
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Rodríguez Palau, Marta; Borràs Hernández, Xavier, dir. Bases neurals del processament emocional de la música. 2019. 28 pag. (954 Grau en Psicologia)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/218163>

under the terms of the  license

This is the **published version** of the bachelor thesis:

Rodríguez Palau, Marta; Borràs Hernández, Xavier, dir. Bases neurals del processament emocional de la música. 2019. 28 pag. (954 Grau en Psicologia)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/218163>

under the terms of the  license

Bases neurals del processament emocional de la música

Treball de fi de grau

Psicologia 2018/2019



Marta Rodríguez Palau

Supervisat per Xavier Borràs Hernández

Índex

1. Introducció	
1.1. Quines emocions provoca la música?	3
1.2. Objectius i rellevància d'aquesta revisió	4
1.3. Definició de conceptes	4
2. Metodologia	6
3. Resultats	
3.1. Mecanismes psicològics subjacents a l'emoció musical	8
3.2. Una proposta teòrica per les emocions musicals estètiques	12
3.3. Bases neurals del processament emocional de la música	12
4. Discussió	21
5. Conclusions	23
6. Referències	25

Bases neurals del processament emocional de la música

MARTA RODRÍGUEZ PALAU

Universitat Autònoma de Barcelona

Supervisat per Xavier Borràs Hernández

RESUM

La majoria de les persones escoltem música voluntàriament gairebé cada dia donada la seva capacitat per modificar els estats afectius. És capaç de fer-nos sentir tristos, alegres, relaxats o tensos. Alguns estudis han intentat explicar quins mecanismes psicològics operen en l'emoció provocada per la música. D'altres, s'han focalitzat a desxifrar-ne les bases neurals. Aquest treball pretén fer-ne una revisió tot integrant ambdós punts de vista, així posant sobre la taula les principals estructures neurals implicades en l'emoció musical. Algunes d'aquestes estructures són l'amígdala, l'hipocamp, l'estriat ventral o l'escorça frontal. La capacitat de la música per activar el substrat neural de l'emoció dóna suport a l'ús de la musicoteràpia per alguns trastorns mentals.

PARAULES CLAU: música, emoció, substrats neurals

ABSTRACT

Most people listen to music almost every day owing to its ability to modify affective states. It can make us feel happy, sad, relaxed or uptight. Some studies have attempted to explain the psychological mechanisms underlying musical emotion. Others have focused on its neural substrates. This study reviews both perspectives and tries to integrate them, thus putting spotlight on the main neural structures involved in musical emotion. Some of these are the amygdala, the hippocampus, the ventral striatum and the frontal cortex. The ability of music to activate the neural substrate of emotion supports the use of music therapy for some mental disorders.

KEYWORDS: music, emotion, neural substrates

1. Introducció

La majoria de les persones escoltem música voluntàriament gairebé cada dia. Sigui relaxant per a estudiar o animada per a ballar, l'escoltem amb l'objectiu de regular els nostres estats afectius. Així mateix, també sentim música en botigues o ascensors que permet entretenir la nostra espera. La música també és àmpliament utilitzada per les indústries publicitària i cinematogràfica. Els publicistes la utilitzen per a fer més atractius els seus productes mentre que per als cineastes és una eina per intensificar la narrativa de les pel·lícules (Levitin, 2006). El factor comú d'aquests exemples és la capacitat de la música de provocar emocions.

La música és present en totes les cultures i ha existit en les societats humanes des de la prehistòria (l'origen de la primera flauta elaborada a partir d'un os de voltor es remunta a fa quaranta mil anys) (Zatorre i Salimpoor, 2013). La universalitat de la música ha portat a intentar trobar explicacions adaptatives de la seva importància per a l'ésser humà. Malgrat que Darwin (1871) considera que manca d'una funcionalitat directa pels humans, avui en dia es coneix la seva utilitat en la regulació i millora de les emocions (Koelsch, 2018).

1.1. Quines emocions provoca la música?

Com és possible que una seqüència de sons abstracta com la música sigui capaç de provocar emocions intenses? Avui en dia sembla haver concordança en l'entesa que l'emoció provocada per la música (d'ara endavant anomenada "emoció musical") depèn d'una interacció entre la música, la persona i els factors situacionals (Juslin i Västfjäll, 2008).

Tot i això, la qüestió encara és problemàtica, ja que parteix d'un desacord previ en la definició de l'emoció musical. Els primers estudis que aborden la qüestió, que es remunten a principis de segle, consideren que la música és capaç de provocar les emocions "bàsiques", innates i importants per a la supervivència (com ara la tristesa o la por). La tendència actual, en canvi, planteja que la música provoca unes emocions qualitativament diferents de les del "dia a dia" que tindrien un caràcter més contemplatiu (Omidie, 2016). Zentner et al. (2008) en fan un llistat, incloent-hi, entre d'altres, la transcendència i la nostàlgia. Segons aquesta perspectiva, el model clàssic és insuficient per donar cobertura a la riquesa de l'espectre de l'emoció musical (Troost et al., 2012).

Altres investigadors s'hi refereixen com emocions "estètiques", que deriven d'adoptar una actitud estètica cap a la música o, en altres paraules, d'entendre la peça musical com una obra d'art (Juslin, 2013). Aquestes emocions s'explicarien per mecanismes cognitius i neurals diferents de les emocions bàsiques.

La present revisió no tracta de donar solució a aquesta polèmica i tindrà en compte ambdues perspectives. Tot i que Juslin (2013) observa que les emocions més freqüents són les del “dia a dia”, proposa que la conclusió més prudent és considerar que ambdós tipus coexisteixen. Així, un oient podria experimentar tant emocions bàsiques com la tristesa o l’alegria, alhora que podria sentir emocions més complexes com la nostàlgia o l’orgull.

1.2. Objectius i rellevància d’aquesta revisió

Aquesta revisió pretén integrar els resultats dels estudis empírics i de revisió que, des d’un punt de vista neurocientífic, han intentat entendre per què la música emociona als humans. Inclou tant aquells estudis teòrics que expliquen els mecanismes psicològics subjacents a l’emoció musical com aquells estudis empírics que identifiquen les àrees cerebrals implicades en aquesta. La novetat i rellevància d’aquesta revisió es troba en el seu intent d’establir una relació entre ambdós punts de vista: el teòric i el neurocientífic.

Tenint en compte la ubiqüitat de la música entre cultures i al llarg de la història, l’entesa de les emocions no és completa sense comprendre com la música les provoca (Koelsch, 2018). Altrament, la definició dels substrats neurals de l’emoció musical és molt rellevant per la musicoteràpia. Els efectes de la música sobre l’home s’han considerat des de la Medicina Antiga i avui en dia s’ha demostrat l’eficàcia de la música sobre trastorns neurològics i psiquiàtrics (Koelsch, 2014).

1.3. Definició de conceptes

Abans d’iniciar la revisió, és convenient definir alguns conceptes rellevants.

1.3.1. Què és l’emoció?

L’emoció és una resposta fisiològica breu i intensa a estímuls interns o externs, dissenyada per a motivar accions que allunyin l’individu del perill o l’apropin a oportunitats de recompensa. Són emocions, per exemple, l’alegria, la por o la tristesa. Davant d’una situació de perill com veure una serp, l’emoció de por desplega un conjunt de funcions autònomes (augment del ritme cardíac, de la respiració, etc.) que permeten la resposta adaptativa de fugida o lluita (Carter, 2019).

La música és capaç d’activar els tres components de l’emoció. Ho són l’activació fisiològica (o *arousal* fisiològic), la conducta emocional i la seva experiència conscient o sentiment. Al llarg de la història ha sigut motiu de discussió entendre quin d’aquests components és causa dels altres.

La teoria de James-Lange (1884) planteja que el sentiment conscient és la conseqüència de la reacció corporal. Altrament, la de Cannon-Bard (1930) proposa que l'estímul emocional provoca la resposta fisiològica i el sentiment alhora i de manera independent. Avui en dia es considera que ambdós components interaccionen i que a més, estan lligats amb la cognició. Schachter i Singer (1960) plantegen que, si bé l'emoció és una resposta fisiològica immediata, les diferències qualitatives entre les diferents emocions depenen de la interpretació cognitiva que se'n fa.

LeDoux (2000) formula que hi hauria dues vies neuronals en el processament emocional. Per una banda, hi hauria una via directa des del tàlem a l'amígdala que produiria les respostes emocionals ràpides i grolleres imprescindibles per a la supervivència. Per l'altra, la ruta indirecta que connectaria el tàlem i l'amígdala passant per l'escorça, donant lloc a l'experiència conscient de l'emoció. En aquesta via seria molt important la valoració dels estímuls per a generar les emocions (Gazzaniga et al., 2014).

1.3.2. Què és la música?

La definició de la música és objecte de polèmica i difereix entre cultures. Si bé alguns autors contemporanis han revolucionat la seva definició incloent el silenci o el soroll, tradicionalment es defineix com una combinació de sons composta pels següents components (Levitin, 2006):

- **To:** atribut dels sons que els caracteritza com a més aguts o més greus. Depèn de la freqüència d'ona (velocitat de vibració de les molècules d'aire) i es mesura en hertzs. En la música, els tons es divideixen en unitats discretes (les notes musicals), que alhora s'organitzen en escales.
- **Timbre:** qualitat del so que permet diferenciar els instruments entre ells. S'associa a la complexitat de l'ona sonora, que és fruit de les freqüències harmòniques complementàries que produeix cada instrument.
- **Ritme:** si bé el tempo és la velocitat de la peça musical, el ritme ve determinat per la duració de les notes. L'"agògica" fa referència als canvis rítmics en una peça musical.
- **Intensitat:** és la qualitat que distingeix els sons forts dels fluixos. Es construeix a partir de l'amplitud d'ona i es mesura en decibels. La "dinàmica" es refereix als canvis d'intensitat en la música.

2. Metodologia

La metodologia emprada en aquesta revisió ha consistit en els següents passos: la cerca, una primera selecció d'estudis a partir de la lectura del seu *abstract*, la selecció definitiva dels estudis, la seva lectura exhaustiva i el buidatge i agrupació de la informació extreta.

La **cerca** dels estudis s'ha fet principalment a través de les plataformes PubMed i PsycINFO. La seva **selecció** s'ha restringit a aquells estudis empírics i de revisió sobre l'emoció musical que aborden la temàtica en termes neurobiològics. Com que el camp d'investigació és novell, les publicacions són majoritàriament d'aquesta última dècada. En la selecció final s'ha desestimat la temporalitat dels estudis per tal d'incloure un conjunt representatiu de l'evolució de la conceptualització de la temàtica. Els estudis finalment inclosos són:

Títol	Any	Autors	Revista	Rang (Quartil)	Factor d'impacte
Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion	2001	Blood, A.J. i Zatorre, R.J.	<i>Proceedings of the National Academy of Sciences</i>	Q1	10,896
Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems	2004	Brown, S. et al.	<i>Neuroreport</i>	Q2	2,351
Emotional responses to music: the need to consider underlying mechanisms	2008	Juslin, P.N., Västfjäll, D.	<i>Behavioral and Brain Sciences</i>	Q1	12,818
From everyday emotions to aesthetic emotions: towards a unified theory of musical emotion	2013	Juslin, P.N.	<i>Physics of life reviews</i>	Q1	9,478
Investigating emotion with music: neuroscientific approaches	2005	Koelsch, S. et al.	<i>Annals of the New York Academy of Sciences</i>	Q1	1,93
Investigating emotion with music: an fMRI study	2006	Koelsch, S. et al.	<i>Human Brain Mapping</i>	Q1	4,888
A Neuroscientific Perspective on Music Therapy	2009	Koelsch, S.	<i>Annals of the New York Academy of Sciences</i>	Q1	2,67
Towards a neural basis of music-evoked emotions	2010	Koelsch, S.	<i>Trends in Cognitive Sciences</i>	Q1	9,686
Brain Correlates of Music-evoked emotions	2014	Koelsch, S. et al.	<i>Nature Reviews Neuroscience</i>	Q1	32,989
Music-evoked emotions: principles, brain correlates, and implications for therapy	2015	Koelsch, S.	<i>Annals of the New York Academy of Sciences</i>	Q1	4,518
Investigating the Neural Encoding of Emotion with Music	2018	Koelsch, S.	<i>Neuron</i>	-	-
Effects of Musical tempo on Musician's and Non-musician's emotional experience when listening to music	2018	Liu, Y. et al.	<i>Frontiers in Psychology</i>	-	-
Music and the nucleus accumbens	2015	Mavridis, I. N.	<i>Surgical and Radiologic Anatomy</i>	Q3	1,195
Basic, Specific, Mechanistic? Conceptualizing Musical Emotions in the Brain	2016	Omigie, D.	<i>Journal of Comparative Neurology</i>	Q2	3,331
Music-evoked emotions: current studies	2017	Schaefer, H.	<i>Frontiers in Neuroscience</i>	Q2	3,877
Neuroarquitectura de la emoción musical	2013	Sel, A. i Calvo-Merino, B.	<i>Revista de Neurologia</i>	Q4	0,926

Mapping Aesthetic Musical Emotions in the Brain	2011	Trost, W., et al.	<i>Cerebral Cortex</i>	Q1	6,544
From perception to pleasure: music and its neural substrates	2013	Zatorre, R.J. i Salimpoor, V.N.	<i>Proceedings of the National Academy of Sciences</i>	Q1	9,809
Musical pleasure and reward: mechanisms and dysfunction	2015	Zatorre, R. J.	<i>Annals of the New York Academy of Sciences</i>	Q1	4,518

Taula 1. Estudis inclosos en la revisió.

Altrament, també s’ha tingut en compte la lectura dels següents llibres:

Títol	Any	Autors
Tu Cerebro y la Música	2006	Daniel J. Levitin
The Human Brain Book	2019	Rita Carter

Taula 2. Exemplars consultats.

Per valorar la **qualitat** dels estudis s’han tingut en compte dos indicadors: el “factor d’impacte” i el “rang/quartil”, que mesuren la qualitat de les revistes científiques i per extensió de la qualitat dels articles dels investigadors que hi publiquen. Aquestes dades s’han obtingut a partir del recurs *Journal Citation Reports* que ofereix la plataforma *Web of Science*. La majoria dels estudis inclosos es troben en revistes del primer rang quartil (Q1), indicant que aquestes es conformen el 25% superior de revistes més influents en el seu camp temàtic.

La **lectura** dels estudis ha consistit en tres fases. En la primera, s’han llegit els *abstracts* de les publicacions i després s’ha procedit a llegir els estudis dues vegades.

El **buidatge** s’ha fet al llarg de la segona lectura en forma d’esquemes per facilitar-ne la comparació i l’agrupació dels continguts en funció de la temàtica.

3. Resultats

Per entendre les emocions musicals s'abordaran dues dimensions. Per una banda, la dimensió teòrica que intenta dilucidar-ne els processos psicològics subjacents i per l'altra, la neurocientífica, argumentant aquelles àrees cerebrals implicades en aquest fenomen.

3.1. Mecanismes psicològics subjacents a l'emoció musical

Després de gairebé una dècada d'eclèctica investigació centrada en com diversos paràmetres musicals influencien l'emoció musical, Juslin i Västfjäll (2008) detecten la necessitat d'establir-ne un marc teòric. Basant-se en propostes anteriors, fan un plantejament integrador sobre els processos psicològics que podrien explicar per què la música és capaç de provocar les emocions bàsiques. A aquests processos subjacents els anomenen "mecanismes" o "principis".

Posteriorment, Juslin (2013) revisa la proposta tot introduint un nou mecanisme i una formulació teòrica per a les emocions musicals estètiques. Koelsch (2015), molt influït per Juslin, també proposa un conjunt de principis. Com s'observa a la següent taula, alguns d'aquests coincideixen:

Juslin i Västfjäll (2008)	Juslin (2013)	Koelsch (2015)
Reflexos del tronc de l'encèfal	Reflexos del tronc de l'encèfal	
Condicionament avaluatiu	Condicionament avaluatiu	
Contagi emocional	Contagi emocional	Contagi emocional (o ressonància)
Imaginació visual	Imaginació visual	Imaginació visual
Memòria episòdica	Memòria episòdica	Memòria
Expectatives musicals i tensió	Expectatives musicals i tensió	Expectatives i tensió musical
	Embarcament rítmic	Embarcament rítmic
		Avaluació cognitiva
		Funcions socials
		Comprensió

Taula 3. Propostes teòriques per als mecanismes psicològics subjacents a l'emoció musical.

A continuació s'introdueixen els set mecanismes formulats en la revisió de Juslin (2013) tot incloent les aportacions que en fa Koelsch. Posteriorment, també s'abordaran els tres mecanismes diferencials de la proposta d'aquest darrer investigador.

3.1.1. Reflexos del tronc de l'encèfal

Abans d'arribar a l'escorça auditiva, la música es processa al tronc de l'encèfal. Davant d'estímuls forts, dissonants o accelerats (que poden ser sinònim de perill en el medi natural), la formació reticular del tronc fa augmentar l'excitació sensorial i motora de l'individu incrementant així també l'activació del sistema nerviós central (*arousal*), quelcom que facilitarà la resposta de fugida. Aquesta activació és el component fisiològic a partir del qual es construeix l'experiència emocional de l'individu (Juslin i Västfjäll, 2008).

3.1.2. Condicionament avaluatiu

Basant-se en els principis del condicionament clàssic, la música és capaç d'emocionar perquè ha estat associada repetidament a un altre estímul amb valència emocional. Per exemple, una peça musical que s'ha presentat reiteradament en els moments compartits amb un amic, generarà en l'oient emocions positives de manera inconscient quan la torni a sentir.

Donada la seva idiosincràsia, aquest mecanisme és difícil de sistematitzar i encara hi ha pocs estudis que l'investiguin. Tant és així que encara es desconeixen quins elements musicals es condicionen, tot i que s'especula que el més important seria la melodia (Juslin i Västfjäll, 2008).

3.1.3. Contagi emocional

La recerca del contagi emocional s'ha centrat tradicionalment en l'expressió facial d'emocions. Si un individu visualitza una expressió facial emocional, automàticament activa els mateixos músculs facials implicats en l'expressió. Consegüentment, per un mecanisme de *feedback*, l'individu experimenta la mateixa emoció (Juslin, 2013).

Aquest fenomen es basa en les neurones mirall i és molt important en termes evolutius per garantir la supervivència d'un grup. Si en un grup d'individus un membre detecta un perill i expressa l'emoció de por, els altres membres automàticament mimetitzaran l'expressió i experimentaran la mateixa por, quelcom que els permetrà emetre la resposta de fugida. El contagi emocional també és la base de l'empatia (Juslin, 2013).

De la mateixa manera, en escoltar una peça musical hi hauria una sincronització motora i vocal que donaria lloc a l'emoció. Juslin (2013) proposa que l'activació emocional de l'individu en escoltar música deriva de percebre trets en la peça que són similars a la prosòdia afectiva de la veu humana. Per exemple, en expressar alegria en la parla augmenta variabilitat en el to, quelcom que també passa en la música percebuda com a alegre (Koelsch, 2015).

3.1.4. *Imaginació visual*

Les imatges internes són una important font d'emoció i la música és especialment efectiva en estimular-les. En escoltar música, els individus inicien processos imaginatius capaços d'intensificar l'emoció. Per exemple, pot evocar imatges mentals de paisatges bonics o pot ser que en escoltar-la, s'imaginin a ells mateixos o a altres persones en situacions emocionals (Koelsch, 2015).

3.1.5. *Memòria episòdica*

La música és capaç d'evocar memòries personals i quan ho fa, evoca també les emocions associades a aquestes memòries. Els records poden ser de moments o persones i les emocions evocades són normalment la nostàlgia, l'orgull i la melancolia (Koelsch, 2015). A diferència del condicionament avaluatiu, es tractaria d'un procés conscient (Juslin, 2013).

3.1.6. *Expectatives musicals*

La música evoca emocions perquè viola, retarda o confirma les expectatives de l'oient sobre com continuarà la peça musical. Aquestes expectatives es basen en les regularitats rítmiques i harmòniques que l'oient ha percebut en la música de la seva cultura al llarg de la vida (Juslin, 2013). Pertorbacions en els patrons rítmics i harmònics o desplaçaments de la melodia respecte al seu centre tonal poden ser font de tensió (Koelsch, 2015). Si les expectatives no es compleixen, l'oient experimenta tensió i sorpresa.

La tensió se sol seguir d'una **resolució**, moment en què finalment es compleixen les expectatives (per exemple, tornar al centre tonal), quelcom reforçant i relaxant per l'individu. Si la música acaba i no es resol la tensió, la peça se sol percebre globalment com a desagradable (Koelsch, 2015).

3.1.7. *Embarcament rítmic*

L'embarcament rítmic (o *rhythmic entrainment*) es refereix a la sincronització d'alguns paràmetres biològics als ritmes externs (com el ritme de la música). Per exemple, davant d'una peça alegre amb un ritme ràpid, augmentaria el ritme cardíac de l'oient, quelcom que es traduiria en emoció a partir d'un *feedback* propioceptiu. L'evidència que dóna suport a aquesta idea encara és escassa.

Juslin i Västfjäll (2008) exemplifiquen els diversos mecanismes descrits en aquesta narrativa fictícia:

“El Claus arriba just a temps pel concert. S’asseu i la música comença. Un acord dissonant sobtat indueix una forta activació (reflexos del tronc de l’encèfal) fent que el seu cor bategui ràpidament. Quan comença a sonar el tema principal, es posa content sense cap raó aparent (condicionament avaluatiu). El to trist d’un violí fa que experimenti la mateixa emoció trista que expressa (contagi emocional). De sobte reconeix la melodia i comença a recordar nostàlgicament esdeveniments del passat (memòria episòdica). Comença a imaginar un bonic paisatge (imaginació visual). Seguidament, la música creix cap al que sembla ser una resolució però de sobte l’harmonia canvia a un altre to (expectatives musicals).” (p. 563).

Koelsch, per la seva banda, proposa que l’emoció musical també es podria explicar per tres mecanismes addicionals: el principi de l’avaluació cognitiva, la comprensió i les funcions socials de la música:

- Una concepció tradicional és considerar que l’emoció emergeix de la interpretació o **avaluació cognitiva** (*appraisal*) que se’n fa dels esdeveniments externs (segons si faciliten o dificulten l’assoliment d’objectius). Per exemple, un individu podria escoltar música amb l’objectiu de distreure’s o sentir-se acompanyat, i el seu assoliment li generaria emocions positives (Koelsch, 2015). Juslin i Västfjäll (2008) consideren que la majoria de les vegades la música no té implicacions pels objectius i opten per no incloure aquest mecanisme a la seva proposta.
- Així mateix, la resolució de la tensió d’una peça musical proporciona una nova entesa o **comprensió**, quelcom que també pot ser una font d’emoció i de plaer (Koelsch, 2015).
- L’últim principi que proposa Koelsch es basa en la capacitat de la música per enfortir els **vincles socials**, tant en la interpretació musical conjunta (on els individus col·laboren per un objectiu comú) com en la seva escolta (que implica la cognició social en entendre les intencions del compositor). La socialització aporta una experiència de recompensa per l’individu (Koelsch, 2015).

Juslin (2013) proposa que els diversos mecanismes tenen les seves pròpies característiques i el seu propi origen evolutiu. Per exemple, els “reflexos del tronc de l’encèfal” i l’“embarcament rítmic” són els primers a aparèixer mentre que la “imaginació” o la “memòria”, que requereixen representacions mentals al neocòrtex, serien mecanismes més nous. Els diferents mecanismes tindrien un substrat neural diferent.

Tot i que fins ara s'han descrit els principis individualment, en la pràctica l'emoció musical és fruit de diversos principis operant a la vegada, quelcom que pot explicar les emocions mixtes o conflictives (com per exemple les emocions agredolces) (Juslin, 2013).

3.2. Una proposta teòrica per les emocions musicals estètiques

Hi ha qui proposa que la música també evoca emocions com la transcendència, la nostàlgia o la tendresa. Juslin (2013) defineix les emocions estètiques com aquelles que tenen lloc en fer un judici estètic, que comença quan la peça musical es considera una forma d'"art". El judici estètic dependria de funcions cognitives elevades i es faria conscientment.

La definició d'"estètica" encara manca de consens, quelcom que ha dificultat la investigació empírica al respecte. Una concepció habitual és que l'oient adopta una actitud estètica quan aprecia la forma i el contingut de la melodia i li atorga un valor segons diversos criteris estètics.

Juslin i Isaksson (2014) observen que els criteris més utilitzats entre els oients per a valorar una peça musical com una forma d'art són, entre d'altres, la bellesa, la novetat, el virtuosisme de l'intèrpret i el missatge que transmet. D'aquests judicis en deriven les emocions musicals estètiques: l'originalitat d'una peça pot donar lloc a la sorpresa i el virtuosisme de l'intèrpret pot propiciar la meravella (Juslin, 2013).

3.3. Bases neurals del processament emocional de la música

Com és habitual en les disciplines emergents, la investigació de l'emoció musical és encara eclèctica quant a l'objecte d'estudi. Si bé al principi els estudis es focalitzaven en les emocions negatives evocades per la dissonància, recentment han sigut objecte d'estudi les emocions positives i el plaer.

La gran majoria d'autors han investigat els canvis d'activitat cerebral a través de dues tècniques de tomografia funcional. Per una banda, la ressonància magnètica funcional (fMRI), que mesura la quantitat d'oxigen a la sang, i per l'altra, la tomografia per emissió de positrons (PET), que localitza el consum de glucosa de les neurones. Ambdues parteixen de la idea que quan una xarxa neuronal s'activa consumeix més oxigen i més glucosa respectivament (Schaefer, 2017).

Tot i la diversitat metodològica entre els estudis, en general s'ha observat un patró comú d'activitat cerebral. És objectiu d'aquest apartat recollir i argumentar aquelles estructures cerebrals més importants per l'emoció musical.

3.3.1. De la percepció a l'emoció

Quan un objecte es mou o vibra, genera un moviment de partícules en el medi aeri en forma d'ona sonora que fa vibrar el timpà, que, a través dels ossicles de l'oïda mitjana, transmet la vibració a la còclea, on es fa la transducció del senyal mecànic al senyal neural.

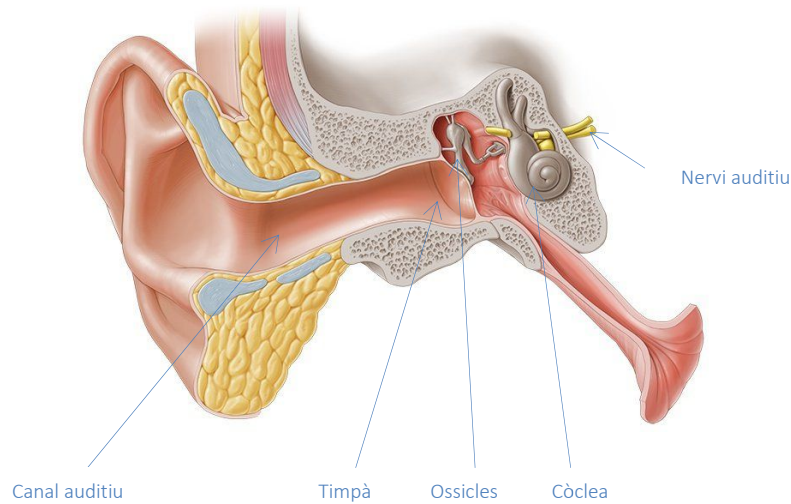


Figura 1. Anatomia de l'oïda. Recuperat de <https://www.kenhub.com>.

Des de la còclea, la informació es transmet pel nervi auditiu cap a l'escorça cerebral auditiva (al lòbul temporal), passant primer pel tronc de l'encèfal i el tàlem. L'escorça auditiva primària (A1) rep la informació del tàlem i processa les característiques del so (to, volum, etc.).

El següent nivell de processament el conforma l'escorça auditiva d'associació, que es divideix en dos corrents neurals. El ventral (a la regió paracinturó) integra les característiques del so en melodies. El dorsal (a l'escorça parietal posterior) localitza els sons a l'espai. Finalment, la informació d'ambdós s'integra a l'escorça prefrontal.

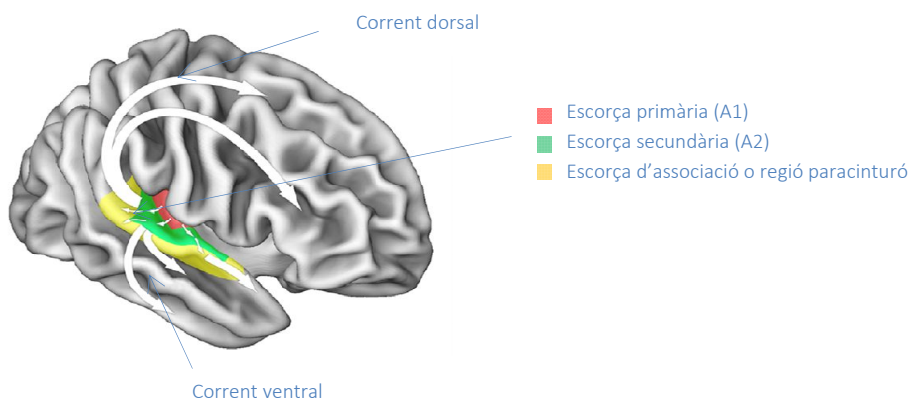


Figura 2. Escorça auditiva. Recuperat de Zatorre i Salimpoor (2013).

En el processament auditiu hi ha una clara asimetria hemisfèrica. L'hemisferi esquerre processa el llenguatge oral i el dret s'encarrega de la prosòdia i la música (Zatorre i Salimpoor, 2013).

L'escorça auditiva és essencial en l'emoció musical. Koelsch et al. (2018) observen activacions simultànies de l'escorça auditiva i l'amígdala en l'alegria evocada per la música, quelcom que suggereix una connexió entre aquestes dues estructures. LeDoux (2000) i Liu et al. (2017) donen suport a aquesta idea i Salimpoor et al. (2013) observen connexions entre l'escorça auditiva i l'estriat ventral en el valor reforçador de la música.

3.3.2. El tronc de l'encèfal

Juslin (2013) proposava que al **tronc de l'encèfal** hi hauria una primera anàlisi dels sons dissonants i perillosos que seria capaç de generar una resposta emocional ràpida d'activació. D'acord amb aquesta idea, Bieldman i Krishnan (2009) observen que la dissonància i l'harmonia de la música ja es codifiquen en els primers estadis del processament auditiu. En el seu camí des de la còclea a l'escorça auditiva, l'estímul auditiu passa pels nuclis coclear i vestibular del tronc de l'encèfal, on té lloc el primer nivell de processament del volum i la dissonància. Aquests nuclis projecten a la formació reticular, contribuint als efectes activadors i relaxants de la música (Sel i Calvo-Merino, 2013).

3.3.3. El lòbul frontal

El **lòbul frontal** és la seu de les funcions executives, com ara la planificació, la seqüenciació temporal i la memòria de treball (Zatorre, 2015).

A diferència dels estímuls visuals, que solen ser estàtics, els auditius són evanescents. És per això que per a concatenar la informació auditiva i percebre melodies cal emmagatzemar-la a la memòria de treball (o memòria ecoica), que rau en els bucles de connexió entre l'escorça auditiva i la frontal (Zatorre i Salimpoor, 2013).

La memòria ecoica és essencial per al reconeixement de regularitats tonals i rítmiques en la música, que són la base per la generació d'expectatives musicals. En concret, les expectatives sobre el to i l'harmonia es creen sobre els bucles entre l'escorça auditiva i l'escorça frontal inferior. En canvi, en les expectatives rítmiques hi participarien l'escorça premotora conjuntament amb el cerebel. Davant d'una violació de les expectatives tonals, harmòniques o rítmiques, aquestes regions frontals emetrien una resposta que donaria lloc a l'emoció. De la mateixa manera, propiciarien plaer quan les expectatives es complissin (Zatorre i Salimpoor, 2013).

Tillmann, et al. (2006) demostren a través de fMRI la implicació de l'escorça frontal inferior en el processament de les expectatives musicals. Donant suport a la idea que la seva violació i resolució

podrien ser font d'emoció musical, Zatorre (2015) observa interaccions entre l'escorça frontal i el sistema de recompensa en l'escolta de peces musicals plaents.

A part de la seva clara relació amb les expectatives musicals, l'escorça frontal també explicaria el contagi emocional (Juslin, 2013), que es basaria en l'empatia fruit de la sincronització motora o vocal amb la cançó. L'opercle rolàndic és la regió d'escorça que queda amagada per la cissura de Rolando (o cissura central), que divideix els lòbuls frontal i parietal del cervell. Conté la representació de la laringe i el tracte vocal i s'activa durant el cant. Koelsch et al. (2006) observen que també ho fa quan els oients escolten música i ho relacionen amb la representació vocal premotora de la música emocional.

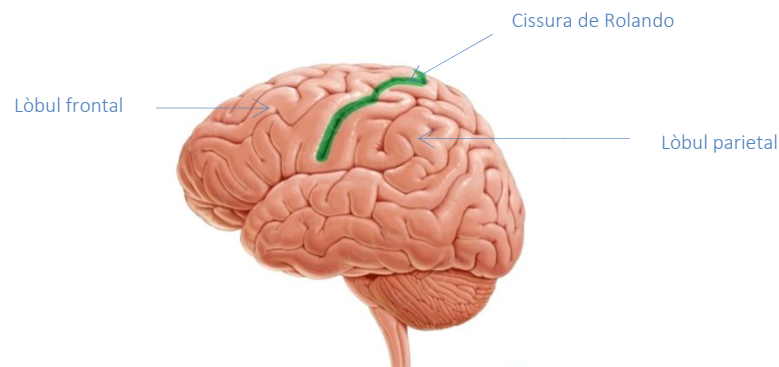


Figura 3. Cissura de Rolando. Recuperat de <https://www.kenhub.com>.

L'**escorça orbitofrontal** forma part del sistema límbic i està implicada en l'aprenentatge de les relacions entre la conducta i la recompensa, en l'anticipació de les seves conseqüències i en la presa de decisions. Les seves connexions amb l'amígdala i l'hipotàlem podrien explicar el mecanisme de l'avaluació cognitiva, segons el qual la música provoca emocions per la interpretació que fa l'individu de les conseqüències d'escoltar-la (segons si facilita o dificulta l'assoliment d'objectius). Si bé l'escorça orbitofrontal es relaciona amb les avaluacions cognitives automàtiques, les interpretacions conscients i deliberades es relacionen amb altres regions del neocòrtex (Koelsch, 2015).

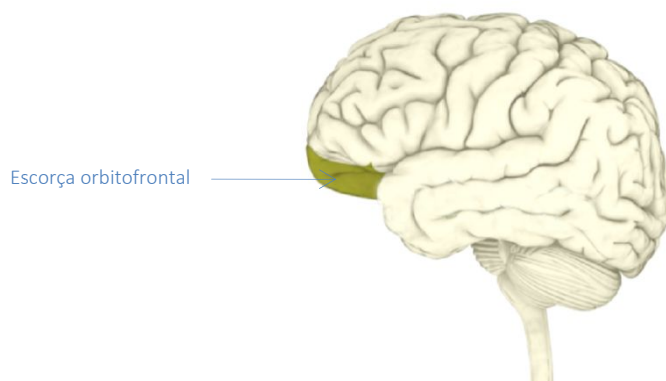


Figura 4. L'escorça orbitofrontal. Recuperat de <https://www.gettyimages.com>.

3.3.4. El sistema de recompensa

Com a recompensa per dur a terme les funcions essencials per la supervivència (alimentació, sexe, conducta social, etc.) el cervell crea el plaer per garantir que l'individu les repetirà. El sistema de recompensa rau en una de les rutes dopaminèrgiques del cervell, la **via mesolímbica**. Quan es duen a terme aquestes funcions essencials, l'àrea tegmental ventral del mesencèfal allibera dopamina, que projecta al nucli accumbens de l'estriat ventral donant lloc al plaer. El nucli accumbens, al seu torn, motiva aquelles conductes que permeten obtenir la recompensa de nou (Carter, 2019).

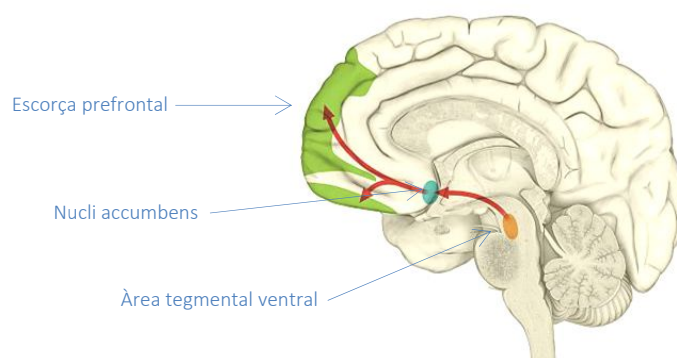


Figura 5. El sistema mesolímbic. Recuperat de <https://www.gettyimages.es>.

Feduccia i Dauvachelle (2008) posen de manifest que, en animals, l'efecte de l'èxtasi (una droga capaç d'activar la via mesolímbica) augmenta en escoltar música (Mavridis, 2015). Així mateix, els estudis de neuroimatge evidencien la relació entre la música i aquesta via.

Tant els estudis de fMRI (Menon i Levitin, 2005; Koelsch et al., 2006) com els de PET (Brown et al., 2004; Salimpoor et al., 2011), han demostrat que les emocions positives i el plaer evocat per la música es relacionen amb l'activació de l'estriat ventral i amb un augment de la dopamina (Blood i Zatorre, 2001).

Koelsch et al. (2006) i Blood i Zatorre (2001) observen que l'activació del sistema mesolímbic correlaciona amb l'experiència d'esgarrifances plaents o "pell de gallina" davant la música. Per la seva part, Zatorre (2015) posa de manifest interaccions entre l'escorça frontal i l'estriat ventral, fet que dona suport a la relació entre el plaer evocat per la música i la resolució de la tensió musical.

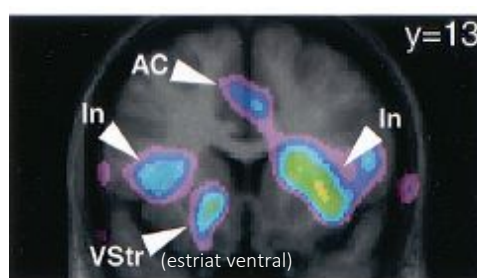


Figura 6. Activació de l'estriat ventral que correlaciona amb l'experiència de calfred en escoltar música. Recuperat de Blood i Zatorre (2001).

L'**anhedonia musical específica** és l'absència de resposta de plaer davant la música en individus que, en canvi, poden gaudir d'altres estímuls com el menjar o el sexe. S'observaria en un 5% de la població i es podria relacionar amb una disminució de la connectivitat entre l'escorça auditiva i l'estriat ventral. Per altra banda, una major connectivitat entre aquestes regions s'observaria en aquells individus amb major sensibilitat per la música (Mas-Herrero et al., 2013).

Amb tot, la conclusió és que la música és capaç d'activar el sistema de recompensa i que el seu valor gratificant estaria modulats per mecanismes corticals.

3.3.5. El sistema límbic

Quan un esdeveniment extern o intern provoca una emoció, s'activa un component fisiològic que implica una resposta del sistema nerviós autònom orquestrada per l'hipotàlem (augment del ritme cardíac, de la respiració, etc.).

El **sistema límbic** és el conjunt d'estructures implicades en l'emoció i inclou tant regions subcorticals (com l'amígdala, l'hipotàlem, el tàlem i els cossos mamil·lars) així com estructures corticals (com l'escorça orbitofrontal i el gir cingulat). Tanmateix, avui en dia no es parla d'un sol circuit de l'emoció sinó d'una xarxa més complexa que també inclouria altres estructures com l'escorça somatosensorial, l'ínsula i l'estriat ventral (Gazzaniga et al., 2014).

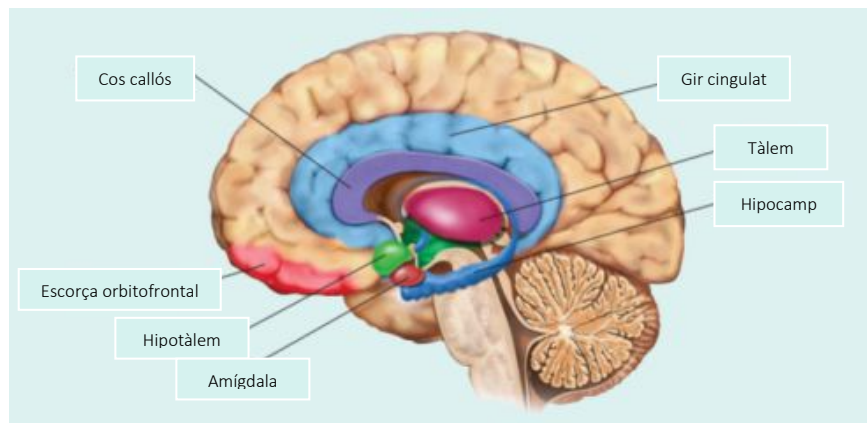


Figura 7. El sistema límbic. Recuperat de Gazzaniga et al. (2014).

3.3.5.1. L'hipotàlem

L'**hipotàlem** coordina les funcions corporals, les conductes essencials per l'organisme (menjar, beure, etc.) i la resposta emocional. Rep aferències de l'amígdala i conforma l'inici de l'eix hipotalàmic-hipofisiari-adrenal (HPA), la base biològica de la resposta d'estrès i per tant, de la por i l'ansietat, les emocions que preparen el cos per la lluita o la fugida davant de situacions perilloses (Carter, 2019).

L'estudi de fMRI de Menon i Levitin (2005) observa canvis d'activació de l'hipotàlem en escoltar música emocional, quelcom que corrobora que la música també és capaç d'activar el component fisiològic de l'emoció.

3.3.5.2. L'amígdala

Després de passar pel tàlem, la informació auditiva projecta a l'**amígdala** on té lloc el primer processament de l'emoció musical (Sel i Calvo-Merino, 2013). L'amígdala o complex amigdalià és en realitat un conjunt de nuclis amb funcions diferenciades. Es pot considerar la "centraleta" de les emocions, ja que avalua els estímuls externs i interns en termes de perill i rellevància i s'activa davant dels estímuls amb valència negativa.

El conjunt de nuclis que conforma l'**amígdala basolateral** és l'estructura més important en el processament emocional dels estímuls auditius. Davant d'aquest tipus d'estímuls, projecta a l'hipotàlem donant lloc al component fisiològic de l'emoció i a les àrees corticals per a crear l'experiència emocional conscient de l'individu.

Tradicionalment, els estudis de fMRI han observat canvis d'activitat de l'amígdala en visualitzar expressions facials de por i durant l'escolta d'expressions vocals de valència negativa (Phillips et al., 1998). Pel que fa a la música, Koelsch et al. (2006) demostren que l'amígdala s'activa durant les emocions negatives provocades per la dissonància mentre que la seva activitat disminueix amb la música valorada com a plaent. Aquesta troballa és congruent amb l'estudi PET de Blood i Zatorre (2001), en què l'experiència de calfreds plaents dels oients en escoltar la seva cançó preferida correlaciona amb l'activació de l'estriat ventral i una menor activació de l'amígdala.

En definitiva, d'aquests estudis se n'extreu que la música és capaç de modular l'activitat de l'amígdala, activant-la quan és desagradable i disminuint la seva activació quan és agradable (Koelsch, 2010).

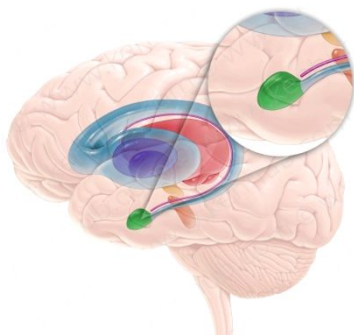


Figura 8. L'amígdala. Recuperat de <https://www.kenhub.com>.

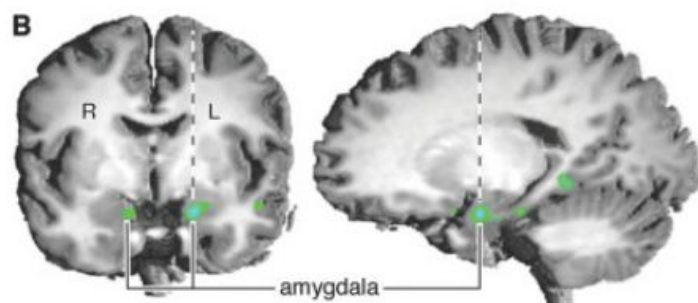


Figura 9. Activació de l'amígdala durant música desagradable. Recuperat de Koelsch et al. (2006).

Tanmateix, en algunes ocasions l'amígdala també pot activar-se davant d'estímuls musicals positius (Eldar et al., 2007). Això es deu al rol diferencial del conjunt de nuclis que conforma l'**amígdala superficial**, que processa els estímuls amb significat social. Cares, vocalitzacions prosòdiques i música són capaces d'activar-la donant lloc a emocions positives com l'alegria (Koelsch, 2014).

En un estudi de fMRI, Koelsch et al. (2013) observen més activitat en l'amígdala superficial durant l'alegria evocada per la música en comparació amb la por. També detecten una major connexió entre l'amígdala superficial i el nucli accumbens en aquestes situacions. Sembla que conformen una xarxa que modula l'apropament a estímuls socioafectius (Koelsch, 2014).

3.3.5.3. L'hipocamp

L'**hipocamp** s'ha relacionat amb les emocions musicals a través de diferents processos psicològics. Per una banda, participa en la memòria auditiva a llarg termini. La música és capaç d'evocar memòries personals i quan ho fa, evoca també les emocions associades a aquestes memòries (Juslin, 2013). Les projeccions de l'hipocamp cap a l'amígdala donen lloc a les emocions evocades per aquests records (Schaefer, 2017).

A més, amb les seves projeccions a l'hipotàlem, també està implicat en la regulació de l'estrès i en la generació d'emocions positives d'alegria i felicitat (Koelsch, 2014). De fet, en individus deprimits i amb estrès posttraumàtic s'ha observat una disminució del seu volum. Per altra banda, la seva activació s'ha relacionat amb la disminució dels nivells de cortisol, i així, de l'estrès (Jacobson i Sapolsky, 1991).

Les emocions positives evocades per la música es podrien explicar, per tant, per la seva capacitat d'activar l'hipocamp (Koelsch, 2014). Donant suport a aquesta idea, Koelsch et al. (2013) observen un augment de la connectivitat entre l'hipocamp i l'hipotàlem durant l'alegria evocada per la música.

L'hipocamp també es relaciona amb l'aferrament social i les consegüents emocions positives provocades per la socialització (Schaefer, 2017). En situacions socials, regula l'alliberament d'oxitocina per part de la hipòfisi i projecta a l'estriat ventral donant lloc al plaer i l'alegria (Koelsch, 2014). Atès que la música està directament implicada en les funcions socials, una altra explicació de per què genera emocions positives es troba, per tant, en la socialització.

Malgrat l'indiscutible rol de l'hipocamp en les emocions positives evocades per la música, altres autors (Koelsch et al., 2006 i Eldar et al., 2007) relacionen l'augment de l'activitat hipocampal amb la música desagradable i aterridora. Tot i semblar una troballa contradictòria, cal tenir en compte que hi ha dos tipus de transmissió sinàptica: l'excitadora i la inhibidora. L'hipocamp és una de les regions del cervell més susceptibles al dany neuronal. Tant és així, que davant de situacions

estressants en què augmenta l'activitat de l'amígdala (com per exemple, l'escolta de música desagradable), aquesta inhibiria alhora l'activitat de l'hipocamp per tal de protegir-lo del dany (Koelsch, 2014). El treball de Hirano et al. (2006) recolza aquesta idea observant connexions inhibidores des de l'amígdala cap a l'hipocamp durant l'escolta de soroll desagradable.

3.3.5.4. L'escorça cingulada anterior

L'escorça cingulada anterior és la regió frontal del gir cingulat, una circumvolució cerebral que connecta el sistema límbic amb el neocòrtex. Per la seva posició especial, connecta i sincronitza l'emoció, la cognició, el moviment i l'activitat del sistema nerviós autònom. La sincronització d'aquests sistemes és indispensable per l'experiència subjectiva de l'emoció, que es relaciona amb la participació d'aquesta regió conjuntament amb l'escorça orbitofrontal (Koelsch, 2010).

Diversos estudis de neuroimatge relacionen la seva activació amb l'agradabilitat de la música (Koelsch, 2006; Brown et al., 2004) i amb la resposta fisiològica autònoma responsable dels calfreds de plaer en escoltar música (Blood i Zatorre, 2001).

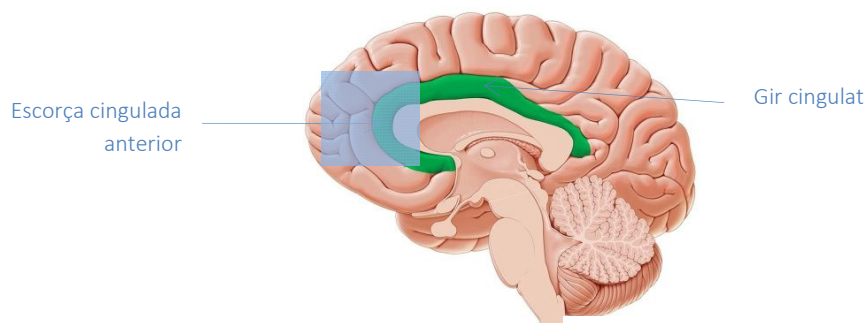


Figura 10. Escorça cingulada anterior. Recuperat de <https://www.kenhub.com>.

El gir cingulat forma part de la xarxa neuronal per defecte, un conjunt d'estructures que són responsables de l'activitat de la ment en repòs (pensament espontani o subconscient). Taruffi et al. (2017) observen que la música alegre provoca canvis en l'activitat d'aquesta xarxa, disminuint-ne la centralitat i així disminuint la deambulació del pensament (Koelsch, 2018).

4. Discussió

Tot i les seves diferències quant a objectius i metodologia, els estudis analitzats en aquesta revisió observen un patró comú d'estructures cerebrals implicades en l'emoció musical, demostrant que la música és capaç d'activar les principals estructures implicades en l'emoció.

Ha sigut objectiu d'aquesta revisió convergir les troballes dels estudis de neuroimatge analitzats amb els principis teòrics de l'emoció musical proposats per Juslin (2013) i Koelsch (2015). Si bé Juslin ja plantejava hipòtesis sobre els possibles substrats neurals dels seus mecanismes, aquest treball ha recollit l'evidència empírica per alguns d'ells. En la següent taula es resumeixen les relacions entre els mecanismes i substrats neurals, conjuntament amb els autors que les han argumentat:

	Mecanisme	Àrees cerebrals implicades	Autors
Juslin (2013)	Reflexos del tronc de l'encèfal	La dissonància o consonància provoquen canvis al tronc de l'encèfal (nuclis coclear i vestibular i formació reticular).	Bieldman i Krishnan (2009) Sel i Calvo-Merino (2013)
	Contagi emocional	Escoltar música amb expressió emocional induïx canvis d'activitat a l'opercle rolàndic i a l'escorça prefrontal medial	Blood i Zatorre (2001) Koelsch et al. (2006)
	Memòria episòdica	La música és capaç de generar canvis d'activitat a l'hipocamp.	Koelsch et al. (2013) Schaefer (2017)
	Expectatives musicals	Hi estan implicats els bucles entre l'escorça frontal i l'auditiva. En concret, l'escorça frontal inferior per les expectatives tonals i harmòniques i el cerebel i l'escorça prefrontal per les expectatives rítmiques.	Tillmann et al. (2006) Zatorre i Salimpoor (2013) Zatorre (2015)
Koelsch (2015)	Avaluació cognitiva	Nombrosos estudis observen canvis d'activitat en l'escorça orbitofrontal, que entre d'altres podria estar implicada en l'avaluació cognitiva automàtica.	Koelsch (2015) Koelsch (2018)
	Funcions socials	L'amígdala superficial i l'hipocamp s'activen davant d'estímuls amb significat social com la música.	Koelsch et al. (2013) Koelsch (2014)

Taula 4. Resum dels mecanismes psicològics i els seus substrats neurals.

Si bé alguns autors argumenten aquestes relacions en el context d'estudis de neuroimatge que aborden l'emoció musical de manera generalista, encara és escassa la investigació que es dedica a analitzar el substrat neural d'aquests mecanismes psicològics. La investigació al voltant de l'emoció musical encara sembla centrada a llistar les estructures cerebrals implicades i adoptar un punt de

vista poc explicatiu. Així mateix, encara hi ha mecanismes teòrics proposats per Juslin (2013) que amb prou feines apareixen en el panorama neurocientífic actual.

El futur de la recerca de l'emoció musical hauria d'intentar trencar amb la dicotomia que divideix els estudis teòrics dels neurocientífics, i així establir una línia d'investigació integradora que convergeixi ambdues perspectives. Per tant, per una entesa global sobre l'emoció musical caldrà que creixi l'interès per a consolidar un marc teòric transversal amb evidència neurocientífica.

Així mateix, és un objectiu de la futura investigació esclarir el substrat neural de les emocions musicals estètiques i determinar fins a quin punt es poden diferenciar de les emocions musicals bàsiques.

Aquestes futures línies d'investigació s'hauran d'integrar dins del marc conceptual modern de l'emoció que considera que no hi ha un sol circuit emocional sinó que es tracta d'un fenomen multifactorial i que les diferents emocions s'explicarien per substrats neurals diferents (Gazzaniga et al., 2014).

Amb tot, el repte es troba en desxifrar les subtiletes neurals específiques de l'experiència emocional en escoltar música. Per exemple, per a poder respondre preguntes com: "quin mecanisme neuronal opera quan ens sentim nostàlgics en escoltar una cançó?". En el futur, el desenvolupament de la tecnologia probablement permetrà fer-ne una distinció més acurada (Omidg, 2016).

5. Conclusions

Els diferents estudis recollits en aquesta revisió evidencien que la música és capaç de provocar emocions a diferents nivells i a través de diversos mecanismes. L'emoció musical és, per tant, un fenomen dimensional fruit de la participació de diferents processos psicològics i diverses estructures neurals.

Els estudis observen un patró comú d'estructures neurals implicades en l'emoció musical. A tall de resum, aquestes estructures són l'amígdala, l'estriat ventral, l'hipocamp, l'hipotàlem (responsable del seu component fisiològic), l'escorça cingulada i l'escorça orbitofrontal (responsables de l'experiència subjectiva de l'emoció). Per tant, posen de manifest que la música és capaç d'activar els circuits neurals emocionals, i que aquesta afecta sobre els tres components de l'emoció: el fisiològic, el conductual i l'experiència subjectiva.

El fet que la música sigui capaç d'activar els circuits emocionals posa en relleu la importància que té per als humans. La música participa en la regulació d'emocions i de l'humor i estimula la implicació dels individus en funcions socials (Koelsch, 2014). A més a més, la solidesa del patró neural de l'emoció musical dóna suport a la importància de la musicoteràpia.

Per exemple, la seva capacitat per a provocar canvis en l'hipocamp podria obrir vies per al tractament de la **depressió** i el trastorn d'estrès posttraumàtic (en les que s'observa una disminució del volum d'aquesta estructura). Altrament, l'exposició continuada a música plaent podria disminuir els nivells **d'ansietat** i alliberar el dolor.

Clínicament, els pensaments espontanis de contingut negatiu s'han associat a l'ansietat, la depressió i la infelicitat. L'**atenció plena** (*mindfulness*) és un tipus de meditació centrada en l'acceptació de l'experiència del present que s'utilitza, entre altres coses, per a disminuir l'ansietat i assolir un estat de benestar (Brewer et al., 2011). Els pensaments espontanis s'associen amb l'activitat de la xarxa neuronal per defecte i el *mindfulness* es basa en la disminució de la centralitat d'aquesta xarxa. El fet que la música també sigui capaç de modular-ne la centralitat (Taruffi et al., 2017) dóna suport a l'ús de la música per assolir els estats d'atenció plena.

La música també podria ajudar a les persones amb **autisme** a desenvolupar la seva capacitat de cognició social i les seves habilitats comunicatives. Caria et al. (2011) observen que, malgrat el seu dèficit en la comprensió de les emocions dels seus interlocutors, mantenen indemne la capacitat de percebre emocions en la música.

Aquestes troballes encoratgen l'ús de la música per a millorar la salut mental i el benestar de les persones. Tot i que la musicoteràpia és una pràctica cada vegada més utilitzada, encara són escassos els estudis de qualitat que justifiquen els seus efectes en termes d'eficàcia. Una entesa més acurada de les bases neurals de l'emoció musical servirà per comprendre millor com utilitzar la música en la teràpia.

6. Referències

Bidelman, G.M., Krishnan, A. (2009). Neural correlates of consonance, dissonance, and the hierarchy of musical pitch in the human brainstem. *Journal of Neuroscience*, 29(42), 13165-13171.

Blood, A., Zatorre, R. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(20), 11818-11823.

Brewer, J.A., Worhunsky, P.D., Gray, J.R., Tang, Y.Y., Weber, J., Kober, H. (2011). Meditation experience is associated with differences in default mode network activity and connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20254-20259.

Brown, S., Martinez, M.J., Parsons, L.M. (2004). Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems. *Neuroreport*, 15(13), 2033-2037.

Caria, A., Venuti, P., de Falco, S. (2011). Functional and dysfunctional brain circuits underlying emotional processing of music in autism spectrum disorders. *Cerebral Cortex*, 21(12), 2838-2849.

Carter, R. (2019). *The human brain book: An illustrated guide to its structure, function, and disorders*. Londres: Penguin.

Darwin, C. (1871). *The descent of man, and selection in relation to sex*. London: Murray.

Eldar, E., Ganor, O., Admon, R., Bleich, A., Hendler, T. (2007). Feeling the real world: limbic response to music depends on related content. *Cerebral Cortex*, 17(12), 2828-2840.

Feduccia, A, Duvauchelle, C. (2008). Auditory stimuli enhance MDMA-conditioned reward and MDMA-induced nucleus accumbens dopamine, serotonin and locomotor responses. *Brain research bulletin*, 77(4), 189-196.

Gazzaniga, M., Ivry, R., Mangun, G. (2014). *Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind*. California: Norton.

Hirano, Y., Fujita, M., Watanabe, K., Niwa, M., Takahashi, T., Kanematsu, M., Onozuka, M. (2006). Effect of unpleasant loud noise on hippocampal activities during picture encoding: an fMRI study. *Brain and cognition*, 61(3), 280-285.

Jacobson, L., Sapolsky, R. (1991). The role of the hippocampus in feedback regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis. *Endocrine Reviews*, 12(2), 118-134 .

James, W. (1884). ¿Qué es una emoción?. *Estudios de psicología*, 6(21), 57-73.

Juslin, P.N. (2013). From everyday emotions to aesthetic emotions: towards a unified theory of musical emotions. *Physics of life reviews*, 10(3), 235-266.

Juslin, P.N., i Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms. *Behavioral and brain sciences*, 31(5), 559-575.

Koelsch, S. (2005). Investigating emotion with music: Neuroscientific Approaches. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060(1), 412-418.

- Koelsch, S., Fritz, T., Cramon, D.Y., Müller, K., Friederici, A.D. (2006). Investigating emotion with music: an fMRI study. *Human brain mapping*, 27(3), 239-250.
- Koelsch, S. (2009). A neuroscientific perspective on music therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 374-384.
- Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in cognitive sciences*, 14(3), 131-137.
- Koelsch, S., Skouras, S., Fritz, T., Herrera, P., Bonhage, C., Küssner, M. B., Jacobs, A. M. (2013). The roles of superficial amygdala and auditory cortex in music-evoked fear and joy. *Neuroimage*, 81(1), 49-60.
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, 15 (3), 170-179.
- Koelsch, S. (2015). Music-evoked emotions: principles, brain correlates, and implications for therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 193-201.
- Koelsch, S. (2018). Investigating the Neural Encoding of Emotion with Music. *Neuron*, 98(6), 1075-1079.
- Koelsch, S., Skouras, S., and Lohmann, G. (2018). The auditory cortex hosts network nodes influential for emotion processing: An fMRI study on music- evoked fear and joy. *Plos One*, 13(1), 1-22.
- LeDoux, J.E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 23(1), 155–184.
- Levitin, D. (2006). *Tu cerebro y la música*. Barcelona: RBA.
- Liu, C., Brattico, E., Abu-Jamous, B., Pereira, C.S., Jacobsen, T., Nandi, A.K. (2017). Effect of explicit evaluation on neural connectivity related to listening to unfamiliar music. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11 (611),1-13.
- Liu, Y., Liu, G., Wei, D., Li, Q., Yuan, G., Wu, S., Wang, G., Zhao, X. (2018). Effects of Musical tempo on Musician's and Non-musician's emotional experience when listening to music. *Frontiers in Psychology*, 2118 (9), 1-11.
- Mavridis, I. (2015). Music and the nucleus accumbens. *Surgical and radiologic anatomy*, 37(2), 121-125.
- Mas-Herrero, E., Marco-Pallares, J., Lorenzo-Seva, U., Zatorre, R., Rodriguez-Fornells, A. (2013). Individual differences in music reward experiences. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 31(2), 118-138.
- Menon, V., Levitin, D. (2005). The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *Neuroimage*, 28(1), 175-184.
- Phillips, M.L., Young, A.W., Scott, S., Calder, A.J., Andrew, C., Giampietro, V. (1998). Neural responses to facial and vocal expressions of fear and disgust. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences*, 265(1408), 1809-1817.
- Omigie, D. (2016). Basic, specific, mechanistic? Conceptualizing musical emotions in the brain. *Journal of Comparative Neurology*, 524(8), 1676-1686.

- Schaefer, H. E. (2017). Music-Evoked Emotions-Current Studies. *Frontiers in neuroscience*, 600(11), 1-27.
- Schachter, S., Singer, J. (1962). Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychological review*, 69(5), 379-399.
- Sel, A., Calvo-Merino, B. (2013). Neuroarchitecture of musical emotions. *Revista de neurologia*, 56(5), 289-297.
- Taruffi, L., Pehrs, C., Skouras, S., Koelsch, S. (2017). Effects of sad and happy music on mind-wandering and the default mode network. *Scientific reports*, 7(1), 14396-14408.
- Tillmann, B., Koelsch, S., Escoffier, N., Bigand, E., Lalitte, P., Friederici, A. (2006). Cognitive priming in sung and instrumental music: activation of inferior frontal cortex. *Neuroimage*, 31(4), 1771-1782.
- Trost, W., Ethofer, T., Zentner, M., Vuilleumier, P. (2012). Mapping aesthetic musical emotions in the brain. *Cerebral Cortex*, 22(12), 2769-2783.
- Zatorre, R.J. (2015). Musical pleasure and reward: mechanisms and dysfunction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 202-211.
- Zatorre, R.J., Salimpoor, V.N. (2013). From perception to pleasure: music and its neural substrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(2), 10430-10437.
- Zentner, M., Grandjean, D., Scherer, K.R. (2008). Emotions evoked by sound of music: differentiation, classification and measurement. *Emotion*, 8(4), 494-521.