



HAL
open science

¿Qué emociones provoca una canción? Sobre un modelo probabilístico emocional – musical

Josué Alexis Lugos Abarca

► To cite this version:

Josué Alexis Lugos Abarca. ¿Qué emociones provoca una canción? Sobre un modelo probabilístico emocional – musical. *Ricerca*, 2023, 16, pp.59-119. <10.17230/ricerca.2023.16.3>. <hal-04328158>

HAL Id: hal-04328158

<https://hal.science/hal-04328158v1>

Submitted on 7 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

¿QUÉ EMOCIONES PROVOCA UNA CANCIÓN? SOBRE UN MODELO PROBABILÍSTICO EMOCIONAL-MUSICAL

WHAT EMOTIONS DOES A SONG EVOKE?: ON AN EMOTIONAL-MUSICAL PROBABILISTIC MODEL

Josué Alexis Lugos Abarca*

josuealexis22@gmail.com

Fecha de recibido: abril 24 de 2023

Fecha de aprobación: septiembre 11 de 2023

* Afiliación: Centro Universitario de Música Fermatta

Resumen

El presente artículo busca proponer un modelo matemático para calcular los valores de los posibles estados afectivos que una canción provocaría en respuesta a una persona. Para ello, se analizó el contenido emocional asociado a los intervalos, acordes, escalas, *tempo*, figuras rítmicas, etc. Después, se construyó un sistema de ecuaciones mediante el concepto de probabilidad replicando la fisiología emocional, para la cual se empleó la noción de estímulo externo. Este se asignó a los parámetros musicales, mientras que, los estímulos internos, fueron propuestos para considerar la subjetividad de cada individuo correspondiente a su respuesta emocional. De esa manera, se otorgó a cada emoción un valor de probabilidad que se divide en “sí se siente” y “no se siente”. Al final, se concretó un mecanismo matemático que determina la distribución de probabilidad en respuesta a la percepción emocional de una persona ocasionado por una canción.

Palabras claves: Distribución de probabilidad, modelo matemático, parámetros musicales, estímulos externos e internos, estados afectivos.

Abstract

This article seeks to propose a mathematical model to calculate the values of the possible affective states that a song would provoke in response to a person, for this purpose: the emotional content associated with intervals, chords, scales, tempo, rhythmic figures, etc. was analyzed. Then, a system of equations was constructed through the concept of probability replicating the emotional physiology where the notion of external stimulus was used; which was assigned to the musical parameters while, the internal stimuli were proposed to consider the subjectivity of each individual corresponding to their emotional response, in that way, each emotion was given a probability value that is divided into "yes it is felt" and "no it is not felt". In the end, a mathematical mechanism was achieved that determines the probability distribution in response to a person's emotional perception caused by a song.

Keywords: Probability distribution, mathematical model, musical parameters, external and internal stimuli, affective states.

1. Introducción

Uno de los objetivos centrales en el estudio de las emociones por parte de la psicología y la neurología es entender su fisiología (Montañés, 2005), por ejemplo, descubrir cuáles hormonas se secretan al sentir felicidad, tristeza, ira, al igual que sus respuestas biológicas. Se han intentado estudiar cuáles son los factores internos y externos que provocan que las personas experimenten emociones (Mateos et al., 2020). Dentro de este ámbito se ha logrado comprender el proceso emocional que el ser humano tiene. Dicha línea de investigación ha ocasionado que surja la interrogante de si las emociones pueden ser cuantificadas o proponer métodos matemáticos que permitan atribuirle valores específicos a cada emoción con base en los procesos neurológicos provocados por los estímulos externos a los que las personas son expuestas (Bernia Tarragó et al., 2019). Tal herramienta otorgaría la capacidad de predecir aproximadamente las emociones, lo cual tendría importantes aplicaciones para el tratamiento de la depresión y la ansiedad (Carrillo et al., 2006), o en el *neuromarketing* (Buitrago, 2018).

Con el propósito de lograr dicho objetivo, la música toma un papel fundamental, ya que, al ser capaz de evocar la mayoría de los estados afectivos, convierte a este arte en una herramienta factible para estudiar este fenómeno (Igartua et al., 1994), por ende, los psicólogos y neurólogos se han enfocado en entender por qué la música despierta emociones y qué parámetros musicales las determinan, entonces, es a través de los resultados de estas investigaciones respecto al contenido emocional de la música que se tendría una base para empezar a asignar valores de porcentaje a las emociones y proponer cuáles parámetros musicales causan qué tipo de emociones. Por tanto, en este artículo se desarrolla un modelo matemático capaz de calcular los posibles estados afectivos que una persona podría sentir o percibir bajo el estímulo musical.

2. Conjuntos de emociones y sensaciones

En esta sección se asigna una notación a cada emoción y se realizará a partir de los grupos de emociones que se han propuesto (Díaz & Enrique, 2001; Plutchik, 1982; Russell, 1980; Zentner et al., 2008), por tanto, se definen seis conjuntos:

Conjunto miedo:

$$\begin{aligned} \zeta Mi = (\zeta Ago, \zeta An, \zeta Ans, \zeta Asus, \zeta Ate, \zeta Esp, \zeta Hu, \\ \zeta Inf, \zeta Ins, \zeta Ing, \zeta Insf, \zeta Inu, \zeta Irr, \zeta Mi, \zeta Ne, \zeta Pe, \\ \zeta Pre, \zeta Rid, \zeta Sum, \zeta Sus, \zeta Tn) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Donde: Agobiado (ζAgo), Angustia (ζAn), Ansioso (ζAns), Asustado ($\zeta Asus$), Aterrado (ζAte), Espantado (ζEsp), Humillado (ζHu), Inferior (ζInf), Inseguro (ζIns), Insignificante (ζIng), Insuficiente ($\zeta Insf$), Inútil (ζInu), Irrespetado (ζIrr), Miedo (ζMi), Nervioso (ζNe), Penumbra (ζPe), Preocupado (ζPre), Ridículo (ζRid), Sumiso (ζSum), Suspenso (ζSus), Tenso (ζTn).

Conjunto sorpresa:

$$\begin{aligned} \zeta Sor = (\zeta As, \zeta Br, \zeta Con, \zeta C, \zeta D, \zeta Eg, \zeta Fa, \zeta Ma, \\ \zeta Mv, \zeta Pp, \zeta Ra, \zeta Somne, \zeta Sor) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Donde: Asombro (ζAs), Brillante (ζBr), Confundido (ζCon), Conmovido (ζC), Deslumbroso (ζD), Enérgico (ζEg), Fascinación (ζFa), Majestuoso (ζMa), Maravilloso (ζMv), Perplejo (ζPp), Radiante (ζRa), Solemne ($\zeta Somne$), Sorpresa (ζSor).

Conjunto ira:

$$\begin{aligned} \zeta Ira = (\zeta Agt, \zeta Agr, \zeta Amz, \zeta Ata, \zeta Cel, \zeta Dez, \zeta Des, \zeta Db, \zeta Dis, \\ \zeta Dist, \zeta Enoj, \zeta Fru, \zeta Fur, \zeta He, \zeta Ho, \zeta Ine, \zeta Ir, \zeta Icia, \\ \zeta Loc, \zeta Mal, \zeta Mol, \zeta Odi, \zeta Prv, \zeta Rab, \zeta Reb, \zeta Ret, \zeta Ru, \\ \zeta Sar, \zeta Vio, \zeta Vu, \zeta Ira) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Donde: Agitado (ζ_{Agt}), Agresivo (ζ_{Agr}), Amenazado (ζ_{Amz}), Atacado (ζ_{Ata}), Celoso (ζ_{Cel}), Desconfianza (ζ_{Dez}), Devastado (ζ_{Des}), Diabólico (ζ_{Db}), Disgusto (ζ_{Dis}), Distante (ζ_{Dist}), Enojo (ζ_{Enoj}), Frustrado (ζ_{Fru}), Furioso (ζ_{Fur}), Herido (ζ_{He}), Hostil (ζ_{Ho}), Inestable (ζ_{Ine}), Irritado (ζ_{Ir}), Insistencia (ζ_{Icia}), Loco (ζ_{Loc}), Maldad (ζ_{Mal}), Molesto (ζ_{Mol}), Odio (ζ_{Odi}), Provocador (ζ_{Prv}), Rabioso (ζ_{Rab}), Rebelión (ζ_{Reb}), Resentido (ζ_{Ret}), Rugoso (ζ_{Ru}), Sarcástico (ζ_{Sar}), Violento (ζ_{Vio}), Vulgar (ζ_{Vu}), Ira (ζ_{Ira}).

Conjunto felicidad:

$$\begin{aligned} \zeta^F = & (\zeta_{Ab}, \zeta_{Acp}, \zeta_{Ag}, \zeta_{Aa}, \zeta_{Al}, \zeta_{Ae}, \zeta_{Am}, \zeta_{Ah}, \zeta_{Anma}, \zeta_B, \\ & \zeta_{Cl}, \zeta_{Ca}, \zeta_{Cre}, \zeta_{Cur}, \zeta_{De}, \zeta_{Dv}, \zeta_{Du}, \zeta_{Ef}, \zeta_{Em}, \zeta_{En}, \zeta_{Etr}, \zeta_{Ep}, \\ & \zeta_E, \zeta_{Ex}, \zeta_F, \zeta_{Gr}, \zeta_{Itan}, \zeta_I, \zeta_{Ido}, \zeta_{Md}, \zeta_{Neu}, \zeta_{Op}, \zeta_{Org}, \zeta_{Pz}, \\ & \zeta_{Pc}, \zeta_P, \zeta_{Pr}, \zeta_R, \zeta_{Res}, \zeta_{Ro}, \zeta_{Sl}, \zeta_{Sa}, \zeta_{Seg}, \zeta_{Se}, \zeta_{Sr}, \zeta_{So}, \zeta_{Su}, \\ & \zeta_{Te}, \zeta_{Tr}, \zeta_T, \zeta_{Vo}) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Donde: Ablandado (ζ_{Ab}), Aceptado (ζ_{Acp}), Agradable (ζ_{Ag}), Alegre (ζ_{Aa}), Alivio (ζ_{Al}), Amable (ζ_{Ae}), Amor (ζ_{Am}), Anhelado (ζ_{Ah}), Animado (ζ_{Anma}), Bailando (ζ_B), Calma (ζ_{Cl}), Cariño (ζ_{Ca}), Célebre (ζ_{Cre}), Curioso (ζ_{Cur}), Deseo (ζ_{De}), Diversión (ζ_{Dv}), Dulce (ζ_{Du}), Efusivo (ζ_{Ef}), Emocionado (ζ_{Em}), Enamorado (ζ_{En}), Entretenido (ζ_{Etr}), Esperanza (ζ_{Ep}), Espiritualidad (ζ_E), Exaltado (ζ_{Ex}), Gratificación (ζ_{Gr}), Importante (ζ_{Itan}), Inspiración (ζ_I), Interesado (ζ_{Ido}), Meditación (ζ_{Md}), Neutral (ζ_{Neu}), Optimista (ζ_{Op}), Orgullo (ζ_{Org}), Paz (ζ_{Pz}), Placentero (ζ_{Pc}), Poderoso (ζ_P), Pretensión (ζ_{Pr}), Relajación (ζ_R), Respetado (ζ_{Res}), Romántico (ζ_{Ro}), Saludable (ζ_{Sl}), Satisfacción (ζ_{Sa}), Seguro (ζ_{Seg}), Sensualidad (ζ_{Se}), Sereno (ζ_{Sr}), Soñador (ζ_{So}), Suave (ζ_{Su}), Ternura (ζ_{Te}), Tranquilidad (ζ_{Tr}), Trascendencia (ζ_T), Voluntad (ζ_{Vo}), Felicidad (ζ_F).

Conjunto tristeza:

$$\begin{aligned} \zeta^{Tz} = & (\zeta_{Abn}, \zeta_{Abrr}, \zeta_{Aisl}, \zeta_{Apa}, \zeta_{Arre}, \zeta_{Aver}, \zeta_{Cul}, \zeta_{Depm}, \\ & \zeta_{Drad}, \zeta_{Desp}, \zeta_{Dva}, \zeta_{de}, \zeta_{Do}, \zeta_{Igno}, \zeta_{Infe}, \zeta_{Lm}, \zeta_{Las}, \zeta_{Me}, \\ & \zeta_N, \zeta_{St}, \zeta_{Slo}, \zeta_{Suf}, \zeta_{Tor}, \zeta_{Tz}, \zeta_{Vac}, \zeta_{Vict}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Donde: Abandonado (ζ_{Abn}), Aburrido (ζ_{Abrr}), Aislado (ζ_{Aisl}), Apático (ζ_{Apa}), Arrepentido (ζ_{Arre}), Avergonzado (ζ_{Aver}), Culpable (ζ_{Cul}), Deprimido (ζ_{Depm}), Desamparado (ζ_{Drad}), Desesperado (ζ_{Desp}), Desvalido (ζ_{Dva}), Desvarío (ζ_{de}), Doloroso (ζ_{Do}), Ignorado (ζ_{Igno}), Indiferente (ζ_{Infe}), Lamento (ζ_{Lm}), Lástima (ζ_{Las}), Melancólico (ζ_{Me}), Nostalgia (ζ_{N}), Sentimental (ζ_{St}), Solo (ζ_{Solo}), Sufrimiento (ζ_{Suf}), Tormento (ζ_{Tor}), Vacío (ζ_{Vac}), Victimizado (ζ_{Vict}), Tristeza (ζ_{Tz}).

Conjunto asco:

$$\zeta_{Aco} = (\zeta_{Atin}, \zeta_{Avrs}, \zeta_{Dpc}, \zeta_{Dfor}, \zeta_{Hrr}, \zeta_{Mor}, \zeta_{Reac}, \zeta_{Rpug}, \zeta_{Revo}, \zeta_{Vaci}, \zeta_{Aco}) \quad (2.6)$$

Donde: Abstinencia (ζ_{Atin}), Aversión (ζ_{Avrs}), Decepcionado (ζ_{Dpc}), Disconforme (ζ_{Dfor}), Horrible (ζ_{Hrr}), Moralista (ζ_{Mor}), Reacio (ζ_{Reac}), Repugnante (ζ_{Rpug}), Revoltoso (ζ_{Revo}), Vacilante (ζ_{Vaci}), Asco (ζ_{Aco}).

De esta forma, se tiene una notación específica para cada emoción.

3. Variables musicales de la composición

Es imposible negar el hecho de que la música es emoción (Moreno, 2003): al momento de escuchar, bien sea desde una melodía silbada hasta una sinfonía, siempre habrá de por medio uno o varios estados afectivos asociados al estímulo musical, y es ante este hecho que se suscitan dos preguntas: ¿por qué la música despierta emociones?, ¿qué emociones provoca la música? A pesar de las vastas teorías enfocadas en la neurología del ser humano, para la primera pregunta aún no se tiene una respuesta clara (Fustinoni, 2016), pero para la segunda se tienen varias respuestas que, a pesar de sus favorables resultados, no se consideran afirmaciones totalmente conclusivas en la tarea de señalar cuáles estados afectivos provoca cada parámetro musical (Gondim & Estramiana, 2010). Sin embargo, los resultados que a continuación se presentarán son argumentablemente un buen punto de partida para los propósitos de este artículo.

Se indicará cada variable musical en relación con sus estados afectivos y de acuerdo con las investigaciones que se citarán en su correspondiente momento. Cabe mencionar que el término *variable musical* hace referencia a los intervalos, escalas, acordes, figuras rítmicas, *tempo* o cualquier otro parámetro que pertenezca a una canción (Herrera, 2022).

3.1 Intervalos musicales

Son considerados base de toda melodía a razón de que el oído humano se centra en analizar las relaciones interválicas que se terminan interpretando como melodías (Schönberg, 1994), por tanto, cuando se mencione a los intervalos se entenderá como un sinónimo a la palabra *melodía*.

Los estados afectivos atribuidos a cada intervalo que se presentan a continuación se basan en estudios previos (Costa et al., 2000; Kaygusuz & Zuluaga, 2018; Panda et al., 2020; Thompson & Robitaille, 1992).

Intervalo unísono l_1

$$l_1 = (\zeta_{Su}, \zeta_{Vo}, \zeta_{Pz}, \zeta_{Sr}, \zeta_{Icia}) \quad (3.1)$$

Intervalo de segunda menor l_2^m

$$l_2^m = (\zeta_{de}, \zeta_{Ru}, \zeta_{Enoj}, \zeta_{Do}, \zeta_{Ago}, \zeta_{An}, \zeta_{Ans}, \zeta_{Asus}, \zeta_{Ate}, \zeta_{Esp}, \zeta_{Hu}, \zeta_{Iigno}, \zeta_{Inf}, \zeta_{Ins}, \zeta_{Ing}, \zeta_{Insf}, \zeta_{Inu}, \zeta_{Irr}, \zeta_{Ne}, \zeta_{Pe}, \zeta_{Pre}, \zeta_{Rid}, \zeta_{Sum}, \zeta_{Sus}, \zeta_{Tn}) \quad (3.2)$$

Intervalo de segunda mayor l_2^M

$$l_2^M = (\zeta_B, \zeta_{De}, \zeta_{Vu}, \zeta_{Dis}, \zeta_{Neu}, \zeta_{Pc}, \zeta_{Ah}, \zeta_{Sus}, \zeta_{Tor}, \zeta_{Tn}, \zeta_{Ans}, \zeta_{Ag}, \zeta_{Abn}, \zeta_{Abrr}, \zeta_{Aisl}, \zeta_{Apa}, \zeta_{Arre}, \zeta_{Aver}, \zeta_{Cul}, \zeta_{Depm}, \zeta_{Drad}, \zeta_{Desp}, \zeta_{Dva}, \zeta_{de}, \zeta_{Do}, \zeta_{Iigno}, \zeta_{Infe}, \zeta_{Lm}, \zeta_{Las}, \zeta_{Me}, \zeta_N, \zeta_{St}, \zeta_{Slo}, \zeta_{Suf}, \zeta_{Vac}, \zeta_{Vict}) \quad (3.3)$$

Intervalo de tercera menor l_3^m

$$l_3^m = (\zeta Do, \zeta Lm, \zeta Du, Me, \zeta Abn, \zeta Abrr, \zeta Aisl, \zeta Apa, \zeta Arre, \zeta Aver, \zeta Cul, \zeta Depm, \zeta Drad, \zeta Desp, \zeta Dva, \zeta de, Igno, \zeta Infe, \zeta Las, \zeta N, \zeta St, \zeta Slo, \zeta Suf, \zeta Tor, \zeta Tz, \zeta Vac, \zeta Vict) \quad (3.4)$$

Intervalo de tercera mayor l_3^M

$$l_3^M = (\zeta Aa, \zeta Ep, \zeta En, Cre, \zeta Ag, \zeta F, \zeta Ab, \zeta Acp, \zeta Al, \zeta Ae, \zeta Am, \zeta Ah, \zeta Anma, \zeta B, \zeta Cl, \zeta Ca, \zeta Cur, \zeta De, \zeta Dv, \zeta Du, \zeta Ef, \zeta Em, \zeta Etr, \zeta E, \zeta Ex, \zeta Gr, \zeta Itan, \zeta I, \zeta Ido, \zeta Md, \zeta Neu, \zeta Op, \zeta Org, \zeta Pz, \zeta Pc, \zeta P, \zeta Pr, \zeta R, \zeta Res, \zeta Ro, \zeta Sl, \zeta Sa, \zeta Seg, \zeta Se, \zeta Sr, \zeta So, \zeta Su, \zeta Te, \zeta Tr, \zeta T, \zeta Vo) \quad (3.5)$$

Intervalo de cuarta justa l_4^J

$$l_4^J = (\zeta Infe, \zeta Tn, \zeta Neu) \quad (3.6)$$

Intervalo de cuarta aumentada l_4^+

$$l_4^+ = (\zeta Em, \zeta Pr, \zeta Db, \zeta Ho, \zeta Avrs, \zeta As, \zeta Br, \zeta Con, \zeta C, \zeta D, \zeta Eg, \zeta Fa, \zeta Ma, \zeta Mv, \zeta Pp, \zeta Ra, \zeta Somne) \quad (3.7)$$

Intervalo de quinta justa l_5^J

$$l_5^J = (\zeta Vac, \zeta Am, \zeta Cl, \zeta Pc, \zeta Em, \zeta Sl, \zeta Ag) \quad (3.8)$$

Intervalo de sexta menor l_6^m

$$l_6^m = (\zeta Mol, \zeta Pe, \zeta Suf, \zeta Me, \zeta Pre, \zeta Las, \zeta An, \zeta Ag, \zeta Do, \zeta Ine, \zeta Tn) \quad (3.9)$$

Intervalo de sexta mayor l_6^M

$$l_6^M = (\zeta Ra, \zeta Ef, \zeta Ae, \zeta Sa, \zeta Pc, \zeta Du, \zeta Ine, \zeta De, \zeta Br, \zeta Tn) \quad (3.10)$$

Intervalo de séptima menor l_7

$$l_6 = (\zeta_{Ex}, \zeta_{Am}, \zeta_{Ro}, \zeta_{Tz}, \zeta_{Do}, \zeta_{Vac}, \zeta_{Me}, \zeta_{Pp}, \zeta_{Abn}, \zeta_{Abr}, \zeta_{Isl}, \zeta_{Apa}, \zeta_{Arre}, \zeta_{Aver}, \zeta_{Cul}, \zeta_{Depm}, \zeta_{Drad}, \zeta_{Desp}, \zeta_{Dva}, \zeta_{de}, I_{gno}, \zeta_{Infe}, \zeta_{Lm}, \zeta_{Las}, \zeta_{N}, \zeta_{St}, \zeta_{Slo}, \zeta_{Suf}, \zeta_{Tor}, \zeta_{Vict}) \quad (3.11)$$

Intervalo de séptima mayor l_7

$$l_7 = (\zeta_{He}, \zeta_{Mal}, \zeta_{Odi}, \zeta_{Org}, \zeta_{Reb}, \zeta_{Vio}, \zeta_{Tn}, \zeta_{Op}) \quad (3.12)$$

Intervalo de octava justa l_8

$$l_8 = (\zeta_{Ex}, \zeta_{Somne}, \zeta_{Ma}, \zeta_{Eg}) \quad (3.13)$$

3.2 Tempo y escalas musicales

Continuamos con el *tempo* (T) y las escalas musicales (E_s), ambas consideradas como un solo parámetro dada la naturaleza de los estudios realizados (Fernández-Sotos et al., 2016; Ferri-Benedetti, 2003; Gagnon & Peretz, 2003; Hevner, 1937; Ilie & Thompson, 2006; Ramos et al., 2011; Watson, 1942).

Cuando se tienen escalas mayores: jónica, lidia o mixolidia, y el *tempo* es mayor a 90 bpm, se obtiene la siguiente distribución de probabilidad en referencia a los estados afectivos:

$$\zeta_F = 49,79\%, \zeta_{Tz} = 18,31\%, \zeta_{Ira} = 17,24\%, \zeta_{Mi} = 14,66\% \quad (3.14)$$

Cuando se tienen escalas mayores, y el *tempo* es menor a 90 bpm tenemos que

$$\zeta_F = 15,24\%, \zeta_{Tz} = 45,82\%, \zeta_{Ira} = 17,32\%, \zeta_{Mi} = 21,62\% \quad (3.15)$$

Obsérvese en ambas distribuciones de probabilidad cómo la única variable que cambia es el *tempo*, a pesar de que se mantienen las escalas mayores. El simple hecho de aumentar

o disminuir el *tempo* genera un cambio radical en los valores de probabilidad sobre los estados afectivos. Cuando el *tempo* es mayor, las variables se asocian a la felicidad, pero al disminuirlo se relaciona con la tristeza, entonces, se surge que el contenido emocional del *tempo* es más importante que el de la escala misma.

Cuando se tienen escalas menores (dórica, frigia, eólica o locria) y el *tempo* es menor a 90 bpm, se obtiene la siguiente distribución:

$$\zeta F = 24.16\%, \zeta T_z = 39.19\%, \zeta Ira = 15.84\%, \zeta M_i = 20.81\% \quad (3.16)$$

Manteniendo las mismas escalas menores, pero con un *tempo* mayor a 90 bpm, se obtiene:

$$\zeta F = 36.82\%, \zeta T_z = 22.76\%, \zeta Ira = 22.13\%, \zeta M_i = 18.29\% \quad (3.17)$$

La distribución de probabilidad expuesta en 3.17 se puede corroborar empíricamente con los géneros bailables como la cumbia. Esta se compone en su mayoría por escalas menores y con *tempos* mayores a 90 bpm (Romé et al., 2021), ante ello, la gente que escucha dicha música no se ve llorando, al contrario, se podría decir que incita a las personas a bailar (Blacking, 2003), y como el baile es una manifestación biológica de la felicidad (Vásquez Rangel, 2020), coincide con la distribución de 3.17.

Hay que considerar que la premisa anterior se basa en una generalización, y que en dicho fenómeno influyen otros factores musicales, aun así, se destaca la coherencia de los resultados con los hechos empíricos.

3.3 Acordes musicales

Se presentan los acordes junto a sus estados afectivos de acuerdo con trabajos anteriores (Hevner, 1936; Jimenez et al., 2020; Kolchinsky et al., 2017; Krumhansl, 1997; Madgazin, 2009; Schuller et al., 2010; Thompson & Robitaille, 1992).

Acorde mayor A^M

$$A^M = (\zeta_{Ab}, \zeta_{Acp}, \zeta_{Ag}, \zeta_{Aa}, \zeta_{Al}, \zeta_{Ae}, \zeta_{Am}, \zeta_{Ah}, \zeta_{Anma}, \zeta_{Br}, \zeta_B, \zeta_{Cl}, \zeta_{Ca}, \zeta_{Cre}, \zeta_{Cur}, \zeta_{De}, \zeta_{Dv}, \zeta_{Du}, \zeta_{Ef}, \zeta_{Em}, \zeta_{En}, \zeta_{Etr}, \zeta_{Ep}, \zeta_E, \zeta_{Ex}, \zeta_F, \zeta_{Gr}, \zeta_{Itan}, \zeta_I, \zeta_{Ido}, \zeta_{Md}, \zeta_{Neu}, \zeta_{Op}, \zeta_{Org}, \zeta_{Pz}, \zeta_{Pc}, \zeta_P, \zeta_{Pr}, \zeta_R, \zeta_{Res}, \zeta_{Ro}, \zeta_{Sl}, \zeta_{Sa}, \zeta_{Seg}, \zeta_{Se}, \zeta_{Sr}, \zeta_{So}, \zeta_{Su}, \zeta_{Te}, \zeta_{Tr}, \zeta_T, \zeta_{Vo}) \quad (3.18)$$

Acorde menor A^m

$$A^m = (\zeta_{Abn}, \zeta_{Abr}, \zeta_{Aisl}, \zeta_{Apa}, \zeta_{Arre}, \zeta_{Aver}, \zeta_{Cul}, \zeta_{Depm}, \zeta_{Drad}, \zeta_{Desp}, \zeta_{Dva}, \zeta_{de}, \zeta_{Do}, \zeta_{Igno}, \zeta_{Infe}, \zeta_{Lm}, \zeta_{Las}, \zeta_{Me}, \zeta_N, \zeta_{St}, \zeta_{Slo}, \zeta_{Suf}, \zeta_{Tor}, \zeta_{Tz}, \zeta_{Vac}, \zeta_{Vict}) \quad (3.19)$$

Acorde disminuido A^D

$$A^D = (\zeta_{Dv}, \zeta_{Ne}, \zeta_C, \zeta_{Ine}) \quad (3.20)$$

Acorde suspendido cuatro A^{S4}

$$A^{S4} = (\zeta_{Tn}, \zeta_{Ag}) \quad (3.21)$$

Acorde mayor con séptima mayor

$$A_M^{\Delta 7} = (\zeta_{Ro}, \zeta_{Su}, \zeta_{Sr}, \zeta_{Tr}, \zeta_{Ef}) \quad (3.22)$$

Acorde menor con séptima menor A_m^7

$$A_m^7 = (\zeta_{Su}, \zeta_{Dis}) \quad (3.23)$$

Acorde mayor con séptima menor A^7

$$A^7 = (\zeta_{Dv}, \zeta_{Ne}, \zeta_C, \zeta_{Ine}) \quad (3.24)$$

3.4 Dinámica musical

Presentamos la dinámica musical (D) con sus estados afectivos a partir de los estudios encontrados (Alaminos Fernández, 2014; Díaz, 2017; Gundlach, 1935; Ilie & Thompson,

2006; Juslin, 1997; Le Groux & Verschure, 2012; Panda et al., 2020; Rigg, 1940; Schimmack & Grob, 2000).

Cuando la dinámica es mayor o igual a *mezzo-forte*, se tienen:

$$D \geq mf = (\zeta_{Ab}, \zeta_{Acp}, \zeta_{Ag}, \zeta_{Aa}, \zeta_{Al}, \zeta_{Ae}, \zeta_{Am}, \zeta_{Ah}, \zeta_{Anma}, \zeta_B, \zeta_{Cl}, \zeta_{Ca}, \zeta_{Cre}, \zeta_{Cur}, \zeta_{De}, \zeta_{Dv}, \zeta_{Du}, \zeta_{Ef}, \zeta_{Em}, \zeta_{En}, \zeta_{Enoj}, \zeta_{Etr}, \zeta_{Ep}, \zeta_E, \zeta_{Ex}, \zeta_F, \zeta_{Gr}, \zeta_{Itan}, \zeta_I, \zeta_{Ido}, \zeta_{Md}, \zeta_{Neu}, \zeta_{Op}, \zeta_{Org}, \zeta_{Pz}, \zeta_{Pc}, \zeta_P, \zeta_{Pr}, \zeta_R, \zeta_{Res}, \zeta_{Ro}, \zeta_{Sl}, \zeta_{Sa}, \zeta_{Seg}, \zeta_{Se}, \zeta_{Sr}, \zeta_{So}, \zeta_{Su}, \zeta_{Te}, \zeta_{Tr}, \zeta_T, \zeta_{Vo}, \zeta_{Tn}, \zeta_{Mol}) \quad (3.25)$$

Cuando la dinámica es menor o igual a *mezzo-forte*,

$$D \leq mf = (\zeta_{Abn}, \zeta_{Abr}, \zeta_{Aisl}, \zeta_{Apa}, \zeta_{Arre}, \zeta_{Aver}, \zeta_{Cul}, \zeta_{Depm}, \zeta_{Drad}, \zeta_{Desp}, \zeta_{Dva}, \zeta_{de}, \zeta_{Do}, \zeta_{Igno}, \zeta_{Infe}, \zeta_{Lm}, \zeta_{Las}, \zeta_{Me}, \zeta_N, \zeta_{St}, \zeta_{Slo}, \zeta_{Suf}, \zeta_{Tor}, \zeta_{Tz}, \zeta_{Vac}, \zeta_{Vict}, \zeta_{Cl}, \zeta_{Pz}, \zeta_{Somne}, \zeta_{Ago}, \zeta_{An}, \zeta_{Ans}, \zeta_{Asus}, \zeta_{Ate}, \zeta_{Esp}, \zeta_{Hu}, \zeta_{Inf}, \zeta_{Ins}, \zeta_{Ing}, \zeta_{Insf}, \zeta_{Inu}, \zeta_{Irr}, \zeta_{Ne}, \zeta_{Mi}, \zeta_{Pe}, \zeta_{Pre}, \zeta_{Rid}, \zeta_{Sum}, \zeta_{Sus}, \zeta_{Tn}) \quad (3.26)$$

3.5 Figuras rítmicas

En las distribuciones de probabilidad para el *tempo* y las escalas se mencionó que las figuras rítmicas constituyen un aspecto clave en la cuestión del ritmo y, como el valor de las figuras rítmicas está fuertemente estrecha con el *tempo* (Retamal et al., 2016), es de esperarse una relación entre ambas. De este modo, a continuación se muestran los estados afectivos según las investigaciones realizadas (Fernández-Sotos et al., 2016; Fernández Sotos, 2017; Sloboda, 2015).

Cuando todas las figuras rítmicas (F_r) son ejecutadas a un *tempo* mayor a 90 bpm, se manifiestan los siguientes estados afectivos:

$$\begin{aligned}
T \geq 90 \text{ bpm} = & (\zeta_{Ab}, \zeta_{Acp}, \zeta_{Ag}, \zeta_{Aa}, \zeta_{Al}, \zeta_{Ae}, \zeta_{Am}, \zeta_{Ah}, \zeta_{Anma}, \\
& \zeta_B, \zeta_{Cl}, \zeta_{Ca}, \zeta_{Cre}, \zeta_{Cur}, \zeta_{De}, \zeta_{Dv}, \zeta_{Du}, \zeta_{Ef}, \\
& \zeta_{Em}, \zeta_{En}, \zeta_{Etr}, \zeta_{Ep}, \zeta_E, \zeta_{Ex}, \zeta_F, \zeta_{Gr}, \zeta_{Itan}, \\
& \zeta_I, \zeta_{Ido}, \zeta_{Md}, \zeta_{Neu}, \zeta_{Op}, \zeta_{Org}, \zeta_{Pz}, \zeta_{Pc}, \zeta_P, \\
& \zeta_{Pr}, \zeta_R, \zeta_{Res}, \zeta_{Ro}, \zeta_{Sl}, \zeta_{Sa}, \zeta_{Seg}, \zeta_{Se}, \zeta_{Sr}, \zeta_{So}, \\
& \zeta_{Su}, \zeta_{Te}, \zeta_{Tr}, \zeta_T, \zeta_{Tn}, \zeta_{Vo}, \zeta_{Agt})
\end{aligned} \tag{3.27}$$

Y para todas las figuras rítmicas, cuando el *tempo* es menor a 90 bpm, tenemos que

$$\begin{aligned}
T \leq 90 \text{ bpm} = & (\zeta_{Abn}, \zeta_{Abr}, \zeta_{Aisl}, \zeta_{Apa}, \zeta_{Arre}, \zeta_{Aver}, \zeta_{Cul}, \\
& \zeta_{Depm}, \zeta_{Drad}, \zeta_{Desp}, \zeta_{Dva}, \zeta_{de}, \zeta_{Do}, \text{Igno}, \\
& \zeta_{Infe}, \zeta_{Lm}, \zeta_{Las}, \zeta_{Me}, \zeta_N, \zeta_{Sl}, \zeta_{Slo}, \zeta_{Suf}, \zeta \\
& \zeta_{Tor}, \zeta_{Tz}, \zeta_{Vac}, \zeta_{Vict}, \zeta_{Cl}, \zeta_R, \zeta_{Sr})
\end{aligned} \tag{3.28}$$

Como se observa, no importa cuál figura rítmica se usa dentro de una canción, sino a qué *tempo* se ejecuta dicha figura, Nuevamente, se hace evidente la influencia del *tempo* dentro del contenido emocional de una canción.

3.6 Instrumentos musicales

El timbre de los instrumentos musicales (l_η) es otro factor primordial dentro del contenido emocional de la música, ya que auditivamente no es lo mismo que un acorde mayor sea ejecutado por tres violines a que un acorde sea tocado por un piano. Este fenómeno se debe a la diferencia de armónicos entre ambos instrumentos, lo cual provoca que se perciba un sonido único para cada uno de ellos (Jerez, 2020; Pujol, 1960), además de que ocasiona que los estados afectivos en respuesta cambien aunque se trate del mismo acorde (Scherer & Oshinsky, 1977), por ende, se presenta una distribución de probabilidad para específicos instrumentos con base en los estudios (Bowman & Yamauchi, 2016; Wu et al., 2014).

Para el violín:

$$\zeta^F = 50.01\%, \zeta^{T_z} = 20.75\%, \zeta^{M_i} = 16.03\%, \zeta^{I_{ra}} = 13.21\% \quad (3.29)$$

Para la trompeta:

$$\zeta^F = 49.55\%, \zeta^{T_z} = 25.34\%, \zeta^{M_i} = 11.11\%, \zeta^{I_{ra}} = 14\% \quad (3.30)$$

Para el saxofón:

$$\zeta^F = 58.77\%, \zeta^{T_z} = 18.55\%, \zeta^{M_i} = 13.40\%, \zeta^{I_{ra}} = 9.28\% \quad (3.31)$$

Para el oboe:

$$\zeta^F = 45.25\%, \zeta^{T_z} = 28.42\%, \zeta^{M_i} = 12.64\%, \zeta^{I_{ra}} = 13.69\% \quad (3.32)$$

Para el corno en fa:

$$\zeta^F = 57.57\%, \zeta^{T_z} = 19.2\%, \zeta^{M_i} = 13.13\%, \zeta^{I_{ra}} = 10.10\% \quad (3.33)$$

Para la flauta:

$$\zeta^F = 47.1\%, \zeta^{T_z} = 27.97\%, \zeta^{M_i} = 10.93\%, \zeta^{I_{ra}} = 14\% \quad (3.34)$$

Para el fagot:

$$\zeta^F = 59.82\%, \zeta^{T_z} = 19.58\%, \zeta^{M_i} = 10.30\%, \zeta^{I_{ra}} = 10.30\% \quad (3.35)$$

3.7 Articulación

Entendiendo el hecho de que los instrumentos musicales influyen en la respuesta emocional de un escucha, intuitivamente la manera en cómo se ejecutan dichos instrumentos afecta a los estados afectivos.

Debido a la carencia de investigación para este parámetro, en este artículo presentamos solo dos: el *legato* y el *staccato*, con base en Panda et al. (2020).

Legato

$$\begin{aligned}
 & (\zeta_{Abn}, \zeta_{Abr}, \zeta_{Aisl}, \zeta_{Apa}, \zeta_{Arre}, \zeta_{Aver}, \zeta_{Cul}, \zeta_{Depm}, \zeta_{Drad}, \\
 & \zeta_{Desp}, \zeta_{Tor}, \zeta_{Tz}, \zeta_{Vac}, \zeta_{Vict}, \zeta_{Dva}, \zeta_{de}, \zeta_{Do}, \zeta_{Igno}, \zeta_{Infe}, \zeta_{Lm}, \\
 & \zeta_{Las}, \zeta_{Me}, \zeta_{N}, \zeta_{Sl}, \zeta_{Slo}, \zeta_{Suf}, \zeta_{Su}, \zeta_{Te})
 \end{aligned} \tag{3.36}$$

Staccato

$$\begin{aligned}
 & (\zeta_{Ag}, \zeta_{Agr}, \zeta_{Amz}, \zeta_{Ata}, \zeta_{Cel}, \zeta_{Dez}, \zeta_{Des}, \zeta_{Db}, \zeta_{Dis}, \zeta_{Dist}, \\
 & \zeta_{Enoj}, \zeta_{Fru}, \zeta_{Fur}, \zeta_{He}, \zeta_{Ho}, \zeta_{Ine}, \zeta_{Ir}, \zeta_{Ira}, \zeta_{Icia}, \zeta_{Loc}, \zeta_{Mal}, \\
 & \zeta_{Mol}, \zeta_{Odi}, \zeta_{Prv}, \zeta_{Rab}, \zeta_{Reb}, \zeta_{Ret}, \zeta_{Ru}, \zeta_{Sar}, \zeta_{Ab}, \zeta_{Acp}, \zeta_{Agt}, \\
 & \zeta_{Aa}, \zeta_{Al}, \zeta_{Ae}, \zeta_{Am}, \zeta_{Ah}, \zeta_{Anma}, \zeta{B}, \zeta{Cl}, \zeta{Ca}, \zeta{Cre}, \zeta{Cur}, \\
 & \zeta{De}, \zeta{Dv}, \zeta{Du}, \zeta{Ef}, \zeta{Em}, \zeta{En}, \zeta{Etr}, \zeta{Ep}, \zeta{E}, \zeta{Ex}, \zeta{F}, \zeta{Gr}, \\
 & \zeta{Itan}, \zeta{I}, \zeta{Ido}, \zeta{Md}, \zeta{Neu}, \zeta{Op}, \zeta{Org}, \zeta{Pz}, \zeta{Pc}, \zeta{P}, \zeta{Pr}, \zeta{R}, \\
 & \zeta{Res}, \zeta{Ro}, \zeta{Asus}, \zeta{Eg}, \zeta{Vio}, \zeta{Vu}, \zeta{Sl}, \zeta{Sa}, \zeta{Seg}, \zeta{Se}, \zeta{Sr}, \zeta{So}, \\
 & \zeta{Su}, \zeta{Te}, \zeta{Tr}, \zeta{T}, \zeta{Vo})
 \end{aligned} \tag{3.37}$$

3.8 Rangos de octava

Por último, los rangos de octava (O), al mencionarse, nos referimos a si una melodía se toca en una rango agudo, medio o bajo. Sabiendo que empíricamente el timbre de una melodía afecta la percepción sonora (Gómez, 2007), en consecuencia, afectará a los estados afectivos en respuesta por parte del escucha. A continuación, se presentan dichas a partir del estudio de Panda et al. (2020).

Agudo

$$\begin{aligned}
 & \zeta A_{go}, \zeta A_n, \zeta A_{ns}, \zeta A_{sus}, \zeta A_{te}, \zeta E_{sp}, \zeta M_i, \zeta H_u, \zeta I_{nf}, \zeta I_{ns}, \zeta I_{ng}, \\
 & \zeta I_{nsf}, \zeta I_{nu}, \zeta I_{rr}, \zeta N_e, \zeta A_{gt}, \zeta A_{gr}, \zeta A_{mz}, \zeta A_{ta}, \zeta C_{el}, \zeta D_{ez}, \zeta D_{es}, \\
 & \zeta D_b, \zeta D_{is}, \zeta D_{ist}, \zeta E_{noj}, \zeta F_{ru}, \zeta F_{ur}, \zeta V_{io}, \zeta V_u, \zeta H_e, \zeta H_o, \zeta I_{ne}, \\
 & \zeta I_r, \zeta I_{ra}, \zeta I_{cia}, \zeta L_{oc}, \zeta M_{al}, \zeta M_{ol}, \zeta O_{di}, \zeta P_{rv}, \zeta R_{ab}, \zeta R_{eb}, \zeta R_{et}, \\
 & \zeta R_u, \zeta S_{ar}, \zeta A_b, \zeta A_{cp}, \zeta A_g, \zeta A_a, \zeta A_l, \zeta A_e, \zeta A_m, \zeta A_h, \zeta A_{nma}, \quad (3.38) \\
 & \zeta B, \zeta C_l, \zeta C_a, \zeta C_{re}, \zeta C_{ur}, \zeta D_e, \zeta D_v, \zeta D_u, \zeta E_f, \zeta E_m, \zeta E_n, \zeta E_{tr}, \\
 & \zeta E_p, \zeta E, \zeta E_x, \zeta F, \zeta G_r, \zeta I_{tan}, \zeta I, \zeta I_{do}, \zeta M_d, \zeta N_{eu}, \zeta O_p, \zeta O_{rg}, \\
 & \zeta P_z, \zeta P_c, \zeta P, \zeta P_r, \zeta R, \zeta R_{es}, \zeta R_o, \zeta P_e, \zeta P_{re}, \zeta R_{id}, \zeta S_{um}, \zeta S_{ust}, \\
 & \zeta T_n, \zeta S_l, \zeta S_a, \zeta S_{eg}, \zeta S_e, \zeta S_r, \zeta S_o, \zeta S_u, \zeta T_e, \zeta T_r, \zeta T, \zeta V_o, \zeta A_s, \zeta B_r, \\
 & \zeta C_{on}, \zeta C, \zeta D, \zeta E_g, \zeta F_a, \zeta M_a, \zeta M_v, \zeta P_p, \zeta R_a, \zeta S_{omne}, \zeta S_{or},
 \end{aligned}$$

Grave

$$\begin{aligned}
 & (\zeta A_{bn}, \zeta A_{brr}, \zeta A_{isl}, \zeta A_{pa}, \zeta A_{rre}, \zeta A_{ver}, \zeta C_{ul}, \zeta D_{epm}, \zeta D_{rad}, \\
 & \zeta D_{esp}, \zeta D_{va}, \zeta d_e, \zeta D_o, I_{gno}, \zeta I_{nfe}, \zeta L_m, \zeta L_{as}, \zeta M_e, \zeta N, \\
 & \zeta S_t, \zeta S_{lo}, \zeta S_{uf}, \zeta T_{or}, \zeta T_z, \zeta V_{ac}, \zeta V_{ict}, \zeta A_{go}, \zeta A_n, \zeta A_{ns}, \quad (3.39) \\
 & \zeta A_{sus}, \zeta A_{te}, \zeta E_{sp}, \zeta H_u, \zeta I_{nf}, \zeta I_{ns}, \zeta I_{ng}, \zeta I_{nsf}, \zeta I_{nu}, \zeta I_{rr}, \\
 & \zeta N_e, \zeta M_i, \zeta P_e, \zeta P_{re}, \zeta R_{id}, \zeta S_{um}, \zeta S_{us}, \zeta T_n)
 \end{aligned}$$

Para el rango medio no se detectaron cambios, por cuanto ellos se omiten.

Para finalizar este apartado, cabe mencionar que estas no son todas las variables musicales dentro de la composición; la razón de su omisión es debido a la falta de investigaciones, por tanto, se espera que este artículo incite o inspire a los investigadores a indagar sobre estas variables musicales y su contenido emocional, por ejemplo, saber los estados afectivos asociados al resto de los instrumentos musicales no considerados.

4. Módulos de los estados emocionales-probables externos

En esta sección se construirá la base matemática pertinente para un modelo matemático capaz de calcular los posibles valores de los estados afectivos que una persona tendrá en respuesta a un estímulo musical.

Una persona fisiológicamente sana es capaz de expresar emociones (Montañés, 2005), pero una persona no experimenta una emoción en concreto, por el contrario, son varios los estados afectivos que se viven ante un hecho que, dependiendo de los estímulos externos que rodean a una persona (Mateos et al., 2020), ocasionarían que una o varias emociones predominen más que las otras. Estudiando dicha premisa en un contexto musical, indicaría que las variables musicales no evocarían solo una emoción, sino todas las que tenga (Miguel-Tobal & Cano-Vindel, 2002). Por ejemplo, al intervalo de cuarta justa se le asocian tres estados afectivos y con base en nuestra propuesta se puede considerar argumentablemente válido que serán estas tres emociones las que van a afectar en respuesta al escucha, pero ¿qué tanto las afectarían?, ¿qué las determinan? El mejor enfoque ante la tarea de representar matemáticamente esta idea será atribuirle a cada estado afectivo una cantidad de probabilidad de ser sentida, lo cual lleva a definir los estados afectivos como estados probables con dos posibilidades: ser sentidas y no sentidas (Vergara, 2006). En resumen, dentro de esta investigación se redefine un estado afectivo como un estado probable que, según el estímulo externo, se podrá sentir cierta cantidad y no sentir otra cierta cantidad, a tal concepto lo llamaremos *estados emocionales-probables*.

A partir de esta definición se formaliza la matemática para representar dicha noción, entonces, para representar matemáticamente los estados emocionales-probables se usa la notación de Dirac (1981), de esta forma:

Así, en 4.1 se representa el estado afectivo felicidad como un estado emocional-probable.

$$|_{\zeta}F\rangle \quad (4.1)$$

Anteriormente, se propuso la comparación entre varios estados afectivos que se podrían llegar a sentir y no sentir en respuesta a ciertos estímulos externos, no obstante, la misma situación ocurre para un estado afectivo. Esto se puede manifestar entre dos estados: “Sí siente”, representado con el símbolo \vdash , y el estado “no se siente”, representado con \dashv .

Por ejemplo, un sujeto, al experimentar felicidad, puede estar $\frac{1}{2}$ % feliz, por ende, para equilibrar la probabilidad tal sujeto a la vez se sentirá otro $\frac{1}{2}$ % no feliz; así, la suma entre ambas es 1, ello se entiende como un equilibrio expresado de la siguiente manera:

$$|\vdash\left(\zeta F = \frac{1}{2}\right)\rangle + |\dashv\left(\zeta F = \frac{1}{2}\right)\rangle = 1 \quad (4.2)$$

Eventualmente, se busca dejar en claro que una persona, ante un estado afectivo, podría experimentarlo en cantidades diferentes, de ahí vienen las coloquiales frases: *me siento muy feliz, estoy feliz pero no tanto*, etc. A partir del lenguaje vemos la manifestación de esta idea de considerar diferentes cantidades de porcentajes a un solo estado afectivo (Bloch, 2002), la cual se segrega en sí se siente y no se siente. Comencemos deduciendo el caso más simple, operando con

una sola emoción, y escogeremos alegría (ζA_a) con dicho estado afectivo. Así, el módulo de estado emocional-probable se reescribe:

$$|\vdash\left(\zeta A_a = \frac{1}{2}\right)\rangle + |\dashv\left(\zeta A_a = \frac{1}{2}\right)\rangle = 1 \quad (4.3)$$

Ahora, ¿qué pasa si se ejecuta un acorde mayor? Sabiendo que, de acuerdo con 3.18, la emoción alegre responde a un acorde mayor y se puede intuir que

$$|\vdash_{\zeta} A_{\alpha}\rangle > |\neg_{\zeta} A_{\alpha}\rangle \quad (4.4)$$

Es decir, se percibirá más “sí alegría” y menos “no alegría”, pero, si en lugar de ser un acorde mayor fuese un acorde menor, entonces, intuitivamente se obtiene el resultado contrario:

$$|\vdash_{\zeta} A_{\alpha}\rangle < |\neg_{\zeta} A_{\alpha}\rangle \quad (4.5)$$

Se sentirá más “no alegría” y menos “sí alegría”, y esto se debe porque, de acuerdo con 3.19, $_{\zeta}A_{\alpha}$ no responde a los acordes menores, lo cual significa que el estímulo externo del acorde menor no hace sentir en respuesta al escucha el estado afectivo de alegría, sino lo contrario. Así, se establece que la cantidad de porcentaje de una emoción a ser sentida o no sentida depende de las variables musicales que una canción tenga.

De ahora en adelante, los intervalos musicales serán la base de los estímulos externos debido a dos razones: en primer lugar, los intervalos se traducen en la melodía y, en segundo lugar, este es el parámetro que el escucha más destaca dentro de la tarea de apreciación musical, de modo que se construirán los módulos de los estados emocionales-probables a partir de las emociones que contiene un intervalo y cuyo porcentaje en respuesta de cada estado afectivo dependerá del resto de las variables musicales, con base en ello la notación 4.3 se formaliza así:

$$|E|^e = |\vdash\left(E = \frac{J}{2}\right)\rangle + |\neg\left(E = \frac{J}{2}\right)\rangle = J \quad (4.6)$$

Donde la letra E representa cualquiera de los estados afectivos pertenecientes a los conjuntos que anteriormente se presentaron; la letra e indica que es un módulo de estado emocional-probable de un estímulo externo, mientras que la letra J es

$$J = \frac{1}{M} \frac{1}{2} \quad (4.7)$$

La expresión J representa el valor de porcentaje para cada módulo de estado emocional-probable atribuido a un intervalo musical. En tal sentido, M es el número de estados afectivos que corresponden a un intervalo musical. Más adelante, se explicará el por qué dentro de la expresión J está el número $\frac{1}{2}$.

No todos los parámetros musicales son percibidos con la misma atención por parte del escucha, por tanto, se asignan porcentajes de atención a cada variable: el *tempo* y las escalas musicales tendrán un 15%, los acordes un 50%, la dinámica y el timbre, el 10% y, por último, las figuras rítmicas, la articulación e instrumentos musicales tendrán el 5%. Es importante mencionar que estos valores se asignaron de manera empírica.

Las probabilidades para cada variable se calculan de esta manera:

Para el *tempo* y las escalas, su respectivo P_{TE_s} se calcula así:

$$P_{TE_s} = \frac{J}{100} 15\% \quad (4.8)$$

No obstante, el *tempo* y las escalas toman una diferente distribución de probabilidad de acuerdo con los parámetros musicales del *tempo* y de las escalas.

Si $T \geq 90$ *bmp* y $E_s = \text{Jónica, Lidia y Mixolidia}$, entonces, la distribución es

$$\begin{aligned} P_{TE_s}^{\zeta^F} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 49.79\%, & P_{TE_s}^{\zeta^{Tz}} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 18.31\%, \\ P_{TE_s}^{\zeta^{Ira}} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 17.24\%, & P_{TE_s}^{\zeta^{Mi}} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 14.66\% \end{aligned} \quad (4.9)$$

Donde $P_{TE}^{\zeta^F}$ es el porcentaje de felicidad provocado en respuesta por el *tempo* y las escalas, $P_{TE}^{\zeta^{Tz}}$ es la tristeza, $P_{TE}^{\zeta^{Ira}}$ es la ira, y $P_{TE}^{\zeta^{Mi}}$ representa el miedo.

Si $T \leq 90 \text{ bmp}$ y $E_S = \text{Jónica, Lidia y Mixolidia}$, entonces:

$$\begin{aligned} P_{TE_s}^{\zeta F} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 15.24\%, & P_{TE_s}^{\zeta T_z} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 45.82\%, \\ P_{TE_s}^{\zeta Ira} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 17.32\%, & P_{TE_s}^{\zeta Mi} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 21.62\% \end{aligned} \quad (4.10)$$

Si $T \leq 90 \text{ bmp}$ y $E_S = \text{Eolico, Dórico, Frigio, Locrio}$:

$$\begin{aligned} P_{TE_s}^{\zeta F} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 24.16\%, & P_{TE_s}^{\zeta T_z} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 39.19\%, \\ P_{TE_s}^{\zeta Ira} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 15.84\%, & P_{TE_s}^{\zeta Mi} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 20.81\%, \end{aligned} \quad (4.11)$$

Si $T \geq 90 \text{ bmp} \wedge E_S = \text{Eolico, Dórico, Frigio, Locrio}$, entonces:

$$\begin{aligned} P_{TE_s}^{\zeta F} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 36.82\%, & P_{TE_s}^{\zeta T_z} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 22.76\%, \\ P_{TE_s}^{\zeta Ira} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 22.13\%, & P_{TE_s}^{\zeta Mi} &= \frac{P_{TE_s}}{100} 18.29\% \end{aligned} \quad (4.12)$$

Y su función de relación se determina de esta manera:

$$\Upsilon_{T, E_s} \left\{ \begin{array}{l} P_{TE_s}^{\zeta F} \in \vdash, \text{ Si } E \in T, E_s \\ P_{TE_s}^{\zeta F} \in \neg, \text{ Si } E \notin T, E_s \\ P_{TE_s}^{\zeta T_z} \in \vdash, \text{ Si } E \in T, E_s \\ P_{TE_s}^{\zeta T_z} \in \neg, \text{ Si } E \notin T, E_s \\ P_{TE_s}^{\zeta Ira} \in \vdash, \text{ Si } E \in T, E_s \\ P_{TE_s}^{\zeta Ira} \in \neg, \text{ Si } E \notin T, E_s \\ P_{TE_s}^{\zeta Mi} \in \vdash, \text{ Si } E \in T, E_s \\ P_{TE_s}^{\zeta Mi} \in \neg, \text{ Si } E \notin T, E_s \end{array} \right. \quad (4.13)$$

Más adelante, se hará una breve resolución, de ese modo quedará más claro cómo funciona este mecanismo.

La probabilidad para los acordes P_A se da con

$$P_A = \frac{J}{100} 50\% \quad (4.14)$$

Sea A cualquier acorde, su función es

$$Y_A = \begin{cases} P_A \in \vdash, & \text{Si } E \in A \\ P_A \in \neg, & \text{Si } E \notin A \end{cases} \quad (4.15)$$

Para la dinámica su P_D se calcula con

$$P_D = \frac{J}{100} 10\% \quad (4.16)$$

Cuya función es

$$Y_D = \begin{cases} P_D \in \vdash, & \text{Si } E \in D \\ P_D \in \neg, & \text{Si } E \notin D \end{cases} \quad (4.17)$$

El P_{F_r} de las figuras rítmicas es

$$P_{F_r} = \frac{J}{100} 5\% \quad (4.18)$$

Su función es

$$Y_{F_r} = \begin{cases} P_{F_r} \in \vdash, & \text{Si } E \in F_r \\ P_{F_r} \in \neg, & \text{Si } E \notin F_r \end{cases} \quad (4.19)$$

Para la articulación, el P_R se determina con:

$$P_R = \frac{J}{100} 5\% \quad (4.20)$$

Sea R cualquier articulación, la función es

$$Y_R = \begin{cases} P_R \in \vdash, & \text{Si } E \in R \\ P_R \in \neg, & \text{Si } E \notin R \end{cases} \quad (4.21)$$

La probabilidad del rango de octava P_O es

$$P_O = \frac{J}{100} 10\% \quad (4.22)$$

Su función es

$$\Upsilon_R = \begin{cases} P_O \in \vdash, & \text{Si } E \in O \\ P_O \in \neg, & \text{Si } E \notin O \end{cases} \quad (4.23)$$

Y para los instrumentos su P_{I_n} es la expresión:

$$P_{I_n} = \frac{J}{100} 5\% \quad (4.24)$$

Al igual que el *tempo* y las escalas, de acuerdo con cuál instrumento musical se ejecute una melodía, su distribución de probabilidad cambiará, de ese modo:

Para el violín:

$$\begin{aligned} P_{I_n}^{\zeta F} &= \frac{P_{I_n}}{100} 50.01\%, & P_{I_n}^{\zeta Tz} &= \frac{P_{I_n}}{100} 20.75\%, \\ P_{I_n}^{\zeta Mi} &= \frac{P_{I_n}}{100} 16.03\%, & P_{I_n}^{\zeta Ira} &= \frac{P_{I_n}}{100} 13.21\% \end{aligned} \quad (4.25)$$

Donde $P_{I_n}^{\zeta F}$ es la cantidad de porcentaje de felicidad que un instrumento evoca en respuesta, $P_{I_n}^{\zeta Tz}$ es la tristeza, $P_{I_n}^{\zeta Mi}$, el miedo, y $P_{I_n}^{\zeta Ira}$, la ira.

Para la trompeta:

$$\begin{aligned} P_{I_n}^{\zeta F} &= \frac{P_{I_n}}{100} 49.55\%, & P_{I_n}^{\zeta Tz} &= \frac{P_{I_n}}{100} 25.34\%, \\ P_{I_n}^{\zeta Mi} &= \frac{P_{I_n}}{100} 11.11\%, & P_{I_n}^{\zeta Ira} &= \frac{P_{I_n}}{100} 14\% \end{aligned} \quad (4.26)$$

Para el saxofón:

$$\begin{aligned} P_{I_n}^{\zeta F} &= \frac{P_{I_n}}{100} 58.77\%, & P_{I_n}^{\zeta Tz} &= \frac{P_{I_n}}{100} 18.55\%, \\ P_{I_n}^{\zeta Mi} &= \frac{P_{I_n}}{100} 13.40\%, & P_{I_n}^{\zeta Ira} &= \frac{P_{I_n}}{100} 9.28\% \end{aligned} \quad (4.27)$$

Para el oboe:

$$\begin{aligned}
 P_{I_n}^{\zeta F} &= \frac{Pl_n}{100} 45.25\%, & P_{I_n}^{\zeta Tz} &= \frac{Pl_n}{100} 28.42\%, \\
 P_{I_n}^{\zeta Mi} &= \frac{Pl_n}{100} 12.64\%, & P_{I_n}^{\zeta Ira} &= \frac{Pl_n}{100} 13.69\%
 \end{aligned}
 \tag{4.28}$$

Para el corno en fa:

$$\begin{aligned}
 P_{I_n}^{\zeta F} &= \frac{Pl_n}{100} 57.57\%, & P_{I_n}^{\zeta Tz} &= \frac{Pl_n}{100} 19.2\%, \\
 P_{I_n}^{\zeta Mi} &= \frac{Pl_n}{100} 13.13\%, & P_{I_n}^{\zeta Ira} &= \frac{Pl_n}{100} 10.10\%
 \end{aligned}
 \tag{4.29}$$

Para la flauta:

$$\begin{aligned}
 P_{I_n}^{\zeta F} &= \frac{Pl_n}{100} 47.1\%, & P_{I_n}^{\zeta Tz} &= \frac{Pl_n}{100} 27.97\%, \\
 P_{I_n}^{\zeta Mi} &= \frac{Pl_n}{100} 10.93\%, & P_{I_n}^{\zeta Ira} &= \frac{Pl_n}{100} 14\%
 \end{aligned}
 \tag{4.30}$$

Para el fagot:

$$\begin{aligned}
 P_{I_n}^{\zeta F} &= \frac{Pl_n}{100} 59.82\%, & P_{I_n}^{\zeta Tz} &= \frac{Pl_n}{100} 19.58\%, \\
 P_{I_n}^{\zeta Mi} &= \frac{Pl_n}{100} 10.30\%, & P_{I_n}^{\zeta Ira} &= \frac{Pl_n}{100} 10.30\%
 \end{aligned}
 \tag{4.31}$$

Finalmente, su función es

$$\Upsilon_{I_n} = \left\{ \begin{array}{l}
 P_{I_n}^{\zeta F} \in \vdash, S_i E \in I_n \\
 P_{I_n}^{\zeta F} \in \neg, S_i E \notin I_n \\
 P_{I_n}^{\zeta Tz} \in \vdash, S_i E \in I_n \\
 P_{I_n}^{\zeta Tz} \in \neg, S_i E \notin I_n \\
 P_{I_n}^{\zeta Mi} \in \vdash, S_i E \in I_n \\
 P_{I_n}^{\zeta Mi} \in \neg, S_i E \notin I_n \\
 P_{I_n}^{\zeta Ira} \in \vdash, S_i E \in I_n \\
 P_{I_n}^{\zeta Ira} \in \neg, S_i E \notin I_n
 \end{array} \right.
 \tag{4.32}$$

5. Ejemplo de un módulo de estado emocional-probable

En esta sección se hará un ejemplo de resolución para el intervalo de quinta justa.

$$I_5^J = (\zeta V_{ac}, \zeta A_m, \zeta C_l, \zeta P_c, \zeta E_m, \zeta S_l, \zeta A_g) \quad (5.1)$$

Por tanto, su módulo de estado emocional-probable es

$$\begin{aligned} |I_5^J|^e = & \left\{ \left[\left| \vdash \left(\zeta V_{ac} = \frac{J}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta V_{ac} = \frac{J}{2} \right) \right\rangle \right] + \right. \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta A_m = \frac{J}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta A_m = \frac{J}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta C_l = \frac{J}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta C_l = \frac{J}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta P_c = \frac{J}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta P_c = \frac{J}{2} \right) \right\rangle \right] + \quad (5.2) \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta E_m = \frac{J}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta E_m = \frac{J}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta S_l = \frac{J}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta S_l = \frac{J}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left. \left[\left| \vdash \left(\zeta A_g = \frac{J}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta A_g = \frac{J}{2} \right) \right\rangle \right] \right\} = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

Ahora, calculemos el porcentaje J para cada módulo del intervalo de quinta justa:

$$J = \frac{1}{M} \frac{1}{2}, \quad J = \frac{1}{7} \frac{1}{2}, \quad J = \frac{1}{14} \quad (5.3)$$

En otras palabras, cada módulo tendrá una probabilidad de $\frac{1}{14}$, por tanto, su suma tendrá un total de $\frac{1}{2}$.

$$\frac{1}{14} + \frac{1}{14} + \frac{1}{14} + \frac{1}{14} + \frac{1}{14} + \frac{1}{14} + \frac{1}{14} = \frac{1}{2} \quad (5.4)$$

Se considera que $M = 7$ porque son siete los estados afectivos que pertenecen al intervalo de quinta justa, entonces, el módulo de estado emocional-probable para el intervalo de quinta justa se rescribe a continuación:

$$\begin{aligned}
 |I_5^J|^e = & \left\{ \left[|\vdash \left({}_{\zeta}V_{ac} = \frac{1}{28} \right) \rangle + |\dashv \left({}_{\zeta}V_{ac} = \frac{1}{28} \right) \rangle \right] + \right. \\
 & \left[|\vdash \left({}_{\zeta}A_m = \frac{1}{28} \right) \rangle + |\dashv \left({}_{\zeta}A_m = \frac{1}{28} \right) \rangle \right] + \\
 & \left[|\vdash \left({}_{\zeta}C_l = \frac{1}{28} \right) \rangle + |\dashv \left({}_{\zeta}C_l = \frac{1}{28} \right) \rangle \right] + \\
 & \left[|\vdash \left({}_{\zeta}P_c = \frac{1}{28} \right) \rangle + |\dashv \left({}_{\zeta}P_c = \frac{1}{28} \right) \rangle \right] + \quad (5.5) \\
 & \left[|\vdash \left({}_{\zeta}E_m = \frac{1}{28} \right) \rangle + |\dashv \left({}_{\zeta}E_m = \frac{1}{28} \right) \rangle \right] + \\
 & \left[|\vdash \left({}_{\zeta}S_l = \frac{1}{28} \right) \rangle + |\dashv \left({}_{\zeta}S_l = \frac{1}{28} \right) \rangle \right] + \\
 & \left. \left[|\vdash \left({}_{\zeta}A_g = \frac{1}{28} \right) \rangle + |\dashv \left({}_{\zeta}A_g = \frac{1}{28} \right) \rangle \right] \right\} = \frac{1}{2}
 \end{aligned}$$

A continuación, calculamos el resto de las probabilidades para las demás variables musicales.

Tempo:

$$P_{TE_s} = \frac{J}{100} 15\%, \quad P_{TE_s} = \frac{\left(\frac{1}{14}\right)}{100} \times 15\%, \quad P_{TE_s} = \frac{3}{280}\% \quad (5.6)$$

En 5.7 corregir los resultados de $P_{TE_s}^{\zeta F}$ y $P_{TE_s}^{\zeta T_z}$. Deben ser: (5.7)

$$P_{TE_s}^{\zeta F} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 49.79\% = \frac{14,937}{2,800,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta T_z} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 18.31\% = \frac{5,493}{2,800,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta I_{ra}} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 17.24\% = \frac{1,293}{700,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta M_i} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 14.66\% = \frac{2,199}{1,400,000} \%,$$

Si $T \leq 90$ bmp y $E_s = \text{Jónica, Lidia y Mixolidia}$: (5.8)

$$P_{TE_s}^{\zeta F} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 15,24\% = \frac{1,143}{700,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta T_z} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 45,82\% = \frac{6,873}{1,400,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta I_{ra}} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 17,32\% = \frac{1,299}{700,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta M_i} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 21,62\% = \frac{3,243}{1,400,000} \%$$

Si $T \leq 90$ bmp y $E_s = \text{Eolico, Dórico, Frigio, Locrio}$: (5.9)

$$P_{TE_s}^{\zeta F} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 24,16\% = \frac{453}{175,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta T_z} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 39,19\% = \frac{11,757}{2,800,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta I_{ra}} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 15,84\% = \frac{297}{175,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta M_i} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 20,81\% = \frac{6,243}{2,800,000} \%$$

Si $T \geq 90$ bmp y $E_s = Eolico, Dórico, Frigio, Locrio$: (5.10)

$$P_{TE_s}^{\zeta F} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 36,82\% = \frac{789}{200,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta T_z} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 22,76\% = \frac{1,707}{700,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta Ira} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 22,13\% = \frac{6,639}{2,800,000} \%,$$

$$P_{TE_s}^{\zeta M_i} = \frac{\left(\frac{3}{280}\right)}{100} \times 18,29\% = \frac{5,487}{2,800,000} \%$$

Acordes:

$$P_A = \frac{\left(\frac{1}{14}\right)}{100} \times 50\% = \frac{1}{28} \% \quad (5.11)$$

Dinámica:

$$P_D = \frac{\left(\frac{1}{14}\right)}{100} \times 10\% = \frac{1}{140} \% \quad (5.12)$$

Figuras rítmicas:

$$P_{F_r} = \frac{\left(\frac{1}{14}\right)}{100} \times 5\% = \frac{1}{280} \% \quad (5.13)$$

Articulación:

$$P_R = \frac{\left(\frac{1}{14}\right)}{100} \times 5\% = \frac{1}{280} \% \quad (5.14)$$

Timbre:

$$P_O = \frac{\left(\frac{1}{14}\right)}{100} \times 10\% = \frac{1}{140} \% \quad (5.15)$$

Instrumentos musicales:

$$P_{I_n} = \frac{\left(\frac{1}{14}\right)}{100} \times 5\% = \frac{1}{280} \% \quad (5.16)$$

Violín:

$$P_{I_n}^{\zeta^F} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 50.01\% = \frac{5,001}{2,800,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{T_z}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 20.75\% = \frac{83}{112,000} \%, \quad (5.17)$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{M_i}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 16,03\% = \frac{229}{400,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{I_{ra}}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 13,21\% = \frac{1,321}{2,800,000} \%$$

Trompeta:

$$P_{I_n}^{\zeta^F} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 49,55\% = \frac{991}{560,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{T_z}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 25.34\% = \frac{181}{200,000} \%, \quad (5.18)$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{M_i}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 11,11\% = \frac{1,111}{2,800,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{I_{ra}}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 14\% = \frac{1}{2,000} \%$$

Saxofón:

$$P_{I_n}^{\zeta^F} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 58,77\% = \frac{5,877}{2,800,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{Tz}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 18,55\% = \frac{53}{80,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{Mi}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 13,40\% = \frac{67}{140,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{Ira}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 9,28\% = \frac{29}{87,500} \%$$
(5.19)

Oboe:

$$P_{I_n}^{\zeta^F} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 45,25\% = \frac{181}{112,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{Tz}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 28,42\% = \frac{203}{200,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{Mi}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 12,64\% = \frac{79}{175,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{Ira}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 13,69\% = \frac{1,369}{2,800,000} \%$$
(5.20)

Corno en fa:

$$P_{I_n}^{\zeta^F} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 57,57\% = \frac{5,757}{2,800,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta^{Tz}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 19,2\% = \frac{3}{4,375} \%,$$
(5.21)

$$P_{I_n}^{\zeta M_i} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 13,13\% = \frac{1,313}{2,800,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta I_{ra}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 10,10\% = \frac{101}{280,000} \%$$

Flauta:

$$P_{I_n}^{\zeta F} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 47,1\% = \frac{471}{280,000} \%,$$

(5.22)

$$P_{I_n}^{\zeta T_z} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 27,97\% = \frac{2,797}{2,800,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta M_i} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 10,93\% = \frac{1,093}{2,800,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta I_{ra}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 14\% = \frac{1}{2,000} \%$$

Fagot:

$$P_{I_n}^{\zeta F} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 59,82\% = \frac{2,991}{1,400,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta T_z} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 19,58\% = \frac{979}{1,400,000} \%,$$

$$P_{I_n}^{\zeta M_i} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 10,30\% = \frac{103}{280,000} \%,$$

(5.23)

$$P_{I_n}^{\zeta I_{ra}} = \frac{\left(\frac{1}{280}\right)}{100} \times 10,30\% = \frac{103}{280,000} \%$$

Por consiguiente, se calcula cada porcentaje de las variables musicales, como también los porcentajes de los módulos de los estados emocionales-probables de cada intervalo.

6. Módulos de estados emocionales-probables internos

En el apartado anterior se definieron las variables musicales como estímulos externos que, al ser expuestos a un escucha, son capaces de generar diversos estados afectivos en función de los mismos parámetros musicales, sin embargo, en la labor de proponer un modelo matemático capaz de calcular los posibles valores de los estados afectivos que una persona podría percibir en respuesta ante una canción, considerar únicamente los parámetros musicales es un error, puesto que los estados afectivos asociados a la percepción musical están estrechamente relacionados con las experiencias personales de quien la escucha o por su disposición emocional (Palmero et al., 2011), por ende, no se puede generalizar la respuesta emocional asociada ciertos parámetros musicales.

En consecuencia, este modelo considera dicha noción intrínseca de cada individuo que llamaremos *estímulo interno*, y hace referencia a la disposición emocional resultado de la experiencia única de un individuo. Por tal razón, la suma de las probabilidades J , de los módulos de los estados emocionales-probables de los intervalos musicales es igual a $\frac{1}{2}$, ya que la otra mitad corresponde a los módulos de los estados emocionales-probables internos. Por tanto, a partir de los conjuntos emocionales se formalizan dichos módulos.

Sea K la probabilidad de un módulo de estado emocional interno:

$$K = \frac{1}{N} \frac{1}{12} \quad (6.1)$$

Donde N es el número de estados afectivos que tiene cada conjunto de emociones.

La lógica del número $\frac{1}{12}$ se debe a que son seis los conjuntos de emociones; al dividir $\frac{1}{2}$ entre seis obtenemos dicha cantidad:

$$\frac{\binom{1}{2}}{6} = \frac{1}{12} \quad (6.2)$$

De ese modo, la suma de todas las probabilidades K de los módulos de los estados emocionales-probables internos de cada conjunto es igual a $\frac{1}{2}$.

Se resolverá un ejemplo con el conjunto miedo:

$$\begin{aligned} \zeta M_i = & (\zeta A_{go}, \zeta A_n, \zeta A_{ns}, \zeta A_{sus}, \zeta A_{te}, \zeta E_{sp}, \zeta H_u, \zeta I_{nf}, \\ & \zeta I_{ns}, \zeta I_{ng}, \zeta I_{nsf}, \zeta I_{nu}, \zeta I_{rr}, \zeta M_i, \zeta N_e, \zeta P_e, \\ & \zeta P_{re}, \zeta R_{id}, \zeta S_{um}, \zeta S_{us}, \zeta T_n) \end{aligned} \quad (6.3)$$

Dicho conjunto expresado en módulos de los estados emocionales-probables internos se describe así:

$$\begin{aligned} |\zeta M_i|^i = & \left\{ \left[\left| \vdash \left(\zeta A_{go} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta A_{go} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta A_n = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta A_n = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \right. \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta A_{ns} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta A_{ns} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta A_{sus} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta A_{sus} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta A_{te} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta A_{te} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta E_{sp} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta E_{sp} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta H_u = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta H_u = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta I_{nf} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta I_{nf} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta I_{ns} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta I_{ns} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta I_{ng} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta I_{ng} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta I_{nsf} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta I_{nsf} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta I_{nu} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta I_{nu} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta I_{rr} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta I_{rr} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta M_i = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta M_i = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta N_e = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta N_e = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta P_e = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta P_e = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta P_{re} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta P_{re} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta R_{id} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta R_{id} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta S_{um} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta S_{um} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \left[\left| \vdash \left(\zeta S_{us} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta S_{us} = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] + \\ & \left[\left| \vdash \left(\zeta T_n = \frac{K}{2} \right) \right\rangle + \left| \dashv \left(\zeta T_n = \frac{K}{2} \right) \right\rangle \right] = \frac{1}{12} \end{aligned} \quad (6.4)$$

Donde i indica que es un módulo de los estados emocionales-probables internos. Al contar los estados afectivos dentro de este conjunto, establecemos que $N = 21$, por tanto, la probabilidad para cada módulo del conjunto miedo $K_{\zeta M_i}$, es

$$K_{\zeta I_{ra}} = \frac{1}{31} \frac{1}{12} = \frac{1}{372} \quad (6.8)$$

La probabilidad para cada módulo del conjunto felicidad:

$$K_{\zeta F} = \frac{1}{51} \frac{1}{12} = \frac{1}{612} \quad (6.9)$$

La probabilidad para cada módulo del conjunto tristeza:

$$K_{\zeta T_z} = \frac{1}{26} \frac{1}{12} = \frac{1}{312} \quad (6.10)$$

La probabilidad para cada módulo del conjunto asco:

$$K_{\zeta A_c} = \frac{1}{11} \frac{1}{12} = \frac{1}{132} \quad (6.11)$$

La tarea de asignar valores de porcentaje a los módulos de los estados emocionales-probables internos es más compleja que hacerlo para los estímulos externos, debido que, al menos, en el contexto musical se tiene una base para establecer valores a los parámetros musicales (Fustinoni, 2016), sin embargo, en los estímulos internos no existe un mecanismo o investigaciones de esta naturaleza, por tanto, una opción factible es suponer valores de porcentaje a partir de otros elementos neurológicos asociados a los estados afectivos. Por ejemplo, a una persona con depresión se le asocian emociones de tristeza, culpa, desconfianza, falta de autoestima, entre otras (Guadarrama et al., 2006; Ramírez, 2003; Villa & González, 2012), y es con esta información que se pueden suponer valores de porcentajes que simulen aquellos estados afectivos dentro de los módulos de los estados emocionales-probables internos para resolver el modelo desde una perspectiva meramente subjetiva; otro caso sería por medio de las emociones que provocan enfermedades como la diabetes (Hervás et al., 2007), EPOC (Vinaccia et al., 2006), artritis reumatoide (Vinaccia-Alpi et al., 2017), pacientes con cáncer en tratamiento quimioterapéutico (Gaviria et al., 2007) o psoriasis vulgar (Vinaccia et al., 2008). Ello nos daría una causa fisiológica de la disposición emocional de

una persona y nos acerca a hacer aproximaciones reales a los valores de probabilidad para cada módulo de los estados emocionales-probables internos. Otra alternativa es establecer valores totalmente aleatorios que respeten las condiciones matemáticas que hemos introducido con propósitos meramente académicos, es decir, para resolver el modelo sin necesidad de simular eventos reales.

7. La contrariedad de las emociones

Toda emoción tiene su contrario. Este fenómeno, más allá de ser algo empírico y obvio, lo podemos analizar dentro de la rueda de las emociones de Plutchik (2001), así sabemos que la alegría es lo opuesto a la tristeza, el miedo es lo contrario de la ira. Este concepto es importante de considerar al momento de asignar valores a los módulos de los estados probables-emocionales internos, debido a que, si un sujeto siente alegría, naturalmente, sentirá poca tristeza. Veamos un ejemplo, dos emociones que claramente son contrarias: el amor (${}_{\zeta}A_m$) y el odio (${}_{\zeta}O_{di}$). La manera en la que se señalará esta relación será con la flecha: \leftrightarrow .

Por tanto, escribimos:

$$|{}_{\zeta}A_m|^i \leftrightarrow |{}_{\zeta}O_{di}|^i \quad (7.1)$$

Simulando valores para el módulo amor:

$$|{}_{\zeta}A_m|^i = |{}_{\zeta}A_m = 0.00046057431199999994\rangle + |{}_{\zeta}A_m = 0.001173412616434\rangle \quad (7.2)$$

Numéricamente, se percibe más “no amor” y menos “sí amor”; por otro lado, el amor, al pertenecer al conjunto felicidad, su suma es casi igual a $K_{\zeta F}$, lo cual es correcto.

$$0.00046057431199999994\rangle + 0.001173412616434 \approx K_{\zeta F} \quad (7.3)$$

Entonces, de acuerdo con estos valores del módulo amor, se deben asignar los valores para el módulo odio, y para ello debemos de satisfacer dos condiciones: la primera es que la emoción odio pertenece al conjunto ira, por tanto, su suma debe ser igual o aproximada a $K_{\zeta Ira}$, en segundo lugar, se debe presentar la contrariedad, es decir, si se percibe más “no amor” y menos “sí amor”, se debe percibir más “sí odio” y menos “no odio”, por tanto, se proponen las siguientes ecuaciones que cumplen con ambas condiciones:

Para calcular el valor de $|\vdash_{\zeta} O_{di}\rangle$ se usa:

$$|\vdash_{\zeta} O_{di}\rangle = \frac{|\zeta O_{di}|^i}{|\zeta A_m|^i} \times |\neg_{\zeta} A_m\rangle \quad (7.4)$$

Respecto al valor de $|\neg_{\zeta} O_{di}\rangle$, se utiliza:

$$|\neg_{\zeta} O_{di}\rangle = \frac{|\zeta O_{di}|^i}{|\zeta A_m|^i} \times |\vdash_{\zeta} A_m\rangle \quad (7.5)$$

Donde $|\zeta O_{di}|^i = \zeta K_{Ira}$ y $|\zeta A_m|^i = K_{\zeta F}$.

Por ende, al resolverlo se obtiene:

$$\begin{aligned} |\vdash_{\zeta} O_{di}\rangle &= \frac{|\zeta O_{di}|^i}{|\zeta A_m|^i} \times |\neg_{\zeta} A_m\rangle, \\ |\vdash_{\zeta} O_{di}\rangle &= \left(\frac{\frac{1}{372}}{\frac{1}{612}} \right) \times 0.001173412616434, \\ |\vdash_{\zeta} O_{di}\rangle &= 0.001930453014 \end{aligned} \quad (7.6)$$

Luego,

$$\begin{aligned} |\neg_{\zeta} O_{di}\rangle &= \frac{|\zeta O_{di}|^i}{|\zeta A_m|^i} \times |\vdash_{\zeta} A_m\rangle, \\ |\neg_{\zeta} O_{di}\rangle &= \left(\frac{\frac{1}{372}}{\frac{1}{612}} \right) \times 0.00046057431199999994, \\ |\neg_{\zeta} O_{di}\rangle &= 7.57719029 \times 10^{-4} \end{aligned} \quad (7.7)$$

Al sumarlos:

$$|\vdash_{\zeta} O_{di}\rangle + |\neg_{\zeta} O_{di}\rangle, 0.001930453014 + 7.57719029 \times 10^{-4} \approx K_{\zeta I_{ra}} \quad (7.8)$$

Por tanto, ambas condiciones se cumplen; y a partir de la rueda de las emociones de Plutchik se generalizan dichas expresiones.

La alegría es lo opuesto a la tristeza:

$$\begin{aligned} |\vdash_{\zeta} F\rangle &= \frac{K_{\zeta F}}{K_{\zeta T_z}} \times |\neg_{\zeta} T_z\rangle, & |\neg_{\zeta} F\rangle &= \frac{K_{\zeta F}}{K_{\zeta T_z}} \times |\vdash_{\zeta} T_z\rangle \\ |\vdash_{\zeta} T_z\rangle &= \frac{K_{\zeta T_z}}{K_{\zeta F}} \times |\neg_{\zeta} F\rangle, & |\neg_{\zeta} T_z\rangle &= \frac{K_{\zeta T_z}}{K_{\zeta F}} \times |\vdash_{\zeta} F\rangle \end{aligned} \quad (7.9)$$

El miedo es lo contrario de la ira:

$$\begin{aligned} |\vdash_{\zeta} M_i\rangle &= \frac{K_{\zeta M_i}}{K_{\zeta I_{ra}}} \times |\neg_{\zeta} I_{ra}\rangle, & |\neg_{\zeta} M_i\rangle &= \frac{K_{\zeta M_i}}{K_{\zeta I_{ra}}} \times |\vdash_{\zeta} I_{ra}\rangle \\ |\vdash_{\zeta} I_{ra}\rangle &= \frac{K_{\zeta I_{ra}}}{K_{\zeta M_i}} \times |\neg_{\zeta} M_i\rangle, & |\neg_{\zeta} I_{ra}\rangle &= \frac{K_{\zeta I_{ra}}}{K_{\zeta M_i}} \times |\vdash_{\zeta} M_i\rangle \end{aligned} \quad (7.10)$$

La sorpresa es lo contrario del asco:

$$\begin{aligned} |\vdash_{\zeta} S_{or}\rangle &= \frac{K_{\zeta S_{or}}}{K_{\zeta A_{co}}} \times |\neg_{\zeta} A_{co}\rangle, & |\neg_{\zeta} S_{or}\rangle &= \frac{K_{\zeta S_{or}}}{K_{\zeta A_{co}}} \times |\vdash_{\zeta} A_{co}\rangle \\ |\vdash_{\zeta} A_{co}\rangle &= \frac{K_{\zeta A_{co}}}{K_{\zeta S_{or}}} \times |\neg_{\zeta} S_{or}\rangle, & |\neg_{\zeta} A_{co}\rangle &= \frac{K_{\zeta A_{co}}}{K_{\zeta S_{or}}} \times |\vdash_{\zeta} S_{or}\rangle \end{aligned} \quad (7.11)$$

8. Resolución

En este apartado se llevó a cabo una breve resolución del modelo. El intervalo musical que se escogerá es el de quinta justa, y empezamos resolviendo el módulo de estado emocional-probable externo de ζA_m , por tanto:

$$|\vdash \left(\zeta A_m = \frac{J}{2} \right) \rangle + |\dashv \left(\zeta A_m = \frac{J}{2} \right) \rangle \quad (8.1)$$

Estas son las variables musicales que determinan los valores de cada módulo:

$$T = 112 \text{ bpm}, E_s = \text{Jónico}, A = \text{Acorde mayor}, D = mp, \quad (8.2)$$

$$F_r = \text{negra}, I_n = \text{Saxofón}, R = \text{Staccato}, O = \text{rango medio}$$

El intervalo de quinta justa tiene siete estados afectivos, por lo cual el valor de J es el siguiente:

$$J = \frac{1}{14} \quad (8.3)$$

Ahora, calculamos la probabilidad de cada variable musical. Como el tempo es mayor a 90 bpm y la escala es mayor, entonces usamos 3.14:

$$P_{TE_s}^{\zeta F} = \frac{14,937}{2,800,000} \%, \quad P_{TE_s}^{\zeta T_z} = \frac{5,493}{2,800,000} \%, \quad (8.4)$$

$$P_{TE_s}^{\zeta I_{ra}} = \frac{1,293}{700,000} \%, \quad P_{TE_s}^{\zeta M_i} = \frac{2,199}{1,400,000} \%$$

La probabilidad para los acordes:

$$P_A = \frac{1}{28} \% \quad (8.5)$$

Para la dinámica:

$$P_D = \frac{1}{140} \% \quad (8.6)$$

El P_{Fr} de las figuras rítmicas:

$$P_{Fr} = \frac{1}{280} \% \quad (8.7)$$

Para la articulación:

$$P_R = \frac{1}{280} \% \quad (8.8)$$

La probabilidad del rango de octava P_O :

$$P_O = \frac{1}{140} \% \quad (8.9)$$

Y para el instrumento musical, que al ser un saxofón:

$$\begin{aligned} P_{I_n}^{\zeta^F} &= \frac{5,877}{2,800,000} \%, & P_{I_n}^{\zeta^{Tz}} &= \frac{53}{80,000} \%, \\ P_{I_n}^{\zeta^{Mi}} &= \frac{67}{140,000} \%, & P_{I_n}^{\zeta^{Ira}} &= \frac{29}{87,500} \%, \end{aligned} \quad (8.10)$$

Conociendo los valores de probabilidad de cada variable musical, a continuación, vamos a asignarlos a los módulos correspondientes explicando su metodología.

Para el *tempo* y las escalas tenemos que saber, en primer lugar, a qué conjunto emocional pertenece el estado afectivo del módulo, en este caso, la emoción ζA_m pertenece al conjunto ζ^F , por tanto, sumamos $P_{TE}^{\zeta^F}$ al módulo de “sí se siente”: \vdash , mientras que $P_{TE}^{\zeta^{Tz}}$, $P_{TE}^{\zeta^{Ira}}$ y $P_{TE}^{\zeta^{Mi}}$ los sumamos al módulo “no se siente”: \neg , de ahí:

$$\begin{aligned} \left. \vdash \zeta A_m = P_{TE_s}^{\zeta^F} = \frac{14,937}{2,800,000} \% \right\} & \quad (8.11) \\ \neg \zeta A_m = \left(P_{TE_s}^{\zeta^{Tz}} + P_{TE_s}^{\zeta^{Ira}} + P_{TE_s}^{\zeta^{Mi}} \right) = & \\ \left(\frac{5,493}{2,800,000} \% + \frac{1,293}{700,000} \% + \frac{2,199}{1,400,000} \% \right) = \frac{15,063}{2,800,000} \% & \end{aligned}$$

Siendo mayor el acorde de la canción podemos ver en 3.18 que la emoción ζA_m corresponde a dicho acorde, por tanto, sumamos P_A al módulo “sí se siente”: \vdash .

$$\left. \begin{aligned} \vdash \zeta A_m &= \frac{14,937}{2,800,000} \% + P_A = \frac{114,937}{2,800,000} \% \\ \vdash \neg \zeta A_m &= \frac{15,063}{2,800,000} \% \end{aligned} \right\} \quad (8.12)$$

La dinámica es mp , es decir $D < mf$, y viendo 3.26, nos damos cuenta de que la emoción ζA_m no pertenece a esta dinámica, por ende, sumamos P_D al módulo “no se siente”: \neg .

$$\left. \begin{aligned} \vdash \zeta A_m &= \frac{114,937}{2,800,000} \% , \quad \vdash \neg \zeta A_m = \frac{15,063}{2,800,000} \\ &+ P_D = \frac{5,009}{400,000} \% \end{aligned} \right\} \quad (8.13)$$

La figura rítmica es negra, sin embargo, como establecimos anteriormente, no importa la figura, sino el *tempo* de la canción y, al ser mayor a 90 bpm, observamos en 3.27 que ζA_m pertenece a la figura rítmica, de manera que sumamos P_{Fr} al módulo “sí se siente”: \vdash .

$$\left. \begin{aligned} \vdash \zeta A_m &= \frac{114,937}{2,800,000} \% + P_{Fr} = \frac{124,937}{2,800,000} \% \\ \vdash \neg \zeta A_m &= \frac{5,009}{400,000} \% \end{aligned} \right\} \quad (8.14)$$

La articulación empleada es *staccato*, y de acuerdo con 3.27 ζA_m sí pertenece a esta ejecución, por tanto, sumamos P_R al módulo “sí se siente”: \vdash .

$$\left. \begin{aligned} \vdash \zeta A_m &= \frac{124,937}{2,800,000} \% + P_R = \frac{134,937}{2,800,000} \% \\ \vdash \neg \zeta A_m &= \frac{5,009}{400,000} \% \end{aligned} \right\} \quad (8.15)$$

Respecto al rango de octavas, se empleó el rango medio para el intervalo y, al no haber datos para esta cualidad, se procede sumando P_o al módulo “no se siente”: \neg , debido a su ausencia.

$$\left. \begin{aligned} &| \vdash \zeta A_m = \frac{134,937}{2,800,000} \% \rangle, | \neg \zeta A_m = \frac{5,009}{400,000} \% \\ &+ P_o = \frac{55,063}{2,800,000} \% \rangle \end{aligned} \right\} \quad (8.16)$$

Para los instrumentos musicales seguimos la misma metodología usada en el *tempo* y las escalas, primero vemos a cuál conjunto emocional corresponde el estado afectivo del módulo, y ya que $\zeta A_m \in \zeta F$, sumamos $P_{I_n}^{\zeta F}$ al módulo “sí se siente”: \vdash , mientras que el resto de los P_{I_n} se suman al módulo “no se siente”: \neg .

$$\left. \begin{aligned} &| \vdash \zeta A_m = \frac{134,937}{2,800,000} \% + P_{I_n}^{\zeta F} = \frac{70,407}{1,400,000} \% \rangle \\ &| \neg \zeta A_m = \frac{55,063}{2,800,000} \% + \left(P_{I_n}^{\zeta Tz} + P_{I_n}^{\zeta Mi} + P_{I_n}^{\zeta Ira} \right) = \frac{29,593}{1,400,000} \% \rangle \end{aligned} \right\} \quad (8.17)$$

Entonces, a partir de las variables musicales de 8.2, la distribución de probabilidad del módulo amor para el intervalo de quinta justa es el siguiente:

$$\left| \vdash \left(\zeta A_m = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \right\rangle + \left| \neg \left(\zeta A_m = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \right\rangle = \frac{1}{14} \% \quad (8.18)$$

De esa manera, calculamos el resto de las demás distribuciones de probabilidad pertenecientes a los módulos de los estados emocionales-probables del intervalo de quinta justa:

$$\begin{aligned} &| \vdash \left(\zeta V_{ac} = \frac{6,837}{700,000} \% \right) \rangle + | \neg \left(\zeta V_{ac} = \frac{43,163}{700,000} \% \right) \rangle = \frac{1}{14} \% \\ &| \vdash \left(\zeta C_l = \frac{80,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \neg \left(\zeta C_l = \frac{2,799}{200,000} \% \right) \rangle = \frac{1}{14} \% \quad (8.19) \\ &| \vdash \left(\zeta P_c = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \neg \left(\zeta P_c = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \rangle = \frac{1}{14} \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & | \vdash \left(\varsigma E_m = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma E_m = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \rangle = \frac{1}{14} \% \\ & | \vdash \left(\varsigma S_l = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma S_l = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \rangle = \frac{1}{14} \% \\ & | \vdash \left(\varsigma A_g = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma A_g = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \rangle = \frac{1}{14} \% \end{aligned}$$

En consecuencia, los módulos de los estados emocionales-probables del intervalo de quinta justa se muestran a continuación:

$$\begin{aligned} |I_5^J|^e &= \left\{ \left[| \vdash \left(\varsigma V_{ac} = \frac{6,837}{700,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma V_{ac} = \frac{43,163}{700,000} \% \right) \rangle \right] \right. \\ &+ | \vdash \left(\varsigma A_m = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma A_m = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \rangle \left. \right\} \\ &+ | \vdash \left(\varsigma C_l = \frac{80,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma C_l = \frac{2,799}{200,000} \% \right) \rangle \quad (8.20) \\ &+ | \vdash \left(\varsigma P_c = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma P_c = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \rangle \left. \right\} \\ &+ | \vdash \left(\varsigma E_m = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma E_m = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \rangle \left. \right\} \\ &+ | \vdash \left(\varsigma S_l = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma S_l = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \rangle \left. \right\} \\ &+ | \vdash \left(\varsigma A_g = \frac{70,407}{1,400,000} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma A_g = \frac{29,593}{1,400,000} \% \right) \rangle \left. \right\} = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

Ahora, definimos el módulo de estado emocional-probable interno de ςA_m con estos valores:

$$|\varsigma A_m|^i = | \vdash \left(\varsigma A_m = \frac{743}{956,250} \% \right) \rangle + | \dashv \left(\varsigma A_m = \frac{1,639}{1,912,500} \% \right) \rangle \quad (8.21)$$

Para calcular el módulo de estado emocional-probable interno de ςO_{di} usaremos las ecuaciones 7.4 y 7.5.

$$|\varsigma O_{di}|^i = | \vdash \left(O_{di} = \frac{1,639}{1,162,500} \% \right) \rangle + | \dashv \left(O_{di} = \frac{743}{581,250} \% \right) \rangle \quad (8.22)$$

Hasta aquí, tenemos definidos los valores de $|I_5|^e$, $|\varsigma A_m|^i$ y $|\varsigma O_{di}|^i$, ahora vamos a operarlos. Primero, el módulo externo

amor “sí se siente” $|\vdash_{\zeta} A_m\rangle_0^e$ se suma con el módulo interno amor “sí se siente” $|\vdash_{\zeta} A_m\rangle_0^i$, y lo representamos de esta manera:

$$|\vdash_{\zeta} A_m\rangle_0^e \mapsto |\vdash_{\zeta} A_m\rangle_0^i \quad (8.23)$$

Donde la flecha \mapsto representa la acción de sumar, entonces 8.23 se denota así:

$$\begin{aligned} \left[|\vdash_{\zeta} A_m = \frac{70,407}{1,400,000} \% \rangle_0^e + |\vdash_{\zeta} A_m = \frac{743}{956,250} \% \rangle_0^i \right] = \\ = \frac{10,938,703}{214,200,000} \% \end{aligned} \quad (8.24)$$

Luego, el módulo externo amor “no se siente” $|\neg_{\zeta} A_m\rangle_0^e$ se suma con el módulo interno amor “no se siente” $|\neg_{\zeta} A_m\rangle_0^i$, por tanto:

$$\begin{aligned} |\neg_{\zeta} A_m\rangle_0^e \mapsto |\neg_{\zeta} A_m\rangle_0^i = \left[|\neg_{\zeta} A_m = \frac{29,593}{1,400,000} \% \rangle_0^e + \right. \\ \left. |\neg_{\zeta} A_m = \frac{1,639}{1,912,500} \% \rangle_0^i \right] = \frac{4,711,297}{214,200,000} \% \end{aligned} \quad (8.25)$$

Para respetar la condición de 7.1, vamos a sumar el módulo externo amor “sí se siente” con el módulo “no se siente” de su emoción contraria, en este caso, el módulo interno odio “no se siente”:

$$\begin{aligned} |\vdash_{\zeta} A_m\rangle_0^e \mapsto |\neg_{\zeta} O_{di}\rangle_0^i = \left[|\vdash_{\zeta} A_m = \frac{70,407}{1,400,000} \% \rangle_0^e + \right. \\ \left. |\neg_{\zeta} O_{di} = \frac{743}{581,250} \% \rangle_0^i \right] = \frac{6,714,283}{130,200,000} \% \end{aligned} \quad (8.26)$$

Por último, sumamos el módulo externo amor “no se siente” con el módulo interno odio “sí se siente”:

$$\begin{aligned} |\neg_{\zeta} A_m\rangle_0^e \mapsto |\vdash_{\zeta} O_{di}\rangle_1^i = \left[|\neg_{\zeta} A_m = \frac{29,593}{1,400,000} \% \rangle_0^e + \right. \\ \left. |\vdash_{\zeta} O_{di} = \frac{1,639}{1,162,500} \% \rangle_0^i \right] = \frac{2,935,717}{130,200,000} \% \end{aligned} \quad (8.27)$$

Entonces, los nuevos módulos de los estados emocionales-probables internos son los siguientes:

$$|_{\zeta}A_m|_1^i = \left[|_{\vdash} \left(\zeta A_m = \frac{10,938,703}{214,200,000} \% \right) \right]_1^i + \left[|_{\dashv} \left(\zeta A_m = \frac{4,711,297}{214,200,000} \% \right) \right]_1^i \quad (8.28)$$

$$|_{\zeta}O_{di}|_1^i = \left[|_{\vdash} \left(\zeta O_{di} = \frac{2,935,717}{130,200,000} \% \right) \right]_1^i + \left[|_{\dashv} \left(\zeta O_{di} = \frac{6,714,283}{130,200,000} \% \right) \right]_1^i$$

Analicemos cómo se comportaron los estímulos internos ante los estímulos externos durante este proceso a partir de una manera visual. El módulo de estado emocional-probable amor del intervalo de quinta justa $|_{\zeta}A_m|_1^e$, de acuerdo con los valores de 8.20, gráficamente se ve de esta manera:

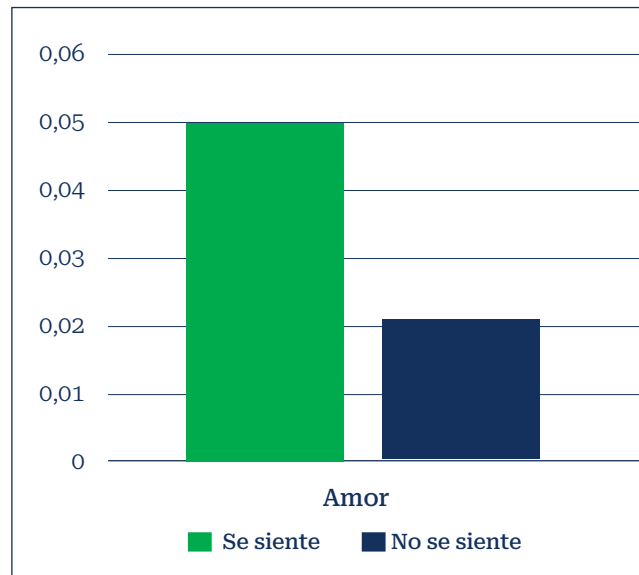


Figura 8.1. Representación visual del módulo de estado emocional-probable amor del intervalo de quinta justa

Los módulos de los estados emocionales-probables internos antes del estímulo musical 8.21 y 8.22 se ven así:

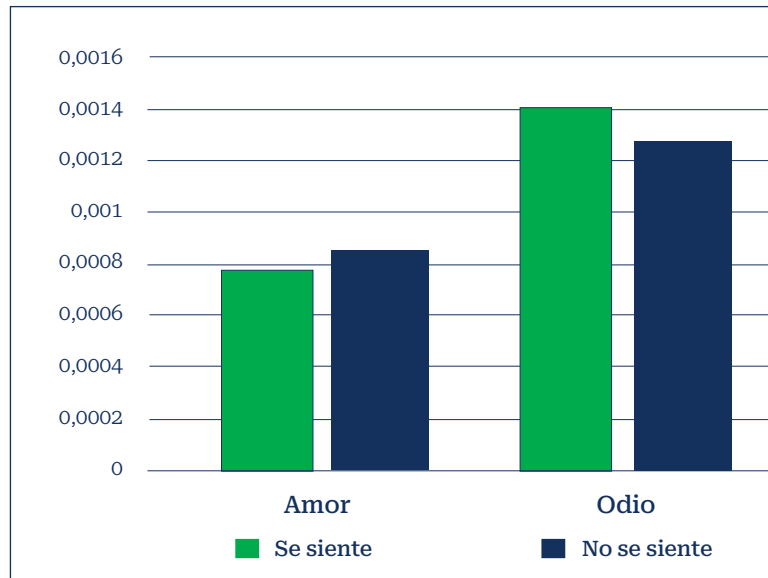


Figura 8.2. Representación visual de los módulos de los estados emocionales-probables internos antes del estímulo musical

Y los módulos de los estados emociones-probables internos después del estímulo musical 8.28 ahora se ven a continuación:

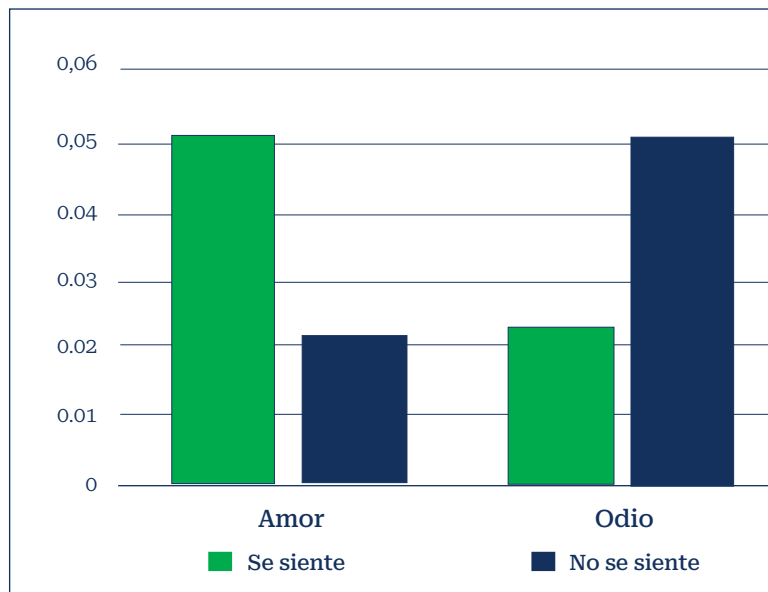


Figura 8.3. Representación visual de los módulos de los estados emocionales-probables internos después del estímulo musical

Visualmente, es claro el cambio que el estímulo interno tuvo antes y después del estímulo musical, cuyo resultado es empíricamente correcto debido a que el intervalo de quinta justa a partir de las variables musicales que propusimos se interpreta como alegre y, por tanto, está a favor de transmitir el estado afectivo amor provocando los resultados en el gráfico 8.3.

Este mismo proceso de resolución se debe realizar con el resto de los módulos pertenecientes al intervalo de quinta justa sobre los módulos de los estados emocionales-probables internos, los cuales son los siguientes: $|_{\zeta}M_i|^i$, $|_{\zeta}S_{or}|^i$, $|_{\zeta}I_{ra}|^i$, $|_{\zeta}F|^i$, $|_{\zeta}T_z|^i$ y $|_{\zeta}A_{co}|^i$, es decir, cualquiera que sea el estímulo externo musical se debe resolver a estos seis módulos, puesto que todos, en conjunto, representan el estado emocional-probable interno de una persona y se verán afectados por los módulos de los estados emocionales-probables externos.

9. Conservación de los valores K

Sin embargo, los módulos en 8.28 presentan un problema: al sumarlos, no obtenemos el valor de probabilidad que se le asignó a cada módulo, es decir, $K_{\zeta F}$ y $K_{\zeta I_{ra}}$.

Véase:

$$\begin{aligned} & \left[|_{\zeta}A_m = \frac{10,938,703}{214,200,000} \% \right]_1^i + |_{\zeta}A_m = \frac{4,711,297}{214,200,000} \% \Big]_1^i \\ & = \frac{15,650,000}{214,200,000} \% \neq K_{\zeta F} \end{aligned} \quad (9.1)$$

$$\begin{aligned} & \left[|_{\zeta}O_{di} = \frac{2,935,717}{130,200,000} \% \right]_1^i + |_{\zeta}O_{di} = \frac{6,714,283}{130,200,000} \% \Big]_1^i \\ & = \frac{9,650,000}{130,200,000} \% \neq K_{\zeta I_{ra}} \end{aligned}$$

Para solucionarlo, tenemos que restar cada módulo con $\frac{J}{2}$, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \left[\left| \vdash \left(\zeta A_m = \frac{10,938,703}{214,200,000} \% \right) \right\rangle_1^i - \left(\frac{1}{14} \right) \right] &= 0.01535342204... \% \\
 \left[\left| \dashv \left(\zeta A_m = \frac{4,711,297}{214,200,000} \% \right) \right\rangle_1^i - \left(\frac{1}{14} \right) \right] &= -0.01371943511... \% \\
 \left[\left| \vdash \left(\zeta O_{di} = \frac{2,935,717}{130,200,000} \% \right) \right\rangle_1^i - \left(\frac{1}{14} \right) \right] &= -0.0131665361... \% \\
 \left[\left| \dashv \left(\zeta O_{di} = \frac{6,714,283}{130,200,000} \% \right) \right\rangle_1^i - \left(\frac{1}{14} \right) \right] &= 0.01585470814... \%
 \end{aligned} \tag{9.2}$$

Recordando que $J = \frac{1}{14}$.

Por tanto, ahora los módulos de los estados emocionales-probables internos pasan a ser los siguientes, cuya sumas:

$$\begin{aligned}
 \left[\left| \vdash \zeta A_m = 0.01535342204... \% \right\rangle_1^i + \left| \dashv \zeta A_m = -0.01371943511... \% \right\rangle_1^i \right] &\equiv K_{\zeta F} \\
 \left[\left| \vdash \zeta O_{di} = -0.0131665361... \% \right\rangle_1^i + \left| \dashv \zeta O_{di} = 0.01585470814... \% \right\rangle_1^i \right] &\equiv K_{\zeta ra}
 \end{aligned} \tag{9.3}$$

Su representación gráfica es como se muestra a continuación:

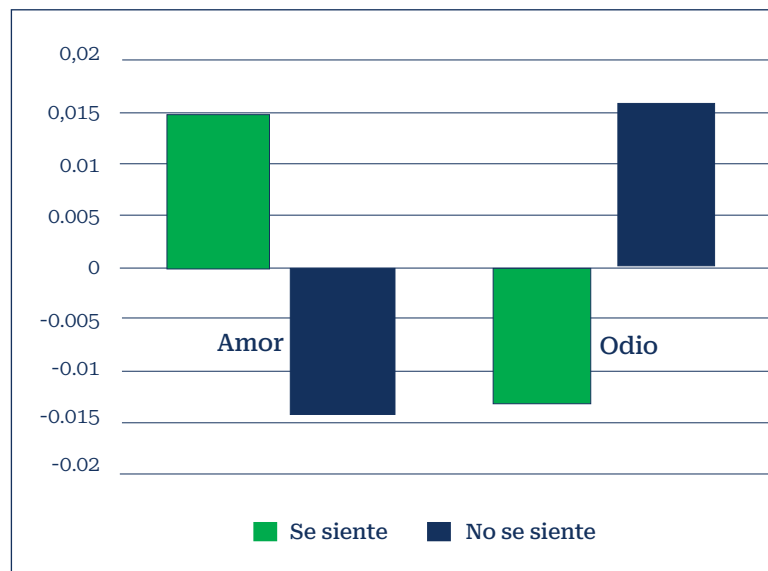


Figura 9.1: Representación visual de los módulos de los estados emocionales-probables con corrección

Basta con solo cambiar los signos negativos a positivos para tener una visualización similar a la figura 8.3:

$$\left[\begin{aligned} &| \vdash_{\zeta} A_m = 0.01535342204... \% \rangle_1^i + | \neg_{\zeta} A_m = 0.01371943511... \% \rangle_1^i \\ &| \vdash_{\zeta} O_{di} = 0.0131665361... \% \rangle_1^i + | \neg_{\zeta} O_{di} = 0.01585470814... \% \rangle_1^i \end{aligned} \right] \quad (9.4)$$

De ahí que la representación final de los módulos de los estados emocionales-probables internos sea:

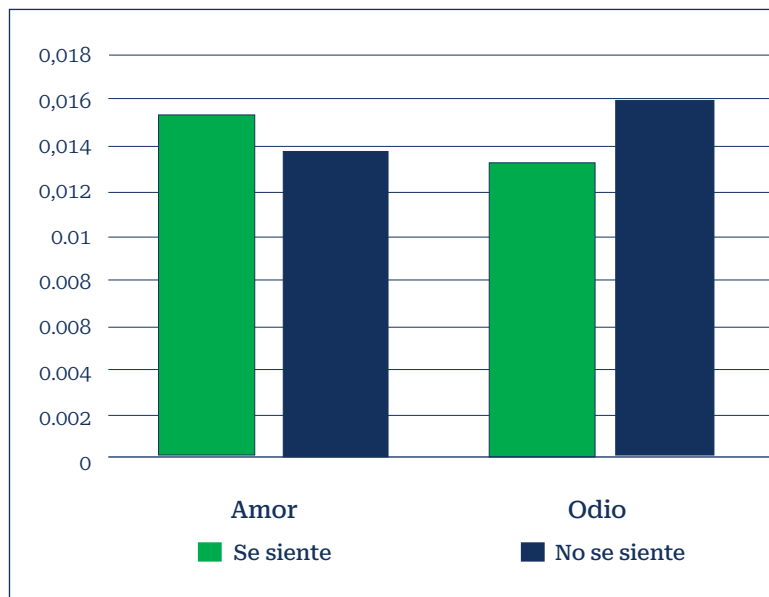


Figura 9.2: Representación visual de los módulos de los estados emocionales-probables sin signos negativos

En resumen, esta cadena de resolución se puede representar con el siguiente diagrama:

$$\left\{ \begin{aligned} &| \vdash_{\zeta} A_m \rangle_0^e \mapsto | \vdash_{\zeta} A_m \rangle_0^i = | \vdash_{\zeta} A_m \rangle_0^{e,i} \succ \frac{J}{2} = | \vdash_{\zeta} A_m \rangle_1^i \\ &| \vdash_{\zeta} A_m \rangle_0^e \mapsto | \neg_{\zeta} O_{di} \rangle_0^i = | \neg_{\zeta} O_{di} \rangle_0^{e,i} \succ \frac{J}{2} = | \neg_{\zeta} O_{di} \rangle_1^i \\ &| \neg_{\zeta} A_m \rangle_0^e \mapsto | \neg_{\zeta} A_m \rangle_0^i = | \neg_{\zeta} A_m \rangle_0^{e,i} \succ \frac{J}{2} = | \neg_{\zeta} A_m \rangle_1^i \\ &| \neg_{\zeta} A_m \rangle_0^e \mapsto | \vdash_{\zeta} O_{di} \rangle_0^i = | \vdash_{\zeta} O_{di} \rangle_0^{e,i} \succ \frac{J}{2} = | \vdash_{\zeta} O_{di} \rangle_1^i \end{aligned} \right. \quad (9.5)$$

Donde la flecha \succ representa la acción de restar.

Esta cadena de resolución se debe solventar para cada estado afectivo que pertenezca al módulo de estado emocional-probable del intervalo perteneciente a una canción respecto al módulo de estado emocional-probable interno de una persona.

Esto hace que el proceso de resolución en completitud del presente modelo sea demasiado extenso, pues dicha metodología requiere operar intervalo por intervalo, de modo que, si una canción tiene 70, intervalos serán 70 veces que se deba de resolver el diagrama. Además, la extensión varía de acuerdo con el número de estados afectivos pertenecientes al intervalo musical. Aun así, para fines prácticos del artículo, la breve resolución anterior es suficiente para introducir la metodología en cómo el modelo funcionaría de manera completa.

10. Discusión

Para empezar, es necesario mencionar que dada la naturaleza del campo de estudio, la cual es la emoción, es fácil perder la objetividad a razón de que las emociones son puramente subjetivas y a veces llegar a ciertos razonamientos atribuidos al concepto emocional requiere de un ejercicio alejado a la lógica, no obstante, durante la investigación siempre se cuidó la objetividad respecto a las expresiones matemáticas y tanto las referencias como la bibliografía usada en este artículo aportaron el apoyo académico suficiente para mantener esta línea.

Dicha tal declaración, el objetivo de este artículo se puede subdividir en dos partes: la primera fue construir y proponer las bases matemáticas para un modelo de distribución de probabilidad enfocado en emociones y, en segundo lugar, crear un modelo junto con un mecanismo que nos permita resolverlo de manera práctica y eficiente. Dentro del contexto musical, este modelo puede acercarse a ser predictivo en la tarea de determinar los posibles estados afectivos que un

escucha llegará a sentir en respuesta ante una canción, el compositor puede aportar todos los parámetros musicales que se usaron en la composición y así calcular los módulos de estados emocionales-probables de cada intervalo. Respecto a los valores de los estímulos internos, se puede llegar a suponer o simular a partir de la población a la cual se dirigió la canción, es decir, el mercado que se pensó al momento de ser producida la canción (Little, 2017), de esa manera, se resuelve el modelo obteniendo una distribución de probabilidad de los posibles estados afectivos que la gente podría llegar a sentir en respuesta incluso antes de que dicha canción sea publicada.

Tal premisa, nos lleva a la siguiente cuestión: resolver este modelo en su completitud se vuelve un problema meramente computacional, ya que realizar los cálculos que se exigen de manera manual llevan al matemático días de procesamiento de datos, por ende, si queremos dar una aplicación comercial a este modelo, resulta cansado y no eficiente esperar días o semanas para una solución, de modo que es mejor optar que las soluciones sean llevadas a cabo por una computadora para que el proceso sea más rápido y efectivo.

Sin embargo, hasta aquí no llegan las posibles aplicaciones musicales de este modelo. Actualmente, con la implementación de inteligencia artificial (IA) a la composición musical (Astudillo et al., 2015; Rouhiainen, 2018; Valdivia, 2022), el presente modelo puede potencializar las acciones que una IA musical podría realizar. Basados en la misma metodología de la propuesta anterior, nos referimos a que se puede desarrollar una IA que haga composiciones musicales a partir de la emoción que un usuario busque expresar con su canción, acompañado con cierto objetivo comercial a razón de que el mismo modelo solicita la disposición emocional de una persona o grupos de personas, es decir, los estímulos emocionales internos que el mercado tiene.

Por otro lado, con el propósito de potencializar este modelo se requiere el compromiso de continuar con las investigaciones respecto a las variables musicales y de los estímulos internos de un sujeto. En primer lugar, precisar más los valores emocionales de los parámetros musicales, así como además indagar en aquellos que hagan falta y, en segundo lugar, quizá la tarea más complicada: asignar porcentajes reales a los estímulos internos a favor de que los resultados obtenidos de este modelo sean más precisos.

Para terminar, enfatizaremos las ventajas que este modelo presenta ante otros similares. Debido a la manera en cómo se formalizó, la matemática del modelo permite extender las aplicaciones más allá de un ámbito musical: si se llegasen a remplazar las variables usadas en los estímulos externos por variables económicas, sociológicas e inclusive políticas permitirían dar soluciones en toda área donde las emociones radiquen, tal idea se desarrollará en futuros trabajos.

11. Referencias

Adler, S. (1982). *Study of Orchestration* (2.a ed.). WW Norton.

Alaminos Fernández, A. F. (2014). La música como lenguaje de las emociones. Un análisis empírico de su capacidad performativa. *OBETS Revista de Ciencias Sociales*, 9(1), 15-42. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/39556/1/OBETS_09_01_01.pdf

Armenta, R. E. (2010). *Matemáticas discretas*. Alfaomega.

Astudillo, E., Lucas, P., & Peláez, E. (2015). Adquisición del conocimiento en el proceso de composición musical en base a técnicas de inteligencia artificial. *XI Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento* (pp. 171-185). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.

Bernia Tarragó, P., Macías López, M., & Peralta Chamba, T. E. (2019). Cuantificación y relación de los niveles de depresión, ansiedad, Il-6 y cortisol en pacientes con esclerosis múltiple. *Terapeía*, (12), 17-37.

Blacking, J. (2003). ¿Qué tan musical es el hombre? *Desacatos*, (12), 149-162.

Bloch, S. (2002). *Al alba de las emociones*. Uqbar editores.

Bonomo, M. E., Brandt, A. K., Frazier, J. T., & Karmonik, C. (2022). Music to My Ears: Neural Modularity and Flexibility Differ in Response to Real-World Music Stimuli. *IBRO Neuroscience Reports*, 12, 98-107.

Bowman, C., & Yamauchi, T. (2016). Perceiving Categorical Emotion in Sound: The Role of Timbre. *Psychomusicology. Music, Mind, and Brain*, 26(1), 15-25.

Buitrago, R. A. (2018). Neuromarketing como herramienta estratégica para predecir el comportamiento del consumidor en países del tercer mundo. *Marketing Visionario*, 6(2), 3-21.

Carrillo, J. M., Collado, S., Rojo, N., & W Staats, A. (2006). El papel de las emociones positivas y negativas en la predicción de depresión: el principio de adición de las emociones en el conductismo psicológico. *Clínica y Salud*, 17(3), 277-295.

Castro, C., Díaz Abrahan, V., & Justel, N. (2021). Modulación del estado de ánimo a través de estímulos musicales activantes. Un diseño experimental con adultos jóvenes. *Interdisciplinaria*, 38(1), 41-52.

Correa, J. (2020). *El análisis del contenido emocional de la música y cómo usarlo para una ejecución expresiva*. UAA.

Costa, M., Ricci Bitti, P. E., & Bonfiglioli, L. (2000). Psychological Connotations of Harmonic Musical Intervals. *Psychology of Music*, 28(1), 4-22.

Díaz, J. L., & Enrique, F. (2001). La estructura de la emoción humana: Un modelo cromático del sistema afectivo. *Salud mental*, 24(4), 20-35.

Díaz, M. Á. T. (2017). Música y emociones: Parámetros que modulan la emoción percibida. *Musicaenclave*, 11(2).

Díaz, M. T., & Martín, F. G. (2020). La influencia del estilo musical en la emoción percibida. *Revista Electrónica Complutense de Investigación en Educación Musical*, 17(85).

Díaz-Abraham, Veronika, Gatto, Flavia, & Justel, Nadia. (2021). Efectos de la exposición a música activante y relajante sobre el estado emocional de una población de adolescentes. *Hacia la Promoción de la Salud*, 26(1), 84-97.

Dirac, P. (1981). *The principles of quantum mechanics* (4.^a ed.). Clarendon Press.

Fernández Sotos, A. (2017). *Percepción de emociones en la música: Un estudio de la influencia del parámetro musical “duración”* [Tesis doctoral]. Universidad de Castilla-La Mancha.

Fernández-Sotos, A., Fernández-Caballero, A., & Latorre, J. M. (2016). Influence of Tempo and Rhythmic Unit in Musical Emotion Regulation. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 10(80), 1-13.

Ferri-Benedetti, F. (2003). Efectos de tempo y modo sobre el contenido emocional de la música. *Fòrum de Recerca*, (9).

Fustinoni, O. (2016). La música: Química, emoción y cerebro. *Química Viva*, 15(1), 4-6.

Gabrielsson, A. (2016). The Relationship Between Musical Structure and Perceived Expression. En S. Hallam, I. Cross, & M. Thaut (Eds.), *The Oxford handbook of music psychology* (pp. 215–232). Oxford University Press.

Gagnon, L., & Peretz, I. (2003). Mode and Tempo Relative Contributions to “Happy-Sad” Judgements in Equitone Melodies. *Cognition and Emotion*, 17(1), 25-40.

García, N. M., Lancho, M. B. P., González, A. B. G., & de Luiseboredo, A. (2020). Sistema de clasificación emocional basado en estímulos externos. *Avances en Informática y Automática* (pp. 66-91). Universidad de Salamanca.

Gaviria, A. M., Vinaccia, S., Riveros, M. F., & Quiceno, J. M. (2007). Calidad de vida relacionada con la salud, afrontamiento del estrés y emociones negativas en pacientes con cáncer en tratamiento quimioterapéutico. *Psicología desde el Caribe*, (20), 50-75.

Gómez, M. A. (2007). Música y neurología. *Neurología*, 22(1), 39-45.

Gondim, S. M. G., & Estramiana, J. L. Á. (2010). Naturaleza y cultura en el estudio de las emociones. *RES. Revista Española de Sociología*, (13), 31-47.

Guadarrama, L., Escobar, A., & Zhang, L. (2006). Bases neuroquímicas y neuroanatómicas de la depresión. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 49(2), 66-72.

Gundlach, R. H. (1935). Factores que determinan la caracterización de las frases musicales. *The American Journal of Psychology*, 47(4), 624-643.

Haines, D. E. (2013). *Principios de neurociencia* (4.^a ed.). Elsevier España, S.A.

Hall, J. E., & Guyton, A. C. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.^a ed.). Elsevier Castellano.

Hasanzadeh, F., Annabestani, M., & Moghimi, S. (2021). Continuous Emotion Recognition During Music Listening Using EEG Signals: A Fuzzy Parallel Cascades Model. *Applied Soft Computing*, 101.

Herrera, E. (2022). *Teoría musical y armonía moderna*. Antoni Bosch Editor.

Hervás, A., Zabaleta, A., De Miguel, G. D., Beldarrain, O., & Díez, J. (2007). Calidad de vida relacionada con la salud en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. *Anales del sistema sanitario de Navarra*, 30(1), 45-52.

Hevner, K. (1936). Experimental studies of the Elements of Expression in Music. *The American journal of psychology*, 48(2), 246-268.

Hevner, K. (1937). The Affective Value of Pitch and Tempo in Music. *The American Journal of Psychology*, 49(4), 621-630.

Igartua, J., Adrián, J. A., & Páez, D. (1994). Música, imagen y emoción: Una perspectiva vigotskiana. *Psicothema*, 6(3), 347-356.

Ilie, G., & Thompson, W. F. (2006). A Comparison of Acoustic Cues in Music and Speech for Three Dimensions of Affect. *Music Perception*, 23(4), 319-330.

Jauset Berrocal, J. A. (2008). *Música y neurociencia: La musicoterapia*. Editorial UOC.

Jerez, S. S. (2020). Aproximación psicoacústica a la percepción de sonidos complejos. *AV NOTAS revista de investigación musical*, (8), 132-152.

Jimenez, I., Kuusi, T., & Doll, C. (2020). Common Chord Progressions and Feelings of Remembering. *Music & Science*, 3, 1-16.

Juslin, P. N. (1997). Perceived Emotional Expression in Synthesized Performances of a Short Melody: Capturing the Listener's Judgment Policy. *Musicae scientiae*, 1(2), 225-256.

Juslin, P. N., & Laukka, P. (2004). Expression, Perception, and Induction of Musical Emotions: A Review and a Questionnaire Study of Everyday Listening. *Journal of New Music Research*, 33(3), 217-238.

Kaygusuz, C., & Zuluaga, J. (2018). Impact of Intervals on the Emotional Effect in Western Music. *arXiv preprint*.

Kolchinsky, A., Dhande, N., Park, K., & Ahn, Y. Y. (2017). The Minor Fall, the Major Lift: Inferring Emotional Valence of Musical Chords Through Lyrics. *Royal Society Open Science*, 4(11), 170952.

Konecni, V. J. (2008). Does Music Induce Emotion? A Theoretical and Methodological Analysis. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 2(2), 115-129.

Krumhansl, C. L. (1997). An Exploratory Study of Musical Emotions and Psychophysiology. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 51(4).

Le Groux, S., & Verschure, P. F. (2012). Subjective Emotional Responses to Musical Structure, Expression and Timbre Features: A Synthetic Approach. *9th International Symposium on Computer Music Modelling and Retrieval (CMMR)*. Centre for Digital Music & CNRS - Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique.

Little, D. (2017). *Cómo componer canciones: Aprende la composición musical de forma muy fácil y sencilla*. Ma Non Troppo.

Losada, M. L. D. (2014). *Fundamentos de psicología: Para ciencias sociales y de la salud*. Editorial Médica Panamericana.

Lvarez, M. N. G.-A., & Garcia Alvarez, M. A. (2009). *Introducción a la teoría de la probabilidad I. Primer curso*. Fondo de Cultura Económica.

Madgazin, V. R. (2009). The Information Theory of Emotions of Musical Chords. *arXiv preprint*.

Mañas, J. A. (2017). *Análisis de algoritmos-complejidad*. Universidad Politécnica de Madrid.

Mateos, N., Pérez, B., Gil, A. B., & de Luis, A. (2020) Sistema de clasificación emocional basado en estímulos externos. *Avances en Informática y Automática*, 66, 66-91.

Miguel-Tobal, J. J., & Cano-Vindel, A. (2002). Emoción y clínica: Psicopatología de las emociones. En F. Palmero, E. G. Fernández-Abascal, F. Martínez & M. Chóliz (Eds.), *Psicología de la motivación y la emoción* (pp. 571-581). McGraw-Hill.

Miranda, M. C., Hazard, S. O., & Miranda, P. V. (2017). La música como una herramienta terapéutica en medicina. *Revista Chilena de Neuro-psiquiatría*, 55(4), (266-277).

Moldaver, E., Merlino, H., & Fernández, E. (2014). Composición Musical a través del uso de algoritmos genéticos. *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*, 2(3), 149-156.

Montañés, M. C. (2005). *Psicología de la emoción: El proceso emocional*. Universidad de Valencia.

Morales, V. H. (2019). *Modelos probabilísticos y optimización*. Sanz y Torres, S.L.

Moreno, J. L. (2003). Psicología de la música y emoción musical. *Educatio Siglo XXI*, 20, 213-226.

Palmero, F., Guerrero Rodríguez, C., Gómez-Íñiguez, C., Carpi Ballester, A., & Goyareb, R. (2011). *Manual de teorías emocionales y motivacionales*. Universitat Jaume I.

Panda, R., Malheiro, R. M., & Paiva, R. P. (2020). Audio Features for Music Emotion Recognition: A Survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*, (1).

Plutchik, R. (1982). A Psychoevolutionary Theory of Emotions. *Social Science Information*, 21(4-5), 529-553.

Plutchik, R. (2001). The Nature of Emotions: Human Emotions have Deep Evolutionary Roots, a Fact that May Explain their Complexity and Provide Tools for Clinical Practice. *American Scientist*, 89(4), 344-350.

Pujol, E. (1960). *El dilema del sonido en la guitarra*. Ricordi Americana.

Ramírez, V. (2003). *Depresión fisiopatología y tratamiento*. Centro Nacional de Información de medicamentos. Universidad de Costa Rica.

Ramos, D., Bueno, J. L. O., & Bigand, E. (2011). Manipulating Greek. Musical Modes and Tempo Affects Perceived Musical Emotion in Musicians and Nonmusicians. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 44(2), 165-172.

Retamal, M. C., Salgado, M. L., Urrutia, J. M., Retamal, S. B., & Bejarano, K. B. (2016). El ritmo y la música como herramienta de trabajo para la actividad física con el adulto mayor. *Revista Ciencias de la Actividad Física*, 17(1), 87-99.

Rigg, M. G. (1940). Speed as a Determiner of Musical Mood. *Journal of Experimental Psychology*, 27(5).

Ross, S. M. (2013). *A First Course in Probability* (9.^a ed.). Pearson.

Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial*. Alienta Editorial.

Russell, J. A. (1980). A Circumplex Model of Affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178.

Scherer, K. R., & Oshinsky, J. S. (1977). Cue Utilization in Emotion Attribution from Auditory Stimuli. *Motivation and Emotion*, 1, 331-346.

Schimmack, U., & Grob, A. (2000). Dimensional Models of Core Affect: A Quantitative Comparison by Means of Structural Equation Modeling. *European Journal of Personality*, 14(4), 325-345.

Schoenberg, A. (2016). *Theory of Harmony* (2.^a ed.). University of California Press.

Schönberg, A. (1994). *Fundamentos de la composición musical*. Real Musical

Schuller, B., Dorfner, J., & Rigoll, G. (2010). Determination of Nonprototypical Valence and Arousal in Popular Music: Features and Performances. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 1, 1-19.

Seconds, S. (2020). *Explorando la rueda de las emociones de Plutchik*. ESP 6 Seconds. <https://esp.6seconds.org/2020/07/04/explorando-la-rueda-de-las-emociones-de-plutchik/>

Sloboda, J. A. (2015). *La mente musical: La psicología cognitiva de la música* (vol. 1). Antonio Machado Libros.

Thompson, W. F., & Robitaille, B. (1992). Can Composers Express Emotions Through Music? *Empirical Studies of the Arts*, 10(1), 79-89.

Valdivia, P. R. A. (2022). El futuro de la industria musical en la era de la inteligencia artificial. *Artnodes: Revista de Arte, Ciencia y Tecnología*, (30), 1-9.

Vásquez Rangel, O. L. O. (2020). *Recorrido por la felicidad en clave de salsa desde el desarrollo humano* [Trabajo de grado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Västfjäll, D. (2001). Emotion Induction Through Music: A Review of the Musical Mood Induction Procedure. *Musicae Scientiae*, 5, 173-211.

Vergara, R. G. (2006). Naturaleza del estado de ánimo. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 1(1), 29-40.

Villa, B. A. D., & González, C. G. (2012). Actualidades en neurobiología de la depresión. *Revista Latinoamericana de Psiquiatría*, 11(3), 106-115.

Villar, J. D. L., & Luján, R. C. (2020). Reconocimiento de emociones musicales a través de datos y tecnologías digitales. *Comunicación y Hombre*, (16), 59-82.

Vinaccia, S., Quiceno, J. M., Martínez, Á. M., & Arbeláez, C. P. (2008). Calidad de vida relacionada con la salud, emociones negativas y apoyo social en pacientes con psoriasis vulgar. *Psicología y Salud*, 18(1), 17-25.

Vinaccia, S., Quiceno, J. M., Zapata, C., Obesso, S., & Quintero, D. C. (2006). Calidad de vida relacionada con la salud y emociones negativas en pacientes con diagnóstico de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). *Psicología desde el Caribe*, (18). 89-108.

Vinaccia-Alpi, S., Quiceno, J. M., Lozano, F., & Romero, S. (2017). Calidad de vida relacionada con la salud, percepción de enfermedad, felicidad y emociones negativas en pacientes con diagnóstico de artritis reumatoide. *Acta Colombiana de Psicología*, 20(1), 49-59.

Watson, K. B. (1942). The Nature and Measurement of Musical Meanings. *Psychological Monographs*, 54(2).

Wu, B., Horner, A., & Lee, C. (2014). Emotional Predisposition of Musical Instrument Timbres with Static Spectra. *15th International Society for Music Information Retrieval Conference* (pp. 253-258). ISMIR

Yanushevskaya, I., Gobl, C., & Ní Chasaide, A. (2013). Voice Quality in Affect Cueing: Does Loudness Matter? *Frontiers in psychology*, 4(335).

Zentner, M., Grandjean, D., & Scherer, K. R. (2008). Emotions Evoked by the Sound of Music: Characterization, Classification, and Measurement. *Emotion*, 8(4), 494-521.