endavant  i endarrere  per a llegir altres valors. Si es premen alhora els dos botons anteriors es farà un zoom a les dades i ocuparan tota la pantalla, cal provar-ho. Si es vol

tornar a la vista anterior prémer 

El menú **Funcions**  mostra una estadística de les dades de l'arxiu actual. Anar a aquest menú i observar que presenta els valors **mínim, màxim, mitjana**, i informa del número d'arxiu i de l'entrada amb que s'ha captat.

Descarregar arxius a l'ordinador

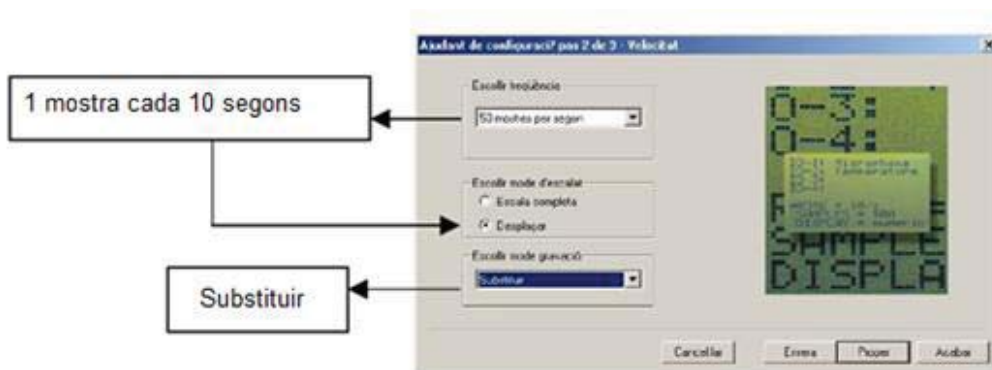
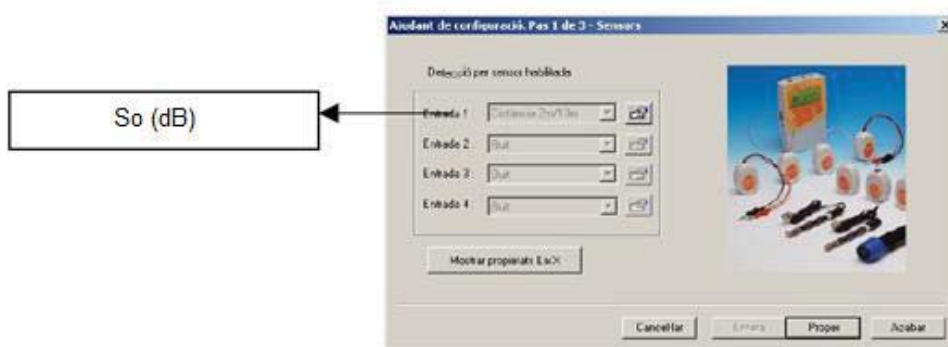
- Anar a **Obrir Fitxer**  i comprovar que es tenen les dades.
- Connectar amb el cable USB la consola i l'ordinador i engegar-la.
- Obrir el Multilab i comprovar que reconeix que la consola està connectada. Anar al menú **Enregistrador/ descàrrega selectiva** i sortirà una finestra per a triar l'arxiu que es vol descarregar. També es pot fer aquesta operació mitjançant **Enregistrador/descarregar** o bé amb l'icona , i aleshores descarregarà el primer arxiu i, si es torna a fer, descarregarà el segon, etc.

El programa Multilab


- Obrir la consola
- Connectar-la al port USB de l'ordinador i a la font d'alimentació.
- Connectar el sensor de so al port I/O-1 de la consola
- Obrir el programa MultiLab: sortirà:








- Anar a Configuració  :

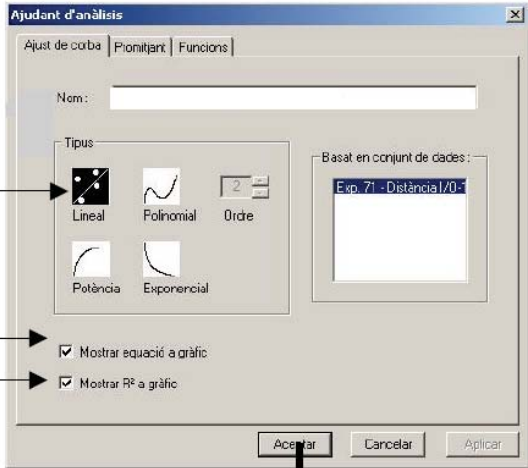


Enregistrament de dades a partir del programa MultiLog PRO

- Posar en marxa la recollecció 




- Per tenir la gràfica, clicar **Editar gràfic** , donar nom a la finestra de captació, incorporar-la al projecte clicant el botó **Afegir gràfic al projecte** .
- Amb els botons **Commutar primer cursor**  i **Commutar segon** .
- Anar a **Ajudant d'anàlisi**: .


Us apareixerà el gràfic corresponent a l'ajustament lineal i l'equació corresponent a més del valor de R^2 de l'ajustament de les dades.



El millor ajustament és aquell en què $R^2 \approx 1$

Afegir taules i gràfics a un projecte

- Anar a **Editar Taula**  afegir-hi una de les columnes disponibles i clicar **afegir**.
- Clicar **D'acord**.
- Finalment clicar el botó **Afegir a projecte**  a la barra d'eines de taula.
- Anar a **Editar gràfic** 

Activar: Eix x: temps
Eix y: la "columna disponible" afegida anteriorment.
- Fer **Afegir gràfic al projecte** .

9.2 Enquestes

Per tal de saber el grau en que afecta el soroll als alumnes de l'institut, se'ls ha passat la següent enquesta:

ENQUESTA SOBRE CONTAMINACIÓ ACÚSTICA

1.- A la teva vida privada, creus que el soroll t'afecta negativament en els teus estudis?

Valora-ho entre 0 (no m'afecta gens) i 10 (m'afecta moltíssim):

2.- En el nostre Centre, creus que el soroll t'afecta negativament a la classe?

Valora-ho entre 0 (no m'afecta gens) i 10 (m'afecta moltíssim):

3.- Tens alguna queixa/millora en relació al soroll al Centre? SI NO

En cas afirmatiu, quina?

4.- Et preocupa, en general, tant a la teva vida privada com al Centre, el tema del soroll?

SI NO

5.- Creus que la societat (governants, empreses, estaments públics, etc.) es preocupen per la problemàtica del soroll?

SI NO

Resultats i anàlisi de les enquestes:

RESULTATS ENQUESTA

3r ESO : 27 alumnes

- PREGUNTA 1: A la teva vida privada, el soroll t'afecta negativament en els estudis?**
Respostes: de 0 (no afecta) a 10 (afecta moltíssim)

Puntuació	Nombre alumnes	Percentatge (%)	Percentatge (%)
0	3	11,11	14,81
1	1	3,70	
4	5	18,52	55,55
5	4	14,81	
6	2	7,41	

7	4	14,81	
8	2	7,41	29,63
9	2	7,41	
10	4	14,81	

- PREGUNTA 2: Al Centre, el soroll t'afecta negativament a la classe?**

Respostes: de 0 (no afecta) a 10 (afecta moltíssim)

Puntuació	Nombre alumnes	Percentatge (%)	Percentatge (%)
0	4	14,81	33,33
1	3	11,11	
2	2	7,41	
3	3	11,11	40,73
4	1	3,70	
5	3	11,11	
6	3	11,11	
7	1	3,70	
8	3	11,11	25,92
9	1	3,70	
10	3	11,11	

- PREGUNTA 3: Queixa o millora del soroll al Centre?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	3	11,11
NO	24	88,89

Queixes o millores proposades: insonoritzar aula de música, tancar portes

- PREGUNTA 4: Et preocupa el tema del soroll?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	11	40,74
NO	16	59,26

- **PREGUNTA 5: A la societat, creus que preocupa el tema del soroll?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	4	14,81
NO	23	85,19

RESULTATS ENQUESTA

4t ESO : 19 alumnes

- **PREGUNTA 1: A la teva vida privada, el soroll t'afecta negativament en els estudis?**
Respostes: de 0 (no afecta) a 10 (afecta moltíssim)

Puntuació	Nombre alumnes	Percentatge (%)	Percentatge (%)
1	1	5,26	5,26
3	1	5,26	68,42
4	2	10,53	
5	7	36,84	
7	3	15,79	
8	3	15,79	26,32
9	2	10,53	

- **PREGUNTA 2: Al Centre, el soroll t'afecta negativament a la classe?**
Respostes: de 0 (no afecta) a 10 (afecta moltíssim)

Puntuació	Nombre alumnes	Percentatge (%)	Percentatge (%)
0	1	5,26	10,52
2	1	5,26	
3	1	5,26	68,42
4	2	10,53	
5	8	42,11	
6	1	5,26	
7	1	5,26	
8	1	5,26	21,05
9	1	5,26	
10	2	10,53	

- **PREGUNTA 3: Queixa o millora del soroll al Centre?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	2	10,53
NO	17	89,47

Queixes o millores proposades: sentir flautes a aula de música i professors classe veïna en els barracons

- **PREGUNTA 4: Et preocupa el tema del soroll?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	9	47,37
NO	10	52,63

- **PREGUNTA 5: A la societat, creus que preocupa el tema del soroll?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	4	21,05
NO	15	78,95

RESULTATS ENQUESTA

1r BAT : 18 alumnes

- **PREGUNTA 1: A la teva vida privada, el soroll t'afecta negativament en els estudis?**
Respostes: de 0 (no afecta) a 10 (afecta moltíssim)

Puntuació	Nombre alumnes	Percentatge (%)	Percentatge (%)
0	1	5,56	5,56
4	3	16,67	38,90
5	1	5,56	
6	1	5,56	
7	2	11,11	
8	7	38,89	55,56
9	2	11,11	
10	1	5,56	

- **PREGUNTA 2: Al Centre, el soroll t'afecta negativament a la classe?**

Respostes: de 0 (no afecta) a 10 (afecta moltíssim)

Puntuació	Nombre alumnes	Percentatge (%)	Percentatge (%)
0	2	11,11	22,23
1	1	5,56	
2	1	5,56	
3	1	5,56	66,67
4	2	11,11	
5	5	27,78	
7	4	22,22	
8	1	5,56	11,12
9	1	5,56	

- **PREGUNTA 3: Queixa o millora del soroll al Centre?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	3	16,67
NO	15	83,33

Queixes o millores proposades: sorolls procedents de l'aula de música, més control
gent als passadissos, sorolls procedents tallers dels mòduls

- **PREGUNTA 4: Et preocupa el tema del soroll?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	6	33,33
NO	12	66,67

- **PREGUNTA 5: A la societat, creus que preocupa el tema del soroll?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	2	11,11
NO	16	88,89

- **PREGUNTA 1: A la teva vida privada, el soroll t'afecta negativament en els estudis?**
Respostes: de 0 (no afecta) a 10 (afecta moltíssim)

Puntuació	Nombre alumnes	Percentatge (%)	Percentatge (%)
2	1	6,67	6,67
3	2	13,33	53,33
5	3	20	
7	3	20	
8	4	26,67	40,01
9	1	6,67	
10	1	6,67	

- **PREGUNTA 2: Al Centre, el soroll t'afecta negativament a la classe?**
Respostes: de 0 (no afecta) a 10 (afecta moltíssim)

Puntuació	Nombre alumnes	Percentatge (%)	Percentatge (%)
0	1	6,67	6,67
4	2	13,33	59,99
5	2	13,33	
6	3	20	
7	2	13,33	
10	5	33,33	33,33

- **PREGUNTA 3: Queixa o millora del soroll al Centre?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	11	73,33
NO	4	26,67

Queixes o millores proposades: soroll tallers metall (10 alumnes ho diuen), posar finestres més gruixudes aula, castigar a alumnes que parlen

- **PREGUNTA 4: Et preocupa el tema del soroll?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	4	26,67
NO	11	73,33

- **PREGUNTA 5: A la societat, creus que preocupa el tema del soroll?**

	Nombre alumnes	Percentatge (%)
SI	1	6,67
NO	14	93,33

EN RESUM:

- D'aquestes enquestes es pot deduir que els alumnes de BAT creuen que la contaminació acústica a la seva vida privada els afecta negativament en els estudis en un grau major que no els alumnes d'ESO.
- En el centre, la contaminació acústica afecta de manera diferent a les classes segons el curs a qui s'ha preguntat. Influeix en la resposta la ubicació de l'aula respectiva: és a 2n de BAT on surt el percentatge més elevat d'influència negativa de la contaminació acústica, ja que l'aula està situada just al davant del taller de metall on les màquines fan soroll.
- Les queixes més referides pels alumnes corresponen al soroll procedent de l'aula de música, dels tallers mecànics, de la gent que crida pels passadissos, portes obertes, alumnes que xerren molt, poc aïllament de les parets dels barracons...
- Genèricament la contaminació acústica preocupa més als alumnes de BAT: al voltant d'un 70% es mostren inquiets en aquest sentit. Per contra, als alumnes d'ESO només preocupa aproximadament a un 55%.
- Tots els alumnes opinen (en uns percentatges molt elevats: 80-90%) que la societat es preocupa poc per la contaminació acústica.

9.3 Els ultrasons

Són ones sonores la freqüència de les quals és per sobre de l'interval audible per l'ésser humà (freqüències superiors a 20000 Hz).

La generació d'ultrasons amb finalitats mèdiques i industrials es realitza mitjançant el fenomen de la piezoelectricitat. En fer incidir un corrent altern sobre una làmina de quars s'hi produeixen vibracions mecàniques, i les oscil·lacions de les partícules de la làmina originen les ones ultrasòniques.

SONAR

És un instrument basat en l'emissió, reflexió i detecció d'ultrasons. Si aquestes ones troben algun obstacle en la seva propagació, es reflecteixen i tornen al lloc d'emissió. Es pot reduir la distància a l'objecte a partir del temps transcorregut entre l'emissió i la recepció de les ones.

La primera aplicació del sonar i la que va impulsar la investigació dels ultrasons va ser el mesurament de la profunditat del mar. El sonar també s'utilitza en submarins per a la detecció de cossos submergibles, com ara mines, i en la pesca per a localitzar bancs de peixos.

APLICACIONS TERAPÈUTIQUES

En el camp de medicina són múltiples les aplicacions dels ultrasons. Per exemple en:

A) TERÀPIA ULTRASÒNICA

S'usa amb èxit en una àmplia gamma de patologies traumatològiques, reumatològiques i dermatològiques.

A les zones tractades amb ultrasons es produeix una reactivació de la circulació sanguínia, s'estimula el metabolisme cel·lular, s'alliberen substàncies vasodilatadores o es disgreguen molècules complexes.

B) SOLDADURA ÒSSIA

Algunes fractures òssies tenen una consolidació tardana o difícil. Els estudis realitzats demostren que en els pacients tractats amb ultrasons el temps mitjà de consolidació es redueix en diversos dies.

C) ECOGRAFIA

Aquesta tècnica permet l'examen de l'estat del fetus durant el seu desenvolupament en l'úter matern.

Una sonda articulada es desplaça sobre l'abdomen de la mare i envia en diferents direccions ultrasons de fins a 5MHz de freqüència. La reflexió dels ultrasons en la superfícies dels teixits corporals és pràcticament total. Els ecos són enregistrats

electrònicament i traduïts en traços lluminosos, fins a arribar a reproduir la imatge del fetus sobre una pantalla.

També es fa en altres òrgans.

APLICACIONS INDUSTRIALS

També a la indústria s'apliquen ultrasons. Per exemple en:

A) NETEJA ULTRASÒNICA

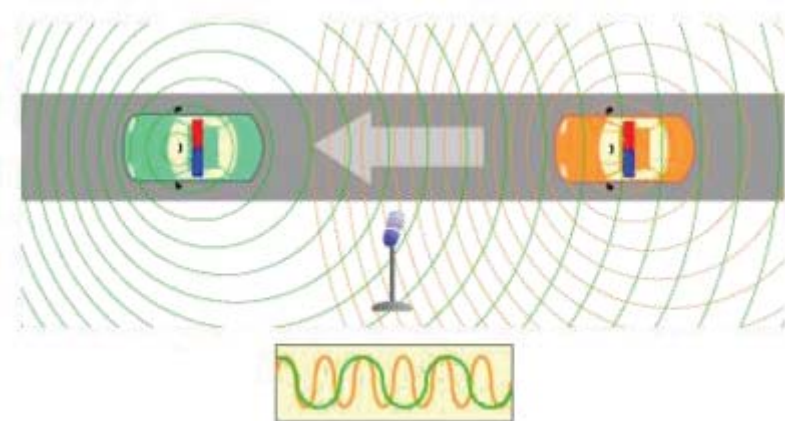
Consisteix a submergir la peça en un bany d'aigua i sotmetre-la a ultrasons. Aleshores té lloc un fenomen conegut com a cavitació: a l'aigua es produeixen implosions que trenquen l'estructura molecular de les partícules de brutícia.

B) SOLDADURA DE TERMOPLÀSTICS

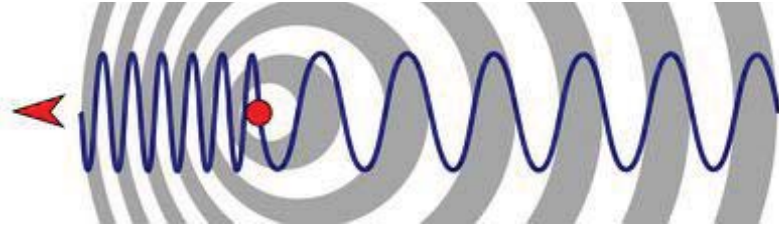
El aplicar ultrasons a un material plàstic es genera calor per fricció en zones locals, amb la qual cosa podem unir molecularment diferents parts en un curt espai de temps.

9.4 L'efecte Doppler

Aquest efecte consisteix en el canvi que experimenta la freqüència amb què percebem un moviment ondulatori respecte de la freqüència amb la qual ha estat originat, a causa del moviment relatiu entre la font i el receptor.



Un dels exemples més didàctics, és l'aproximació d'un tren fent sonar el xiulet. Mentre s'acosta el so del xiulet es percep més agut i quan s'allunya el so es percep més greu, tot i que el xiulet sempre està emetent amb el mateix to.



L'efecte Doppler s'anomena així perquè qui el va estudiar va ser el físic austríac Christian Doppler. Doppler va creure que la freqüència de les ones sonores provinents d'una font mòbil depenia del moviment d'aquesta font, de manera que, en un temps donat, arribarien més ones de so a l'oïda de l'espectador provinents d'una font de so que s'acosta que no d'una que s'allunya. De ser així, per definició, la freqüència més alta seria l'enregistrada per l'oïda com un so més alt. A l'any 1842 va preparar una teoria matemàtica que relacionava la velocitat d'una font mòbil de so amb la freqüència del so percebut, que es va verificar dos anys més tard mitjançant un experiment curiós, on una locomotora arrastrava cap en davant i cap enrere un grup de trompetistes, a velocitats variables i durant un període de dos dies, mentre un altre grup de músics anava analitzant en terra els sons que escoltaven.

Doppler va suggerir a continuació que la llum emesa per una font mòbil tenia que veure's afectada de manera similar, i que la menor freqüència de les ones lumíniques rebudes d'una font que s'allunyés produiria un envermelliment d'aquesta llum. L'astrònom britànic William Huggins va confirmar aquesta proposta a l'any 1868, quan va detectar un "corriment cap al vermell" en l'espectre de l'estrella Syrus. L'efecte Doppler en el cas de la llum és, tècnicament, l'efecte Doppler-Fizeau, en honor al físic francès Hippolyte Fizeau, que a l'any 1848 va assenyalar que l'efecte es manifestaria com a un corriment en les línies de l'espectre de l'estrella. En el cas d'una estrella que s'allunya, la menor freqüència provoca que les línies derivin cap a l'extrem vermell de l'espectre, l'anomenat corriment cap al roig. Les línies en l'espectre d'una estrella que s'acosta mostren un corriment cap al blau. Aquest corriment és proporcional a la velocitat amb què s'acosta o s'allunya l'objecte, i pot utilitzar-se per a mesurar aquesta velocitat. Aquest fet fou el que va permetre a Huggins donar un valor concret a la velocitat amb la que Syrus s'allunya de la Terra... o, millor dit, a la velocitat a la que se separen Syrus i la Terra.

Aplicacions:

- Els astrofísics usen aquest efecte per a determinar el moviment relatiu dels diferents cossos celestes, aplicat a la llum que ens n'arriba.
- La policia de trànsit també utilitza l'efecte Doppler per a mesurar, mitjançant un radar, la velocitat dels automòbils a la carretera.

9.5 Curiositats

9.5.1 Per què l'extrem d'un fuet pot superar la velocitat del so?

L'espetec d'un fuet és en realitat un esclat sonor en miniatura, produït perquè l'extrem del fuet viatja per l'aire més ràpidament que el so.

Quan un domador fa moure el fuet, està passant una gran quantitat d'energia a l'extrem del mànec. Aquesta energia no té on anar excepte al llarg del fuet com una ona de moviment. L'energia de moviment és l'energia cinètica. Conforme l'energia es mou al llarg del fuet, cada vegada té menys massa sobre la que treballar, perquè el fuet és més estret a la punta. L'energia ha de romandre en el fuet perquè no té altre lloc on anar, així que mentre el gruix i pes baixen, la velocitat ha d'augmentar.

9.5.2 Què passa quan un avió trenca la barrera del so?

A nivell del mar i a una temperatura de 22°C les ones sonores viatgen a una velocitat d'uns 345 m/s (1240 km/h). A mesura que la temperatura baixa, la velocitat del so també disminueix, de manera que quan un avió es troba a 10 km d'altitud la temperatura és d'uns -54°C, i la velocitat del so serà de 295 m/s (1060 km/h).

Com les ones sonores tenen una velocitat finita, les fonts del so que es troben en moviment poden arribar a avançar les ones sonores que elles mateixes emeten. Quan la velocitat de l'objecte augmenta fins a quasi equiparar-se a la del so, les ones sonores comencen a acumular-se davant de l'objecte. Si l'objecte compta amb una acceleració suficient, pot atrapar aquesta agitada barrera d'ones sonores, travessar-la i situar-se davant del so radiat, de manera que es trenca la barrera del so.

Quan un objecte viatja a gran velocitat, genera unes ones de pressió constant que van enganxades a la part davantera de l'objecte (un front de xoc). L'observador no sent res mentre l'objecte s'aproxima, però, quan ja ha passat, les ones generades (ones de xoc) radien cap al terra i la diferència de pressió entre elles causa un efecte audible que es coneix com a espetec sònic.

9.5.3 Per què quan acostem l'orella a un cargol de mar sentim el mar?

Un cargol de mar està ple i també envoltat d'aire. L'aire, que es troba a temperatura ambient, colpeja les parets del cargol de mar. El so que produeixen aquests copets és petitíssim i imperceptible a l'orella, però gràcies a la caixa de ressonància del cargol (la seva forma revinclada és més llarga del que sembla i prou gran per fer de caixa de ressonància) s'amplia i el podem sentir.

El tipus de so obtingut es coneix com a *soroll rosa*. Els sorolls rosa són barreja de moltes freqüències, de moltes notes, que tenen la mateixa intensitat. Al mar, són les onades que piquen contra la sorra o les pedres les que produeixen el so, i en el cargol de mar són les partícules de l'aire que xoquen contra les parets de la closca les que emeten freqüències.

9.5.4 El tro

El so del tro es produeix en escalfar-se i refredar-se l'aire bruscament.

El tro és el so que es produeix en una tempesta, després de produir-se un llamp. Aquest fort soroll es degut a que el llamp escalfa l'aire a més de 28000 °C, i aquest aire calent s'expandeix a molta velocitat i quan es mescla amb l'aire fred de l'ambient es torna a contraure baixant de sobte i genera les ones de xoc que sentim.

9.5.5 Ressonància: com trencar copes amb la veu

Tot material té una freqüència de ressonància que, si s'excita degudament, posa en ressonància aquest material, és a dir, el pot fer vibrar al màxim de les seves possibilitats. És el cas d'una copa de cristall que té una freqüència de ressonància tan alta (tan aguda) i en ser tan fina i fràgil, es trenca a l'executar aquesta nota al nivell indicat. Hauríem de cantar amb la nota de ressonància de la copa – la mateixa freqüència- i, a més, també necessitem una intensitat sonora com a mínim de 100 dB.

La freqüència de ressonància d'una copa es pot determinar fàcilment mullant-se el dit i passant-lo pel contorn de la copa.

El 7 de novembre de 1940, una suau brisa va fer entrar en ressonància el pont de Tacoma Narrows, a Washington, que va provocar el seu enfonsament. La freqüència del vent era similar a la freqüència natural del pont, amb el que l'energia transferida pel sistema és la màxima; les ones estacionàries produïdes en el pont van acabar col·lapsant-lo.

9.5.6 Levitació acústica

Consisteix en que les ones acústiques mantinguin suspès en l'aire un objecte sense cap mena de contacte. Pera aconseguir-la calen ones estacionàries i nivells sonors molt elevats (de l'ordre de 155 dB) per mostres de pocs grams i de pocs mil·límetres.

Es realitza des de 1987, quan en un laboratori de la NASA varen aconseguir immobilitzar, amb so, un objecte dins d'un recinte. Per aconseguir la levitació acústica s'ha de fer servir una longitud d'ona del so el més propera possible a la longitud de l'objecte que es vol elevar.