



SONS: MÚSICA I NATURA

Vivim en un planeta ple de sons. Estem rodejats per sorolls de trànsit, telèfons, veus, vent, animals... Fins i tot quan ens trobem en silenci, el nostre cor no deixa de funcionar i emet un so: el dels batecs. El so, a més de ser la base de la nostra comunicació, ens situa en l'espai, ens prevé del perill i pot resultar plaent, com una melodia, o irritant, com un grinyol.

En esta demostració, es plantegen experiències amb què podem descobrir les característiques del so: freqüència, intensitat, ressonància... En general, conceptes referents a les ones i, en concret, a un tipus d'ona com és el so.

Fet i fet, qualsevol so és, simplement, una vibració que es propaga per un medi, siga sòlid, líquid o gasós. Sense els gasos de la nostra atmosfera, les vibracions que produïxen el so no es propagarien i no percebríem cap so, com ocorre a l'Espai.



Publica

© Sociedad de Gestión del Museo de las Ciencias Príncipe Felipe de Valencia, S.L.
Prolongació del Passeig de l'Albereda, 48, entresòls 1 i 2
46023-València (Espanya)

1.ª edició: març del 2006

Traducció del castellà

Rafel Moreno i

Impressió

Toni Burguera Impremta,

ISBN

84-934501-2-X

Depòsit Legal

V- 1252 - 2006

Imprés a València

Queda rigorosament prohibida, sense l'autorització escrita dels titulars del *Copyright*, davall les sancions establides per les lleis, la reproducció total o parcial d'esta obra per qualsevol mitjà o procediment, compresos la reprografia i el tractament

www.cac.es ⓘ 902 100 031



Índex

Abans de la visita

Continguts i experiències

■	Q uè és el so?	5
■	
■	C aracterístiques del so	7
■	R essonància	8
■	
■	P ercepció de sons	11
■	L a veu	16
■	
■	I nstruments musicals	18
■	S ons de la natura	20

Després de la visita

La sessió en preguntes	22
Per a fer a casa o en escola	26

Què és el so?

[Tots els sons són creats per objectes que vibren]

En un piano, en un violí i en una guitarra, una corda que vibra produïx sons. En un saxòfon, són provocats per una llengüeta que fa que l'aire vibri; en una flauta, per una columna d'aire ondulant que entra per l'embocadura de l'instrument. La veu és el resultat d'una vibració de les nostres cordes vocals.

Quasi tots els sons que sentim es transmeten a través de l'aire, però el so també es propaga en els sòlids i en els líquids. Si et poses amb l'orella en terra, pots sentir els passos d'algú que s'acosta abans de sentir-los a través de l'aire. La velocitat del so canvia en els diversos materials. En general, es transmet amb més rapidesa en els líquids que en els gasos, i encara més de pressa en els sòlids.

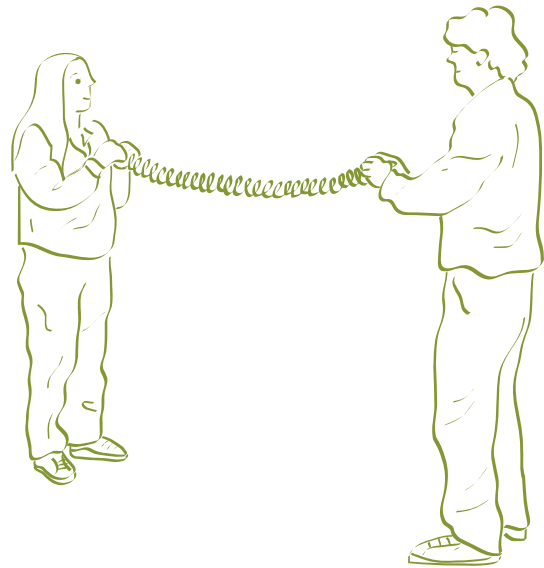
MEDI	TEMPERATURA (°C)	VELOCITAT (m/s)
Aire	0	331,46
Argó	0	319
Biòxid de carboni	0	260,3
Hidrogen	0	1.286
Heli	0	970
Nitrogen	0	333,64
Oxigen	0	314,84
Aigua destil·lada	20	1.484
Aigua de mar	15	1.509,7
Mercuri	20	1.451
Alumini	17-25	6.400
Vidre	17-25	5.260
Or	17-25	3.240
Ferro	17-25	5.930
Plom	17-25	2.400
Argent	17-25	3.700
Acer inoxidable	17-25	5.740

El so és una vibració que avança o que es propaga per un medi elàstic (l'aire, els líquids o els sòlids). Perquè es produïssa el so fan falta dos factors: d'una banda, és necessària una font de vibració i, d'altra banda, un medi a través del qual s'estenga la pertorbació

Experiència 1: El so a través de l'aire

- AMB ESTE EXPERIMENT, ES COMPROVA QUE EL SO VIATJA A TRAVÉS DE L'AIRE.

A fi de tindre una idea de com el so viatja a través de l'aire, s'envien impulsos al llarg d'una molla o ressort de tipus *slinky*. Si es prem un dels extrems de la molla, un conjunt d'estos impulsos viatja a través de la molla com una ona. Una ona que s'anomena longitudinal, perquè les espirals de la molla vibren cap a avant i cap a arrere en la mateixa direcció en què es propaga la pertorbació.



Durant l'experiment, es fa vibrar la membrana d'un altaveu. En fer-ho, les molècules d'aire que hi ha al costat es comprimiten i es dilaten. Esta compressió i dilatació es propaga per l'aire i arriba a la flama d'una espelma, que comença a oscil·lar i fins i tot s'apaga.

Característiques del so

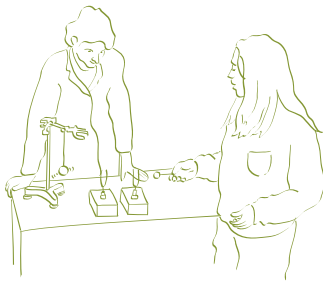
Un so és agut si té una freqüència de vibració elevada; és greu si té una freqüència de vibració baixa. L'altura o el to d'un so depèn de la freqüència

El nombre d'impulsos (compressions i dilatacions) per segon es diu freqüència de l'ona. Per tant, la freqüència és el nombre de compressions i dilatacions de l'aire que es produïxen per segon en un punt, i es mesura en hertzs (Hz), o cicles per segon.

Experiència 2: Les freqüències del so

- EN ESTA EXPERIÈNCIA, S'USEN SONS PURS PRODUÏTS PER DOS DIAPASONS QUE S'ANALITZEN AMB UN EQUIP D'ADQUISICIÓ DE DADES. TAMBÉ S'ANALITZEN SONS PRODUÏTS PER UN GENERADOR DE FREQÜÈNCIES.

Els sons dels diapasons tenen unes freqüències de 440 i 1.000 hertzs, respectivament. Es comprova que un so es percep més agut si la seua freqüència és més alta; és a dir, com més vibracions es produïsquen per segon. És més greu si la freqüència és més baixa.



Els diapasons són fonts sonores. Quan colpegem el diapasó, les vibracions d'este fan que les molècules de l'aire es comprimisquen i es dilaten. Estes variacions són detectades per un micròfon connectat a un equip d'adquisició de dades, que permet visualitzar-les en la pantalla d'un ordinador.

També s'analitzen sons purs produïts per un generador de freqüències (unit a un amplificador i este a un altaveu). Estos sons es comparen amb un soroll. Els sons purs estan formats per una sola freqüència, mentre que els sorolls tenen un espectre continu amb moltes freqüències.



Ressonància

Cada objecte vibra d'una manera determinada. Esta vibració té una freqüència natural característica que depèn de l'elasticitat i de la forma de l'objecte

Els diapasons i les campanes vibren amb freqüències característiques. Si un so té una freqüència que coincideix amb la freqüència natural d'un objecte, este vibra amb oscil·lacions d'amplitud creixent. Es diu que entra en ressonància.

Quan una persona s'engronsa, l'engronsador oscil·la amb la seua pròpia freqüència natural. Si volem que les seues oscil·lacions augmenten, hem d'espentar-lo al final de cada oscil·lació. El resultat és que l'amplitud creix cada vegada més. Perquè açò ocorrega, la freqüència dels impulsos i la freqüència natural de l'engronsador han de coincidir.

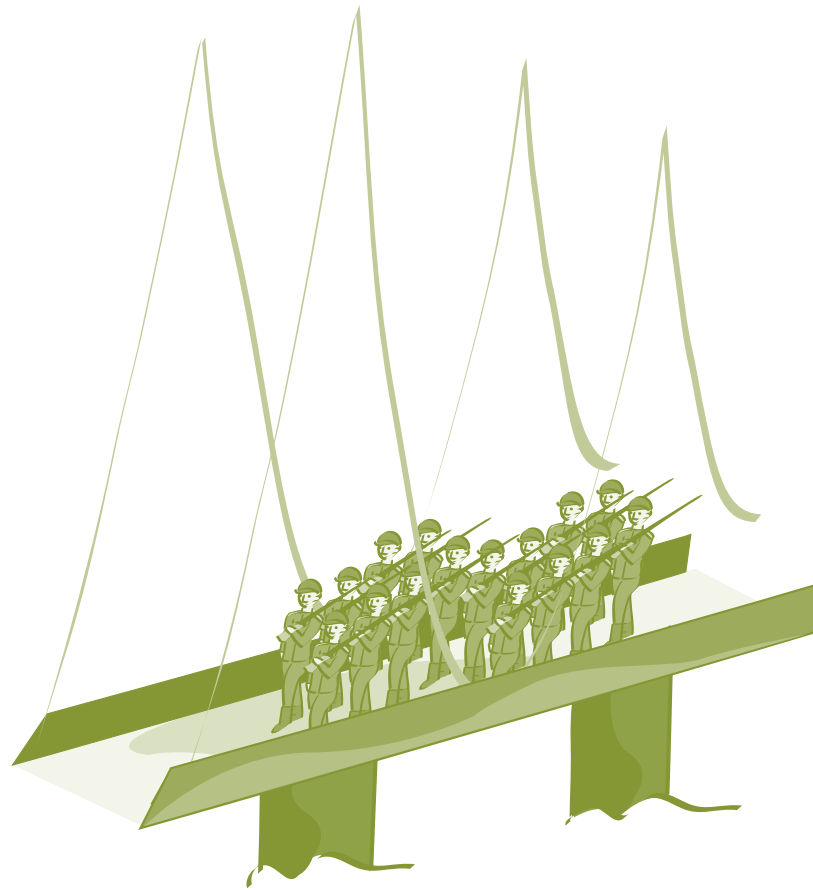
Així, la ressonància no és exclusiva del so. Es produïx en tots els objectes que vibren o oscil·len amb una freqüència que coincideix amb la seua freqüència natural. Una roda de cotxe desequilibrada produïx un petitíssim balanceig en la molla de suspensió, que, normalment, s'anul·la amb els següents en altres girs de la roda. No obstant això, a una velocitat determinada, la seua freqüència iguala la de la molla, que entra en ressonància i comença a notar-se una forta vibració per tot el cotxe.



Es conta que una cantant d'òpera va emetre notes de la mateixa freqüència que la freqüència natural d'una copa. Esta va entrar en ressonància i al final es va trencar.

L'any 1831, un pont per on creuaven tropes angleses es va afonar perquè els soldats anaven al ritme de freqüència natural del pont. Des d'aleshores, els soldats acostumen a trencar el pas quan han de passar per ponts.

Una cosa semblant va ocórrer amb el vent al pont de Tacoma, als Estats Units. Les ràfegues de vent li van provocar oscil·lacions amb una freqüència pròxima a la seua freqüència natural. L'amplitud de les oscil·lacions va anar creixent, les subjeccions no resistiren i el pont es va afonar. Es diu que va entrar en ressonància.

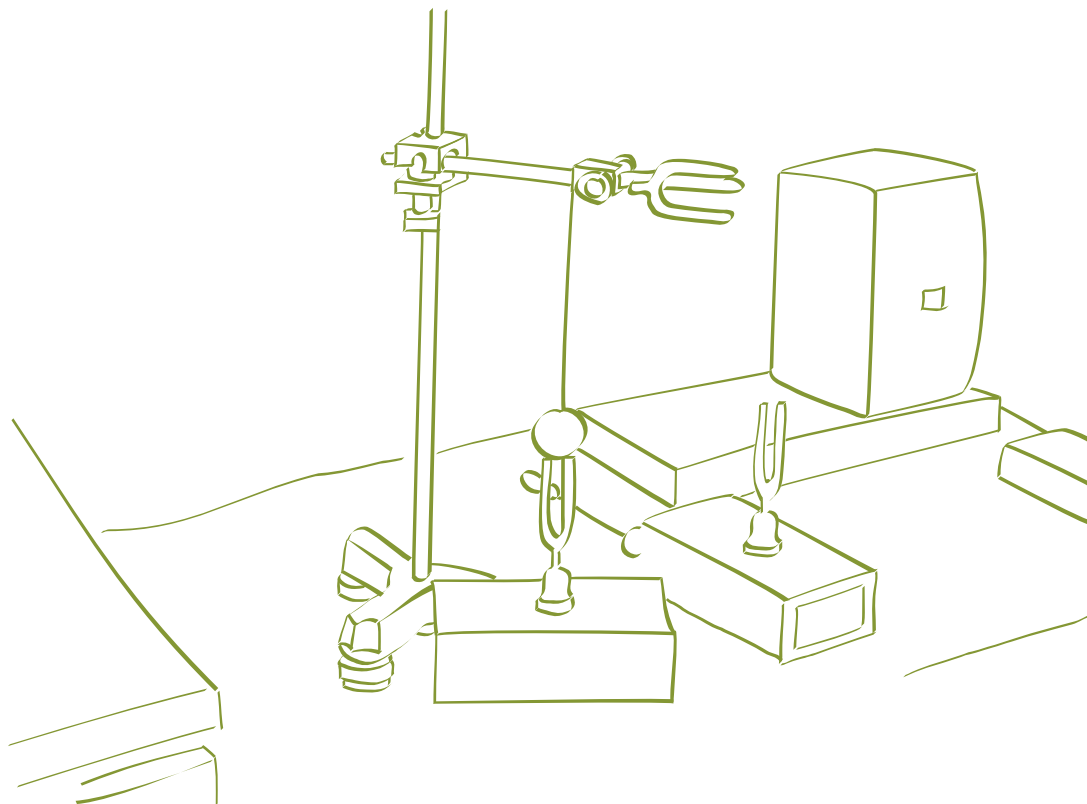


Experiència 3: Ressonància

- UNA PILOTA DE TENIS DE TAUJA ENGANXADA A UN DELS BRAÇOS D'UN DIAPASÓ COMENÇARÀ A VIBRAR QUAN LA FREQUÈNCIA SIGA L'ADEQUADA.

El conjunt es col·loca davant d'un altaveu que emet un so creat amb el generador de freqüències a 440 hertz, que és la mateixa que la freqüència natural de vibració del diapasó. Així provoquem que este entre en ressonància i que faça oscil·lar la pilota de tennis de taula.

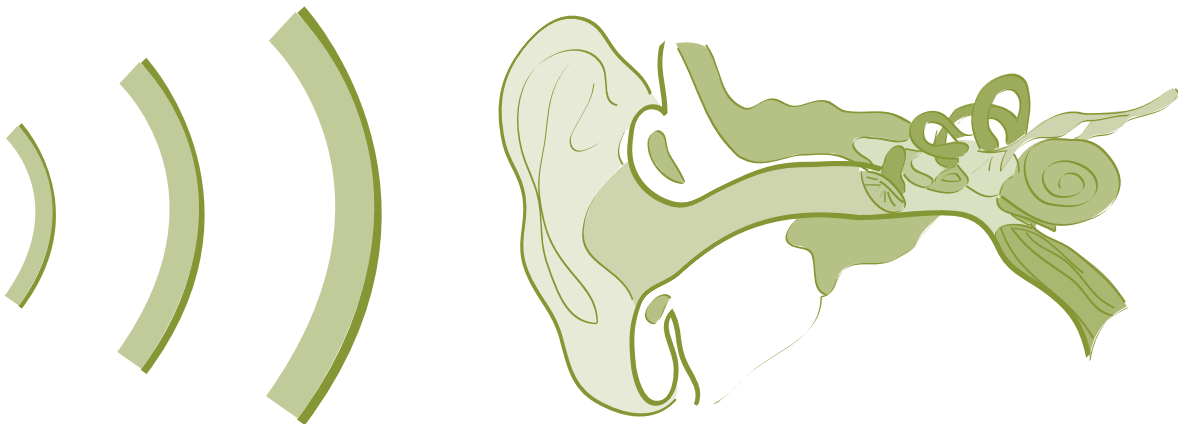
També, per comprovar els efectes catastròfics que pot tindre la ressonància, es mostren unes quantes imatges del pont de Tacoma (EUA) en el moment en què s'afonava per l'acció del vent.



Percepció de sons

Percebem sons quan l'ona sonora és captada pel pavelló auditiu

Esta ona fa vibrar la membrana que clou l'orella mitjana: el timpà. Tres ossets transmeten estes vibracions a una altra membrana: la finestra oval. Després, l'ona es propaga a través de la còclea o caragol, un llarg tub en espiral ple de líquid i entapissat de milers de *cilis* connectats al nervi auditiu. El so, convertit en informació nerviosa, és interpretat pel cervell.



Sistema auditiu

Normalment, una persona jove sent sons que corresponen a freqüències compreses entre 20 i 20.000 hertzs. A mesura que envellim, l'interval de freqüències que podem sentir es reduïx; de manera especial, en les freqüències més altes. Les ones sonores de freqüència inferior a 20 hertzs es diuen infrasòniques; les que tenen una freqüència superior a 20.000 hertzs es diuen ultrasòniques. Molts animals, com ara els gossos, els dofins i les rates penades, perceben sons

Els dofins emeten ultrasons en forma de xiulits. Quan estos son es reflectixen i tornen al dofí, li proporcionen informació sobre els voltants a una distància molt més gran que la facilitada per la seua visió en l'aigua. Usen este sistema per a localitzar aliment. Per un procés semblant, les rates penades s'orienten en l'espai i el sonar dels vaixells detecta submarins.



Sonar

En medicina, les ecografies (que servixen per a examinar el fetus a l'interior de la mare) dirigixen ultrasons cap al cos, que s'hi reflectixen com si foren ecos. La diferència de temps entre l'impuls i el so ens dóna la distància entre l'òrgan i la superfície. El medi pel qual es propaga el so ens diferencia els diferents tipus de teixits.

Esta taula mostra els intervals de freqüències percebudes per diferents espècies d'animals:

COCODRIL



De 50 a 4.000 Hz

PEIX D'AIGUA DOIÇA




De 32 a 5.000 Hz

GRANOTA



De 50 a 10.000 Hz

TEULADÍ



De 100 a 10.000 Hz

HOMI



De 20 a 20.000 Hz

GRILL



De 400 a 28.000 Hz

XIMPANZÉ



Límit superior per damunt de 35.000 Hz

RATA



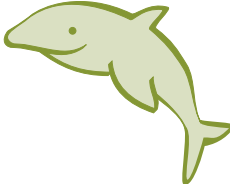
Límit superior per damunt de 40.000 Hz

GAT




Límit superior per damunt de 50.000 Hz

DOFI



De 40 a 100.000 Hz

RATA PENADA



De 7 a 960.000 Hz

Experiència 4: Els llindars de la percepció

- L'OÏDA HUMANA NO ÉS CAPAÇ DE PERCEBRE TOTS ELS SONS. AÇÒ ESTÀ RELACIONAT AMB LA FREQUÈNCIA AMB QUÈ S'EMETEN.

Un exemple clar és quan s'emet un so a més de 20.000 hertzs. El so es fa tan agut (espenta tantes vegades l'aire per segon), que l'oïda humana no està dissenyada per a rebre'l. Tanmateix, eixe mateix so seria detectat per moltes espècies de rates penades.

Amb un generador de freqüències, unit a un amplificador i un altaveu, es produïxen sons que van des d'un valor inferior a 20 hertzs (so molt greu) a un valor de més de 20.000 hertzs (so molt agut). Els espectadors de la sessió poden conèixer quin és el seu llindar màxim i mínim de percepció de freqüències de sons.

La força amb què es percep un so depèn de l'energia que s'ha emprat per a produir-lo. Es denomina intensitat d'un so l'energia que, per unitat de temps i de superfície, assolix un punt de l'espai.

És a dir, que la força amb què sentim el so d'una campana, per exemple, depèn de l'energia usada en colpejar-la; com més energia, més intensitat.



La intensitat del so es mesura en decibels (dB), segons una escala que correspon a la sensibilitat de l'oïda humana. Una mosca pròxima vola a zero decibels. Amb els 120 decibels produïts per un avió en envolar-se a 100 metres, la nostra oïda sobrepassa el llindar del dolor. Este receptor, extremament sensible, és també en extrem fràgil. Sotmesa a sorolls intensos, l'oïda envellix molt ràpidament.

Experiència 5: La intensitat del so

- MITJANÇANT UN SONÒMETRE, ES MESURA LA INTENSITAT AMB QUÈ CRIDA UNA PERSONA I ELS ALTRES ASSISTENTS A LA DEMOSTRACIÓ.

En esta experiència, es comprova també que la intensitat de percepció d'un so depèn de la distància a què es troba el receptor (el sonòmetre) i la font emissora. Com més prop de la font es pose el receptor, més alta serà la intensitat. Si se n'allunya, anirà disminuint ràpidament, en una proporció igual a la inversa del quadrat de la distància.



La veu

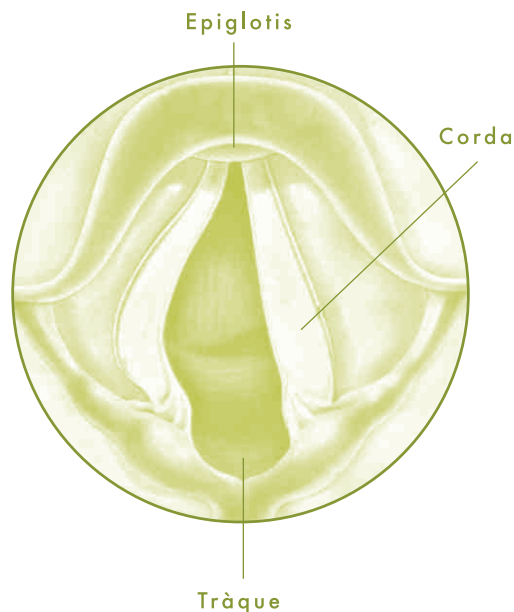
16

La veu de cada persona és determinada per la dimensió i la forma de les cordes vocals, la gola, el nas i la boca

En els boiximans, un esclafit de la llengua no és un soroll paràsit, sinó un element essencial del llenguatge amb significat propi. La veu és, a més, una característica pròpia de cada persona.

Cada llengua té la seua pròpia musicalitat; no usa sinó una part dels recursos de la veu. El francès desconeix la "j" que s'usa en el castellà. L'anglès a penes pronuncia la "u" francesa.

Per als europeus, la freqüència de la veu no canvia el significat de les paraules; però, per als xinesos, els greus i els aguts



Experiència 6: La veu humana

- USEM LA VEU COM A INSTRUMENT MUSICAL. QUAN S'ENTONA UNA NOTA, S'EMET UN SO A UNA FREQUÈNCIA DETERMINADA QUE COMPAREM AMB EL SO PRODUÏT PER UN DIAPASÓ.

Amb l'equip d'adquisició de dades, s'analitza la forma i l'espectre d'alguns sons de la veu. Així, emetem sons corresponents a vocals, consonants i fonemes.

Experiència 7: Respirant heli i hexafluorur de sofre

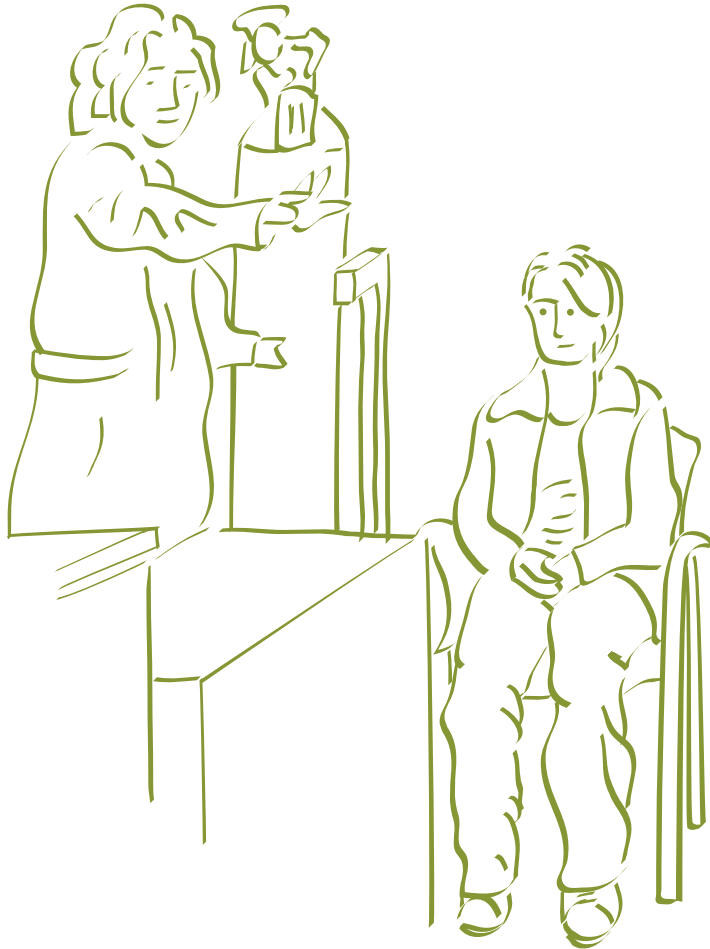
- EN ESTE EXPERIMENT, ES DEMOSTRA QUE, SI ES MODIFIQUEN LES CARACTERÍSTIQUES DEL MEDI, VARIEN TAMBÉ ELS SONS QUE SENTIM.

Si s'inhala heli durant l'experiència, percebrem la veu molt aguda.

Quan inhalem heli, el so es propaga per un medi que és menys dens que l'aire. Per tant, les cordes vocals vibren més fàcilment, perquè és més baix l'esforç necessari per a desplaçar les molècules més lleugeres que no les més pesades. En el curt interval de temps en què les cordes vocals es troben rodejades de l'atmosfera d'heli, poden vibrar a freqüències més altes; és a dir, que augmenta l'agudesa de la veu.

Inhalem després hexafluorur de sofre. Este gas és més dens que l'aire. Com deu sonar la veu?

Com que és més dens que l'aire, a les molècules d'este gas els costa més moure's i fer vibrar les cordes vocals. En conseqüència, les freqüències són més baixes i la nostra veu sona més greu.



Instruments musicals

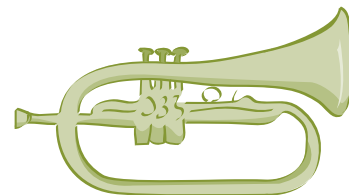
CORDA

Estos instruments tenen cordes tenses sobre una caixa de fusta que actua de caixa de ressonància i amplifica els sons. El violí i la guitarra són instruments de corda.

El to o la nota d'estos instruments depén de la longitud, del gruix de les cordes i de com estiguen de tenses. Com més llarga i gruixuda és la corda, menys vibracions produïx i, per tant, produïx tons més baixos. Cordes més curtes i tenses produïxen sons més aguts.

VENT

En els instruments de vent, com la trompeta o la flauta, l'aire és bufat a través d'un tub, com quan bufem en una botella. El doll d'aire, la longitud del qual pot modificar-se (la columna d'aire) en l'interior de l'instrument, vibra. En alguns instruments de vent s'usa una llengüeta.



El to que emet depén de la longitud de la columna d'aire i de la rapidesa amb què vibra. Una columna d'aire llarga produïx sons més greus; una columna curta produïx sons més aguts.



PERCUSSIÓ

En els instruments de percussió es colpeja un objecte que comença a vibrar. Com a instruments de percussió tenim tambors, címbals, campanes i gongs.

El timbre permet diferenciar la mateixa nota produïda per diferents instruments. Davant d'un so pur (amb una sola freqüència), com el d'un diapasó, el so de diversos instruments musicals que emeten una mateixa nota té la mateixa freqüència fonamental, però també està compost d'altres freqüències múltiples o submúltiples d'esta, dites harmònics. El timbre dels instruments és diferent perquè ho són els seus harmònics.

A un soroll no li correspon cap patró definit de freqüències. Tot açò es comprova analitzant el so de diversos instruments.

Experiència 8: Sons musicals

- AMB L'EQUIP D'ADQUISICIÓ DE DADES, S'ANALITZEN ELS SONS DE DIVERSOS INSTRUMENTS QUE EMETEN LA MATEIXA NOTA.

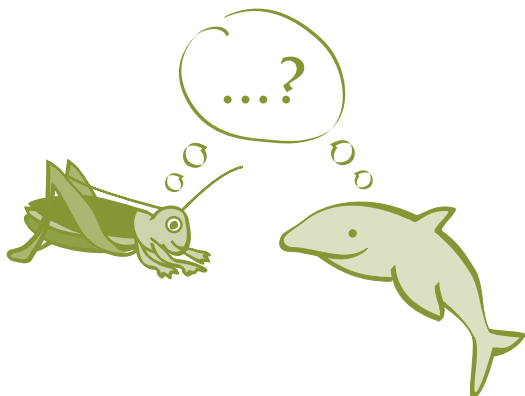
D'esta manera, comprem el concepte de timbre d'un instrument. Quan s'analitza el so procedent de dos instruments que emeten la mateixa nota, es constata que està compost d'una freqüència (dita fonamental) i múltiples i submúltiples d'esta freqüència.



Sons de la natura

20

Vivim en un món amb gran biodiversitat animal. Dins d'esta biodiversitat, els éssers vius han desenvolupat una extensa varietat de formes de comunicar-se, de sons i de maneres de produir sons



EL LENGUATGE DELS ANIMALS

Per exemple, no es comunica igual un dofí que un grill. L'estructura anatòmica dels dos animals és totalment distinta; la manera com produïxen els sons també. El grill usa les potes, que, en fregar-les, fan sonar el seu cri-cri característic. En canvi, el dofí usa l'aparell respiratori. A més, el medi en què viuen també és diferent: el dofí viu en el mar i transmet el so en un medi líquid, mentre que el so del grill viatja a través de l'aire.

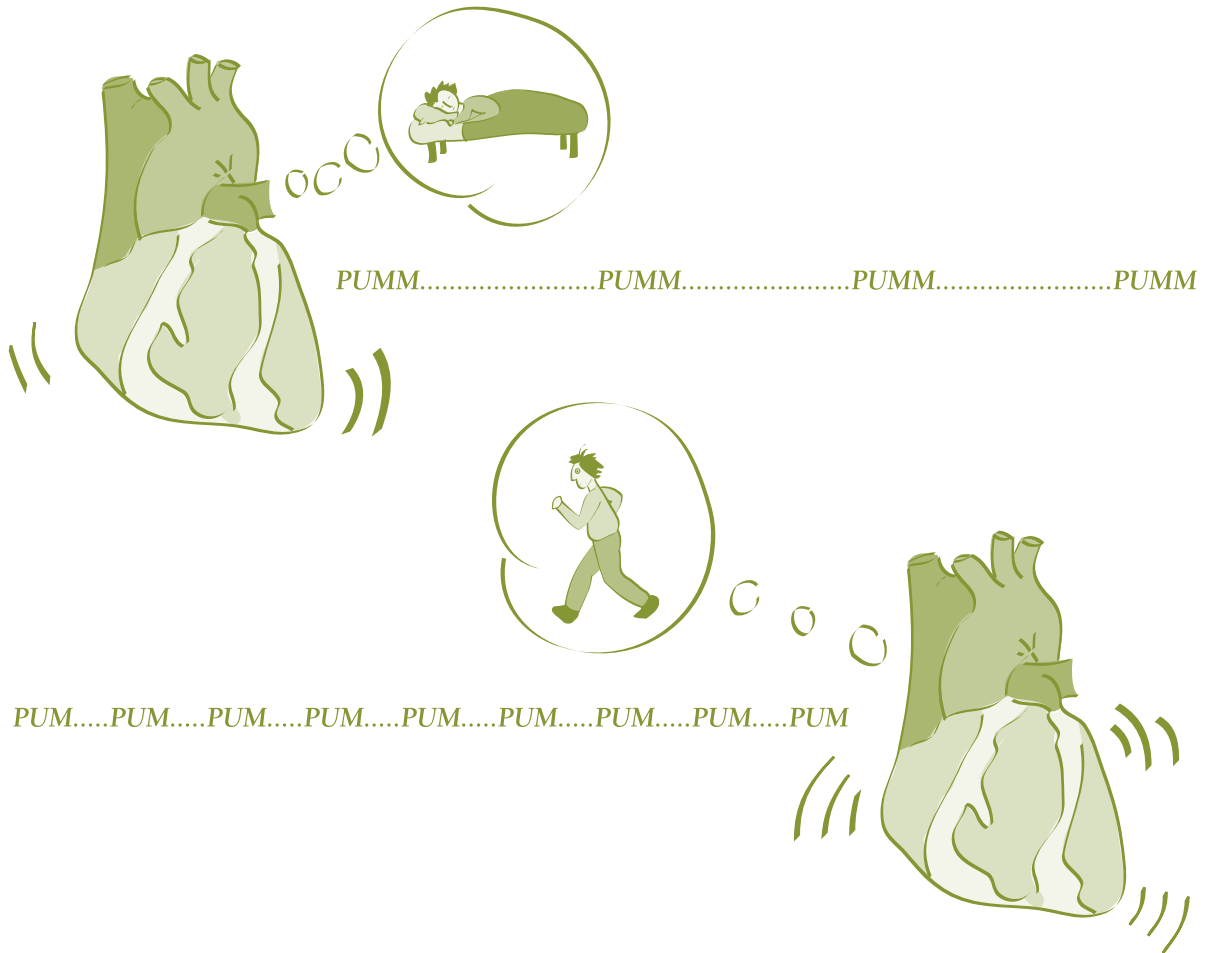
Experiència 9: Sons animals

- EN ESTA EXPERIÈNCIA, SE SENTEN ELS SONS DE DIFERENTS ANIMALS I ELS ALUMNES INTENTEN ENDEVINAR A QUINES CRIATURES PERTANYEN.

Un altre so de la natura és el del cor. El ritme cardíac està marcat per l'expansió i la contracció del cor. Este moviment és el responsable que el cor emeta sons que sentim clarament amb un fonendoscopi. El ritme cardíac varia d'unes persones a altres; el metabolisme de cada individu és distint. Fins i tot pot ser diferent, depenent de si s'ha fet exercici o no.

Experiència 10: Al ritme del cor

- A TRAVÉS D'UN FONENDOSCOPI, SE SENT EL COR D'ALGUNS DELS ASSISTENTS A LA SESSIÓ A FI DE COMPROVAR COM BATEGA EN CADA INDIVIDU AMB UN RITME DISTINT. TAMBÉ ES DISTINGIX EL SO D'UN COR EN REPÒS I UN COR QUE HA FET UN ESFORÇ.



Després de la visita

La sessió en preguntes

22

- Què els passa a les molècules d'aire quan s'emet una vibració o un so?
 - No res. La propagació del so no depèn del moviment de les molècules d'aire.
 - Es mouen per l'aire 50 metres, propaguen el so i van perdent intensitat amb la distància.
 - Oscil·len, es creen zones més i menys comprimides d'aire, i el so es transmet en forma d'ona longitudinal.
- El so es transmet a través de:
 - L'aigua.
 - El terra.
 - El buit.
 - Els gasos.
 - Els sòlids.
- Ordena els elements de la pregunta anterior segons la facilitat de propagació del so.

1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____

● **En l'experiència, l'espelma pot arribar fins i tot a apagar-se. A quin fenomen es deu este fet?**

- Les ones sonores que emet l'altaveu fan que la flama de l'espelma oscil·le, i arriba, a vegades, a apagar-se.
- Depén del tipus de so que s'emeta. Si és molt desagradable, l'espelma s'apaga.
- L'expansió-compensió de les molècules d'aire provoca un efecte vent que pot fer oscil·lar la flama, i fins i tot apagar-la.
- L'aire actua com un amortidor de les oscil·lacions de la flama de l'espelma; com menys concentració d'aire, la propagació del so és més fluida.

● **Quan augmenta la freqüència d'un so, el to és:**

- Més agut.
- Més greu.
- No canvia.

● **Quan disminueix la freqüència d'un so, el to és:**

- Més agut.
- Més greu.
- No canvia.

- **El soroll està compost per:**
 - Una sola freqüència.
 - Mes d'una freqüència.
 - Per moltes freqüències que no tenen relació entre si.

- **Quina relació hi ha en decibels entre el so produït per una persona, per dos persones i per un grup de persones?**

- **Quina relació hi ha entre el volum d'un so i la intensitat en decibels? Què es produïx?**
 - Si augmenta l'amplitud d'un so, també ho fa la intensitat.
 - L'amplitud i la intensitat no tenen relació.
 - Si augmenta l'amplitud del so, la intensitat disminueix.
 - Si augmenta l'amplitud del so, augmenten la intensitat i la freqüència.

- **Quina relació hi ha entre la freqüència d'un so i la intensitat en decibels que produïx?**
 - Si augmenta la freqüència del so, la intensitat també ho fa.
 - Si augmenta la freqüència del so, la intensitat disminueix.
 - Si disminueix la freqüència del so, la intensitat augmenta.
 - Si augmenta la freqüència del so, la intensitat queda igual.

- **Quina diferència trobem entre les freqüències que formen un so musical i un soroll?**
 - El so musical sona millor i el soroll sona molt malament; el *bakalao* també és soroll.
 - En el cas del soroll, no trobem cap patró en les freqüències creades, mentre que en els sons musicals sí que hi ha un patró
 - La música, com que es produïx exclusivament amb instruments musicals, emet freqüències seleccionades (ni greus ni agudes) perquè el so siga agradable.
 - No hi ha cap diferència; totes dos són emissions de sons.

- **Com varia la freqüència quan s'inhala heli i s'emet una nota?**
 - Augmenta, perquè el gas inhalat és menys dens.
 - Augmenta, perquè el gas inhalat és més dens.
 - Disminuïx, perquè el gas inhalat és més dens.
 - Disminuïx, perquè el gas inhalat és menys dens.
 - Es manté igual.

- **Com varia la freqüència quan s'inhala hexafluorur de sofre i s'emet una nota?**
 - Augmenta, perquè el gas inhalat és menys dens.
 - Augmenta, perquè el gas inhalat és més dens.
 - Disminuïx, perquè el gas inhalat és més dens.
 - Disminuïx, perquè el gas inhalat és menys dens.
 - Es manté igual.

● PERCEBRE VIBRACIONS

MATERIALS

- Un pot de llanda gran i redó
- Una bossa de plàstic fi
- Una goma elàstica forta
- Una llanda de forn
- Sucre moreno
- Una cullera



EXPERIÈNCIA

1. Fes un tambor tensant un tros de la bossa de plàstic sobre un pot de llanda gran i redó. El plàstic tensat se subjecta amb la goma elàstica.
2. Posa una culleradeta de sucre damunt del tambor.
3. Al costat del tambor, comença a colpejar la llanda de forn amb la cullera de fusta. Veuràs com el sucre salta damunt del plàstic que forma el tambor.

● RESSONÀNCIA EN PÈNDOLS

MATERIALS

- Una corda
- Tres pesos iguals

EXPERIÈNCIA

1. Construïx tres pèndols lligant cordells de diferent llargària a cada pes. Penja'ls a distàncies iguals d'una corda horitzontal que es manté tibant subjecta a dos punts fixos. Fes oscil·lar cada pèndol per torns. Què succeïx?
2. Repetix el procés, però ara col·loca dos pèndols de la mateixa longitud en la corda. Què passa quan qualsevol dels dos pèndols oscil·la?
3. Repetix el procés, però ara amb tres pèndols de la mateixa longitud lligats a la corda horitzontal. Què passa quan oscil·len?





GENERALITAT
VALENCIANA

