

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

TESIS DOCTORAL

**ETNO-MUSIC: Plataforma para la
generación colaborativa basada en el
análisis musical de la música popular
modal en Castilla y León**

Autor:

María NAVARRO
CÁCERES

Director:

Dra. D^a. Matilde OLARTE MARTÍNEZ



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

*La presente tesis ha sido presentada en cumplimiento de los requisitos
para la obtención del grado Doctor*

en el

Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal-Música

28 de Mayo de 2018

Declaración de Autoría

D^a María NAVARRO CÁCERES, presenta el proyecto de tesis titulado “ETNO-MUSIC: Plataforma para la generación colaborativa basada en el análisis musical de la música popular modal en Castilla y León” para optar al Grado de Doctor en Musicología por la Universidad de Salamanca, y declaro que ha sido realizado bajo la dirección de la Dra. D^a Matilde Olarte Martínez, profesora catedrática del Departamento de Musicología de la Universidad de Salamanca.

En Salamanca, a 28 de Mayo de 2018

El doctorando:

Fdo: María NAVARRO CÁCERES

La directora:

Dra. D^a. Matilde OLARTE MARTÍNEZ

“Hermoso es lo que vemos. Más hermoso es lo que sabemos. Pero mucho más hermoso es lo que no conocemos.”

Niels Steensen

Resumen

El proceso de generación musical con inteligencia artificial resulta de un gran interés desde el punto de vista social, debido a la subjetividad de los resultados musicales, y al dinamismo del contexto. Esta tesis plantea la generación y el análisis musical de una parte del repertorio de la canción popular española. Se realizará una búsqueda, clasificación y análisis de diferentes fuentes sobre música española de tradición oral, en los que la etnomusicología se hace esencial para la consecución de los objetivos.

Con los materiales recogidos, se generará una plataforma que permitirá, por un lado, la recolección ordenada y etiquetada del material obtenido y, por otro, aplicar técnicas informáticas para la extracción y análisis de conocimiento. A partir de este contenido, se diseñará una plataforma de colaboración entre hombre y máquina, y de aprendizaje para aquellos interesados en la generación de música popular de tipo melódico en diferentes modos.

Abstract

The process of generating music with artificial intelligence is of great interest from the social point of view, due to the subjectivity of musical results, and the dynamism of the context. This thesis proposes the generation and musical analysis of a part of the repertoire of the Spanish popular song. A search, classification and analysis of different sources on Spanish music of oral tradition will be carried out, in which ethnomusicology becomes essential for the achievement of the objectives.

With the collected materials, a platform will be generated that will allow, on the one hand, the ordered and tagged collection of the obtained material and, on the other, apply computer techniques for the extraction and analysis of knowledge. From this content, a platform of collaboration between man and machine, and learning for those interested in the generation of melodic-type popular music in different ways will be designed.

Agradecimientos

La elaboración de la tesis doctoral siempre es un camino donde siempre encuentras cosas muy positivas, a pesar del esfuerzo y de los obstáculos que hayas podido encontrar. Es muy cierto que, aunque el reconocimiento siempre va a título personal, cuando llegamos a la meta nunca lo hemos hecho solos, siempre hay personas a nuestro alrededor que nos han ayudado de alguna forma u otra. Es justo por tanto reconocer y dar las gracias a aquellos que han estado a tu lado en los buenos momentos, pero también en los menos buenos antes, durante y al finalizar esta tesis.

Lo primero de todo, quiero agradecer a mi directora Matilde, por animarme a trabajar en esta tesis que tanto me ha aportado tanto profesional como personalmente. Su apoyo y confianza en mi trabajo me han servido de guía para poder llevar a término mi trabajo llena de ilusión, y para realizarme profesionalmente como investigadora.

Gracias al grupo de investigación “Computational Creativity” de la Universidad de Coimbra por el calor de la bienvenida y por las oportunidades allí brindadas. En especial, le agradezco a Amílcar y a Pedro la posibilidad de colaborar en tu trabajo, y por acogerme en el grupo de investigación. Espero que queden por delante muchos más encuentros y colaboraciones.

Gracias a mis compañeros de trabajo, en especial gracias a Sara, Gabri, Fran, por compartir estos momentos de trabajo y por ayudarme cuando lo he necesitado. Muchas gracias también a mis profesores de Etnomusicología, en especial a Julia y a Lola, que me han enseñado este año tantas cosas no solo a nivel profesional, sino a nivel personal, muchas de ellas han sido esenciales para la elaboración de esta tesis.

Unas gracias también muy sentidas hacia mi familia, y a mis abuelos, en especial a mi abuela María, gracias a su sacrificio hoy he podido llegar hasta donde he llegado. Una mención también muy especial a mis padres, Juanjo y Mercedes, que lo han dado todo por sus hijos para que tengamos lo mejor, y a mis hermanos Juan José y Alicia, que siempre me han apoyado en lo bueno y en lo malo, y se han preocupado por mí. Sin todos vosotros no habría podido escribir una palabra de las que hay aquí ahora. Finalmente, muchas gracias Fernando, por ser mi paño de lágrimas cuando las cosas no eran fáciles, pero también por animarme y siempre buscar lo mejor en mí. Esta tesis lleva también un pedacito de ti.

Tabla de Contenido

Declaración de Autoría	iii
Resumen	vii
Abstract	ix
Agradecimientos	xi
Contenido	xii
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tablas	xix
Glosario	xxi
Símbolos	xxiii
1 Introducción	1
1.1 Hipótesis y Objetivos	6
1.2 Motivación	8
1.3 Metodología	9
1.4 Estructura de la Tesis	11
2 Marco Teórico en Etnomusicología y Musicología Experimental	13
2.1 Recopilación de fuentes	16
2.2 Origen y Evolución de la Música Popular de Tradición Oral	17
2.3 La memoria como almacenamiento de la música	20
2.4 Los cancioneros	23
2.4.1 Recopilaciones en el territorio de Castilla y León	28
2.4.1.1 <i>Cancionero Popular de Burgos</i> , de Federico Olmeda	28
2.4.1.2 <i>Cancionero Salmantino</i> , Dámaso Ledesma	29
2.4.1.3 <i>El Folklore Leonés</i> , Manuel Fernández Núñez	29
2.4.1.4 <i>Cancionero Segoviano</i> , Agapito Marazuela	29

2.4.1.5	<i>Colección de Cantos Populares Burgaleses</i> , Antonio José Martínez Palacios	30
2.4.1.6	Recopilaciones por Kurt Schindler	30
2.4.1.7	<i>El Nuevo Cancionero Salmantino</i> , Aníbal Sánchez Fraile	31
2.4.1.8	<i>Las Páginas Inéditas del Cancionero de Salamanca</i> , Aníbal Sánchez Fraile y Manuel García Matos	31
2.4.1.9	<i>Catálogo Folklórico de Valladolid</i> , Joaquín Díaz, José Delfín Val y Díaz Viana	32
2.4.1.10	<i>Cancionero de Folklore Zamorano</i> , Miguel Manzano	32
2.4.1.11	<i>Cancionero Leones</i> , Miguel Manzano	32
2.4.1.12	<i>Cancionero Popular de Priorio: Canciones Danzas y Romances del Alto Cea</i> , Marcelino Díez Martínez	33
2.4.1.13	<i>Cancionero Popular de Burgos</i> , Miguel Manzano	33
2.4.1.14	<i>Cancionero Abulense</i>	33
2.4.1.15	Trabajos de Recopilación en Palencia	34
2.4.1.16	<i>Cancionero Popular de Castilla y León: Romances, Canciones y Danzas de Tradición Oral</i>	34
2.4.1.17	<i>Cancionero Básico de Castilla y León</i> , Miguel Manzano	35
2.5	Generación Automática de Música	35
2.5.1	Aprendizaje Estadístico	37
2.5.2	Generación de música a través de gramáticas	39
2.5.3	Algoritmos evolutivos	41
2.6	Generación de Música y Texto	43
3	Concepto de Modalidad desde un Punto de Vista Etnomusicológico	47
3.1	Concepto de Modalidad en Diferentes Contextos Históricos	49
3.1.1	Terminología modal en la Antigüedad	50
3.1.2	Uso del Hexacordo y Reajuste de la Terminología en la Música Monódica y Polifónica Temprana	51
3.2	Una Nueva Terminología para el Análisis de la Música Popular en el Siglo XX	52
3.2.1	Características Principales en los Sistemas Modales en la Música Popular Española	53
3.2.2	Clasificación de los Sistemas Modales en la Música popular española	55
3.2.2.1	Modo de Mi	57
3.2.2.2	Modo de La	58
3.2.2.3	Modo de Sol	59
3.2.2.4	Modo de Do	60
3.2.2.5	Modo de Si	61
3.2.2.6	Modo de Re	62
3.2.2.7	Modo de Fa	62
3.2.3	Ambigüedad modal	63
3.2.4	Ámbito melódico	64
4	Codificación de Elementos Musicales	65
4.1	Evolución Histórica de la Notación Musical	68
4.1.1	Los Neumas	69
4.1.2	Nombres de las notas	70

4.1.3	La escritura del ritmo musical	73
4.1.4	La tablatura	75
4.1.5	El Bajo Continuo	76
4.1.6	Hacia una notación moderna	77
4.1.7	Siglo XX y la nueva notación indeterminada	78
4.2	Notación musical aplicando nuevas tecnologías	79
4.3	Espacios Geométricos para la Representación de Sonidos	84
4.3.1	Tonal Interval Space	86
4.3.1.1	Vectores de Croma	87
4.3.1.2	Tonal Interval Vectors (TIV)	88
4.4	Espacios Semánticos para la Representación Sonora	91
4.4.0.1	Propiedades técnicas de los MIDI	94
4.4.0.2	Aplicaciones del MIDI	96
4.5	Los <i>Viewpoints</i> : Codificación de las recopilaciones.	97
4.5.0.1	Tipos de puntos de vista	99
5	Musicología Experimental: Prototipo de Interacción	103
5.1	Arquitectura Principal	106
5.2	Descripción de la Interfaz	108
5.2.0.1	Control de la posición	110
5.3	Análisis de las fuentes recopiladas para ETHNO-MUSIC	110
5.4	Análisis de la Recopilación de Datos	112
5.5	Generación de la nueva melodía	114
5.6	Limitaciones del primer prototipo	118
6	Arquitectura de Aprendizaje Musical	119
6.1	Proceso de Aprendizaje Basado en Casos	122
6.1.1	Búsqueda de soluciones anteriores (Etapa de Recuperación)	125
6.1.2	Generación de la nueva melodía (Etapa de Reutilización)	126
6.1.3	Validación de la melodía final (Etapa de Revisión)	127
6.1.4	Almacenamiento de un nuevo caso (Etapa de Retención)	128
7	Un sistema generador de melodías vocales	131
7.1	Modelo de generación de letras	134
7.1.1	Generación de Letra	136
7.1.1.1	Análisis de la Estructura	137
7.1.1.2	Análisis del Ritmo	137
7.1.1.3	Generación de Versos	137
7.1.1.4	Estrategia de Generación	138
8	Caso de Estudio: Un Sistema Colaborativo de Composición	141
8.1	Descripción de los Experimentos para la Evaluación del Sistema de Generación Musical	145
8.1.1	Resultados y Discusión	147
8.2	Sistema generador de letras	150
8.2.1	Ejemplos	151
8.2.2	Evaluación y Discusión	153

9 Conclusiones	157
A Análisis del Repertorio Popular de Castilla y León	169
A.1 Autor de la Recopilación	173
A.1.1 Trayectoria Profesional como Músico	174
A.1.2 Especialización en música popular	175
A.2 Características del Cancionero	177
A.3 Contenido y criterios de confección	181
A.4 Análisis musical	183
References	207

Lista de Figuras

1.1	Representación general de la plataforma planteada.	5
2.1	Creatividad Computacional como un campo transversal.	36
2.2	Creatividad Computacional como un campo transversal.	39
3.1	Primeros modos gregorianos (Protus, Deuterus, Tritus y Tetrardus), que luego se denominaron Dórico, Frigio, Lidio y Mixolidio respectivamente, y sus escalas plagales justo debajo. La nota coloreada corresponde a la nota fundamental desde la cual se construía la escala.	52
4.1	Reproducción del esquema de mano guidoniana.	71
4.2	Escala musical empezando desde Do.	72
4.3	Los modos rítmicos de Garlandia.	73
4.4	Los cuatro símbolos principales de la notación franconiana.	74
4.5	Figuración de la división del compás primitivo.	74
4.6	Notación musical para las notas de la escala Do mayor con nombres de letras y la codificación correspondiente debajo de cada nota.	84
4.7	La red armónica o Tonnetz representa las relaciones tonales como una rejilla. Los nodos son clases tonales y las conexiones corresponden a intervalos musicales (Chew, 2007).	85
4.8	Visualización del espacio en seis círculos. Cada círculo muestra la representación de un intervalo musical, correspondiente a k en $T(k)$. El área gris es el área factible de búsqueda donde se pueden encontrar los puntos $T(k)$. El ángulo $\varphi(k)$ es la rotación desde la posición n a $n + 1$ en el vector de cromas.	89
4.9	Ilustración de las posiciones relativas de Do mayor (CM) y La menor (Am) en el espacio TIV.	90
4.10	Ejemplo del diseño de un sistema MIDI para la producción de sonido.	93
5.1	Esquema del funcionamiento del sistema. El usuario debe presentar una formalización de los requisitos iniciales, y puede modificar la direccionalidad de la música a través de un dispositivo, mientras se está generando.	107
5.2	Ilustración del dispositivo mecánico.	108
5.3	Representación de las coordenadas y ángulos existentes en el dispositivo.	109
5.4	Esquema con el proceso de adaptación para generar una nueva melodía.	115
6.1	Esquema con el proceso CBR. El caso representa una formalización de una melodía con los requisitos iniciales presentados por el usuario y la revisión final obtenida.	125

6.2	Esquema con el proceso de adaptación para generar una nueva melodía. . .	126
7.1	Descripción general del flujo de generación musical.	135
8.1	Captura de la pantalla mientras el usuario está creando una melodía. . . .	144
8.2	Resultados de evaluación para cada fragmento extraído.	147
8.3	Canción en modo de Mi, con letras en español sobre el dominio ‘trabajo ’.	152
8.4	Canción en modo frigio, con letras en español sobre el dominio ‘amor ’. . .	153
8.5	Canción en modo de Mi, con letras en español sobre el dominio ‘amor ’. .	153

Lista de Tablas

4.1	Representación vectorial croma de configuraciones de tono. El ejemplo ilustra la escala de Do mayor (C Mayor).	87
4.2	Interpretación interválica de k para un vector TIV. “Cons.” Quiere decir “Consecutivos”, mientras que “Sup.” quiere decir “Superpuestos”.	88
4.3	Pesos aplicados a cada componente o intervalo k para los vectores TIV. . .	91
8.1	Muestra las estadísticas finales cuando los usuarios terminaron de probar el sistema.	148
8.2	Muestra las estadísticas finales cuando los usuarios terminaron de probar el sistema.	149
8.3	Resultados generales de validación para las diez canciones evaluadas. . .	155

Glosario

CC	C omputational C reativity
MAS	M ulti- A gent S ystem
TIS	T onal I nterval S pace
AI	A rtificial I ntelligence
TIV	T onal I nterval V ector
MIDI	M usical I nstrument D igital I nterface
AIS	A rtificial I mmune S ystem
CBR	C ase B ased R easoning
MM	M odelos de M arkov

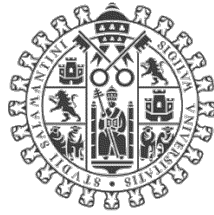
Símbolos

$C(n)$	Vector de Croma
$T(k)$	Vector TIV
$W(k)$	Pesos para los componentes k del vector TIV
$\bar{C}(n)$	Suma de todos los valores de los elementos de $C(n)$
$\varphi(k)$	la rotación desde la posición n a $n + 1$ en el vector de cromas
L_2	Norma de un vector
$d^2 [T_1(k), T_2(k)]$	Distancia Euclídea entre dos vectores TIV
θ	Ángulo entre dos vectores TIV $T_1(k)$ y $T_2(k)$
$\delta(T_i, T_{i-1})$	Relación perceptual entre dos vectores TIV $T_i(k)$ y $T_{i-1}(k)$
$\xi(T_i)$	Disonancia de un vector TIV T_i .
$\lambda(T_i, T_l)$	Relación de un vector TIV T_i con la escala T_l .
$\phi(T_i, T_l, T_f)$	Relación de un vector TIV T_i con la función armónica T_f .
$P(\delta, \xi, \lambda, \phi)$	Función objetivo que mide la calidad de un acorde respecto del contexto.
$C = \langle P, S, R \rangle$	Representación de un caso de estudio como una 3-tupla: Dominio, Solución, Revisión.
P	Dominio del problema y representa el histograma de color de una imagen.
S	Conjunto de pares $N = \langle H, D \rangle$ donde H es la nota musical considerada y D su duración rítmica.
R	representa las valoraciones subjetivas de los expertos sobre una melodía.
N_i	Representa la nota musical codificada en MIDI, que puede adquirir valores de entre 0 y 127.
D_i	Representa la duración rítmica codificada en MIDI.

X_i	Lista codificada con las propiedades analizadas de las canciones populares.
$P_D(t)$	Probabilidad de la transición según el dispositivo.
$P_M(t)$	Probabilidad de una transición siguiendo el modelo de Markov.
k	Parámetro de valor real para equilibrar el peso del modelo de markov y el del dispositivo.
t_i	Transición más probable que proporciona el modelo de Markov en un momento dado.
t_r	Transición de referencia indicada por el dispositivo mecánico.
d_p	Distancia euclidiana normalizada entre el tono de referencia t_r y el que está sonando.
d_d	Distancia euclidiana normalizada entre la duración de referencia y la duración de la transición.
MAX_{DP}	Parámetro ajustable que determinan la distancia máxima de una nota musical y la referencia en el contexto de ETHNO-MUSIC.
MAX_{DD}	Parámetro ajustable que determinan la distancia máxima de una duración rítmic musical y la referencia en el contexto de ETHNO-MUSIC.
α	Penalizaciones en Tra-La-Lyrics para la diferencia entre el número de sílabas en una línea textual y el número de notas en la parte musical
β	Penalizaciones en Tra-La-Lyrics para la diferencia entre el número de sílabas átonas en tiempos fuertes
γ	Penalizaciones en Tra-La-Lyrics para la diferencia entre el número de sílabas acentuadas en tiempos débiles
δ	Penalizaciones en Tra-La-Lyrics para la diferencia entre el número de palabras interrumpidas por una pausa
ϵ	Bonificación en Tra-La-Lyrics para cada par de líneas cercanas con la misma terminación
ζ	Penalización en Tra-La-Lyrics para aquellos versos en la misma estrofa que terminen con la misma palabra

Capítulo 1

Introducción



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

Introducción

La colaboración es un concepto cada vez más presente en la vida cotidiana actual, esencial para tener éxito en cualquier tipo de objetivo social. Esto se hace patente, por ejemplo, en el aumento de la literatura sobre los equipos empresariales y de gestión para verificar las mejoras cuando un factor de colaboración está presente en un proceso de negocios. Sin embargo, este no es el único campo donde los equipos, grupos, coaliciones o sociedades cooperan para un propósito común. En educación, hablamos de aprendizaje cooperativo en grupos de estudiantes; en los deportes, la formación y gestión de un equipo es esencial para ganar competiciones; y en otros campos como la ciencia, la mayoría de los resultados importantes provienen de la creación y colaboración de grupos de trabajo y de investigación.

Los diferentes avances computacionales en el campo de la Inteligencia Artificial (AI por sus siglas en inglés) que han ocurrido durante los últimos años han atraído la atención de investigadores con todo tipo de orígenes y motivaciones, creando así campos innovadores que unen conceptos aparentemente dispares como la inteligencia artificial y el arte. De estas dos disciplinas nace el área de la Creatividad Artificial o Computacional, que puede definirse como análisis o síntesis computacional de obras de arte, de una manera parcial o totalmente automatizada (Dartnall, 2013). El área de Creatividad Computacional ha sido recientemente desarrollada significativamente con la entrada de empresas tan importantes como Google, con proyectos como DeepDream (Google Inc., n.d.-a), una red neuronal que transforma imágenes o, más recientemente, Magenta (Google Inc., n.d.-b), el equivalente para la generación de música.

En este campo ha habido diferentes iniciativas para generar música a través de la colaboración de diferentes entidades, tanto humanas como virtuales. No obstante, las iniciativas siempre se han centrado en la generación de música de carácter más bien tonal y, hasta la fecha, no ha existido ningún estudio que aborde la generación de música popular que ha involucrado el uso de la modalidad.

La música popular ha tenido un gran auge en la sociedad, ya que se ha ido transmitiendo de forma oral de generación en generación. Desde un punto de vista etnomusicológico, esta música tiene un gran interés debido a sus peculiares características sonoras y al contexto social que representan o han representado.

El proceso de despoblación de las zonas rurales debido a la migración de la población a los centros urbanos, está provocando una disminución del repertorio popular, y por lo tanto, una progresiva pérdida de nuestro patrimonio inmaterial. Por otro lado, el uso de las nuevas tecnologías está teniendo un gran calado en la sociedad en casi cualquier sector tanto laboral, como de ocio. La incorporación de la tecnología a nuestro modo de vivir ha hecho que cambien nuestras costumbres para comunicarnos y para transmitir información. En particular, las nuevas generaciones ya han interiorizado el uso de los dispositivos electrónicos y las aplicaciones asociadas, son los llamados nativos digitales, y cada vez su número es mayor.

Aprovechando la digitalización de la sociedad y las nuevas formas de comunicación que conllevan, se propone esta tesis, que pretende investigar en las nuevas tecnologías adaptadas a la generación musical y la colaboración hombre-máquina para, posteriormente, transmitir y preservar las sonoridades de la música popular modal. Precisamente nos centramos en la modalidad, puesto que son sistemas melódicos a los que la sociedad en general, incluso los estudiosos académicos en música culta, no están habituados, y pretendemos también educar el oído en estas sonoridades para su posterior apreciación y transmisión.

Es necesario estudiar de una manera un poco más profunda cómo funciona la inteligencia artificial en el proceso de representación, análisis y sintetización de música, para comprender cómo, a partir del uso y manejos de modelos matemáticos, se puede crear una inteligencia capaz de generar pequeñas piezas musicales. Cabe destacar que, en realidad, solo los números son comprensibles para una máquina, pero que, a través de complejos de transformación, se puede llegar a la generación de música.

A su vez, el usuario no suele conocer los mecanismos internos de un computador. Por tanto, la aplicación de técnicas de comunicación tecnológica se hacen esenciales para la interacción entre los usuarios y el ordenador. Por tanto, necesitamos una interfaz que sea capaz de traducir los deseos del usuario a la máquina. De la misma forma, necesitamos una transformación de los datos analógicos de los sonidos musicales a una notación entendible por una máquina.

En este sentido, la etnomusicología se hace totalmente imprescindible como una forma de análisis de la música popular de tradición oral, que nos permitirá posteriormente elaborar un sistema de transcripción y codificación musical que refleje fielmente las

características sonoras de cada pieza musical, y que a la vez sea comprensible por una máquina. Cuando la música está codificada de forma que la máquina pueda interpretarla correctamente, harán falta diferentes técnicas informáticas para un análisis que permita posteriormente, la extracción de conocimiento útil para nutrir la inteligencia artificial. Como veremos en sucesivos capítulos, esta inteligencia será capaz de crear música de forma similar a un ser humano. Cuando, además, en el proceso de generación musical se involucra el concepto de colaboración, el proceso de generación se convierte en una comunicación constante entre hombre y máquina para la consecución de un objetivo común, en este caso, la creación de una pieza musical.

Un esquema del proceso de generación musical de música popular descrito es el mostrado en la Figura 1.1.

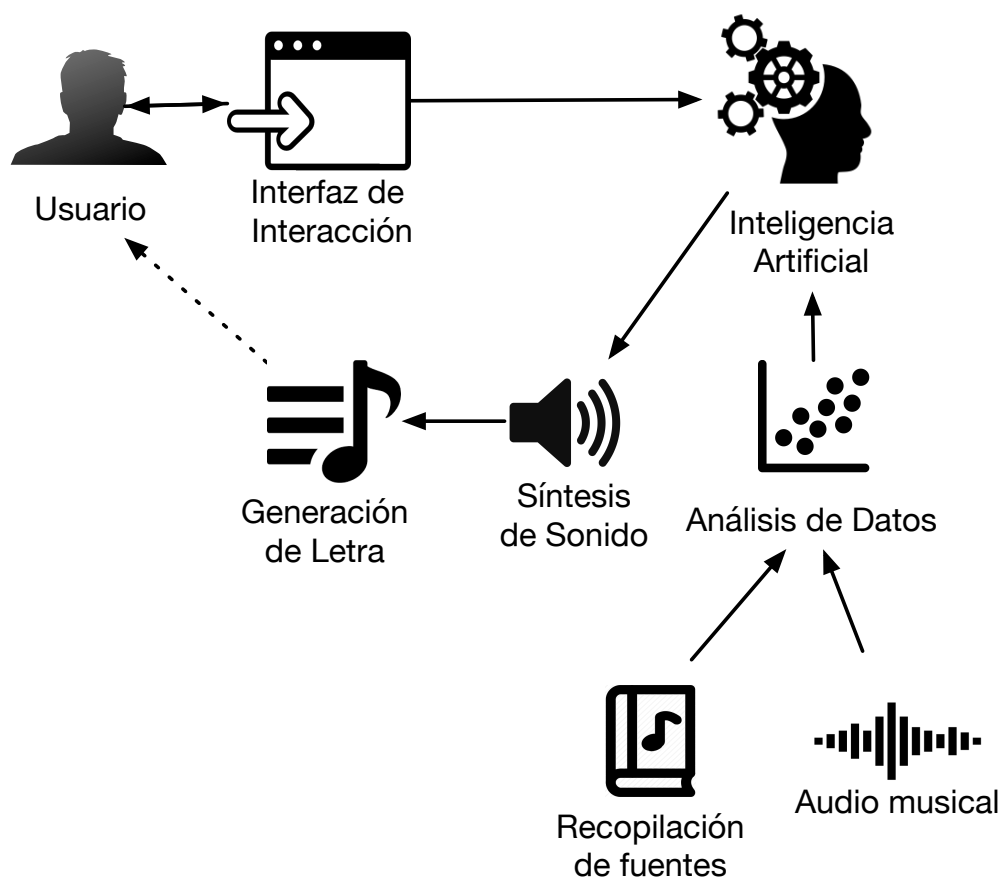


FIGURA 1.1: Representación general de la plataforma planteada.

Por tanto, el sistema propuesto hace uso de la colaboración social de forma doble: i) el usuario realiza un guiado del proceso de composición, ii) los usuarios siempre validan los resultados obtenidos. Por último, cabe destacar que, fruto de esta colaboración se deriva un proceso de aprendizaje mutuo. Por una parte, los usuarios aprenden qué movimientos permiten generar una buena melodía desde un punto de vista del repertorio popular.

Por otra parte, el sistema es capaz de incorporar las validaciones de los expertos como punto de partida para su aprendizaje constante y adaptativo a los usuarios.

Uno de los géneros más importantes dentro de la música popular es la música vocal, donde la letra toma un papel fundamental para el recuerdo y la transmisión de estas piezas musicales. Por tanto, en la última fase de desarrollo de nuestro sistema, se ha querido integrar una primera aproximación de un generador de letras para los resultados musicales que se obtienen de ETHNO-MUSIC. Para ello, será necesario un análisis textual de las letras de otras tonadas a través de técnicas etnomusicológicas que serán descritas también en el presente documento, de manera que la máquina pueda aprender de ellas y generar las suyas propias.

Cabe destacar que, debido a la gran riqueza de sonoridades que se dan en el territorio nacional en cuanto a música popular, y a la inabarcabilidad del análisis de todo tipo de repertorios, se ha optado por acotar el espacio de recopilación de información a la región de Castilla y León debido, entre otros factores que se detallarán posteriormente, a la accesibilidad de los cancioneros y a la gran cantidad de piezas musicales que se han recogido en todas las provincias que componen la comunidad, llegando a más de 13.000 canciones populares.

1.1 Hipótesis y Objetivos

Partiendo de la hipótesis de que, a partir de un conjunto de recopilación de música eminentemente popular basada en las reglas que rigen la modalidad podemos construir una plataforma colaborativa para generar música que siga este mismo paradigma, una parte esencial de esta investigación se articulará en torno a la búsqueda, clasificación, elaboración y el análisis desde la perspectiva musical de las fuentes españolas sobre música popular, para lo cual la etnomusicología se hace fundamental. Esta búsqueda se centrará en archivos institucionalizados públicos en Castilla y León, debido a su cercanía geográfica y a la gran cantidad de melodías populares recopiladas en esta zona, volcando después toda esa información a la plataforma. Esta información constituirá el corpus sobre el que el sistema debe basarse para generar futuras composiciones modales.

El objetivo de este trabajo de investigación es profundizar en el concepto de generación musical de música popular modal en la región de Castilla y León a partir de las preferencias de los seres humanos que colaboran con nuestro sistema. Esto incluye la definición y desarrollo de métodos, algoritmos y modelos que permitan generar una nueva arquitectura o un marco de ejecución para esta sociedad que facilite ofrecer servicios adaptados para la creación de música. Dicha arquitectura deberá disponer de

un interfaz que permita la interacción de forma transparente al usuario. La propuesta estará dotada de mecanismos que permitan reconocer la actividad humana, para que la máquina pueda razonar sobre las interacciones con humanos. En este desarrollo será imprescindible hacer uso de la teoría de generación musical y de la inteligencia artificial, ya que proporciona capacidades de negociación, aprendizaje y adaptación automáticos, así como un elevado nivel de personalización.

Otro de los principales objetivos donde se encuadra esta tesis es el estudio, diseño y desarrollo de nuevos mecanismos, arquitecturas, herramientas y modelos que permitan la colaboración entre humano y máquina. En esta línea, diferentes grupos de investigación han trabajado en varias áreas para desarrollar modelos en los que agentes virtuales y humanos coexisten e interactúan en un sistema transparente y totalmente integrado, como en el caso del GIR BISITE al que pertenezco desde el año 2012. Sin embargo, este tipo de tecnologías nunca se ha aplicado a contextos como la generación de contenido creativo en música popular. Por lo tanto, se ha decidido proponer esta tesis basada principalmente en la necesidad de continuar avanzando en estas líneas y aplicarlas a un contexto totalmente novedoso.

Como recopilación de todo lo anterior, destacamos los siguientes objetivos específicos:

- Investigar en mecanismos que faciliten la creación musical modal a partir de colaboradores.
- Revisar y estudiar detalladamente los trabajos relativos a generación musical dentro de los esquemas dentro de la música modal de tradición oral.
- Estudiar y diseñar modelos de sensibilidad al contexto que puedan ser aplicados a entornos de índole creativa para la música incidental.
- Estudiar y diseñar mecanismos de aprendizaje utilizando el modelo de razonamiento basado en casos para incorporar la experiencia humana al proceso de generación de música siguiendo los principales sistemas modales.
- Analizar, definir y desarrollar técnicas para la creación de modelos que capturen la calidad musical en un entorno modal basándonos en nuestra investigación previa del entorno tonal.
- Analizar y diseñar mecanismos de validación y representación de configuraciones modales en un entorno modal.
- Aplicar y evaluar la tecnología desarrollada en un caso de estudio real: creatividad musical modal, proponiendo de esta forma una nueva forma de sistema de aprendizaje que desemboque a su vez en una nueva forma de industria “creativa”.

Se desarrollarán varios prototipos para la evaluación de la tesis, que serán validados de acuerdo a los objetivos sobre los que se enfocan los prototipos. Cada prototipo ayudará en el logro de los objetivos descritos en esta sección y se integrarán en un sistema completo que permita la interacción de humanos y máquina para crear música.

1.2 Motivación

En la generación de música, es bastante común que exista alguna forma de interacción entre seres humanos y máquinas. Martin, Jin, and Bown (2011) presentó el prototipo de *software* Toolkit con el objetivo de permitir a los usuarios no técnicos diseñar agentes artificiales e inteligentes para realizar música electrónica en colaboración con un músico humano. Pachet (2003) desarrolló The Continuator, un sistema capaz de interactuar con los usuarios para crear una improvisación de jazz en tiempo real. Thorogood, Pasquier, and Eigenfeldt (2012) también presenta un sistema para generar paisajes sonoros basado en tweets sobre noticias recientes.

Asimismo, la mayor parte de los estudios acerca de la generación musical se basan en la obtención de una música que sigue unas reglas eminentemente tonales (Colton & Wiggins, 2012; Eigenfeldt & Pasquier, 2013; Martin et al., 2011; Pachet, 2003). Existen algunos trabajos acerca del uso y manejo de la improvisación colaborativa en el paradigma del jazz o el blues, pero hasta donde nosotros conocemos, no han existido propuestas similares en el entorno de la música popular española.

El desarrollo de la propuesta es también una oportunidad para adquirir conocimientos en diferentes campos como la creatividad artificial, en el campo de la informática o el comportamiento modal de la música popular en España, en el campo de la etnomusicología, y para aplicar esta diversidad de conocimientos transversales en otros proyectos similares, promoviendo y desarrollando el sector de la innovación. En concreto, esta tesis está fundamentada en torno a cuatro pilares fundamentales en el sector de la investigación:

1. Desarrollar nuevas oportunidades para el capital humano en torno a sectores de futuro: La producción de tecnología, esto es, el proceso de innovación, es una actividad que involucra al capital humano. Este proyecto constituye una oportunidad tanto de presente como de futuro, porque por un lado tendrán la oportunidad de adquirir conocimientos en ámbitos como creatividad musical o tecnologías informáticas. Por otra parte, estos conocimientos podrán ser útiles en la participación en otros proyectos similares, promoviendo y desarrollando así un

sector de la musicología experimental en auge. De este modo, el capital humano se configura como una entrada indispensable al proceso de innovación.

2. Generalizar la cultura de la innovación en las empresas y/o grupos de investigación: Este proyecto resultará de especial interés para grupos de investigación dedicados al campo de Inteligencia Artificial y de la etnomusicología, puesto que el creativo propuesto pueden servir de soporte e incrementar el valor añadido de sus propios proyectos. En este trabajo podrían estar interesadas empresas y personalidades dedicadas al mundo de la composición y ambientación audiovisual, que se han mostrado abiertos a colaborar en el desarrollo de esta investigación en el contexto en el que se enmarca esta tesis.
3. Incrementar el interés social por la ciencia y la tecnología: Este proyecto nace precisamente del incremento del interés social en tecnología, de la búsqueda de la adaptación de la tecnología al usuario (y no al revés), y del interés emergente por la creatividad artificial en un entorno de música popular, que permite generar música en diferentes contextos de forma colaborativa. Lo que consiguen sistemas como el propuesto en este proyecto es facilitar la relación e interacción con la tecnología y por extensión a la ciencia.
4. Experiencia transversal. Este trabajo pretende además complementarse con los estudios que se están cursando actualmente en el Grado en Etnomusicología del Conservatorio Superior de Castilla y León.

1.3 Metodología

Las actividades que configuran la metodología a utilizar se estructuran de acuerdo con el modelo clásico de fase secuencial que comprende:

1. Análisis y evaluación de propuestas publicadas/desarrolladas.
2. Requisitos del sistema.
3. Diseño de la solución.
4. Realización de la solución/prototipo.
5. Integración de la solución en un entorno real, para realizar pruebas.
6. Validación de resultados.

En general, las actividades de las tareas se estructuran de la siguiente manera:

- Fase de análisis y especificación de requisitos.
- Diseño y desarrollo del componente o técnicas requeridas para la satisfacción de los objetivos de la tesis.
- Implementación de los componentes y desarrollo de los experimentos con las técnicas propuestas. Las técnicas y diseños propuestos se validarán mediante casos de estudio. En concreto, el caso de estudio que queremos desarrollar será un sistema creativo que sea capaz de interactuar y adaptarse al comportamiento del ser humano.
- Diseminar los resultados.

Podemos dividir el plan de trabajo en cinco fases principales:

A) Estudio de las fuentes de recopilación para la música popular española

Este trabajo requiere un análisis y posterior tratado de la información relevante de cada grupo de fuentes según su sonoridad y dificultad de ejecución. Las actividades propuestas para esta fase son:

1. Revisión y estudio de diferentes modalidades presentes en la música popular española.
2. Transcripción de las melodías recogidas para su posterior digitalización.
3. Estudio y clasificación de las melodías de acuerdo a su sonoridad.

B) Estudio de medios de representación de configuraciones musicales

Este trabajo requiere la incorporación de mecanismos para traducir una configuración musical tal como una nota, una acorde o una escala a datos numéricos para que una máquina pueda procesarlos. Esto significa que se deben especificar lenguajes para la definición de reglas y motores que sean capaces de interpretarlas en tiempo de ejecución. Las actividades que se desarrollan en esta etapa son:

1. Revisión y estudio de modelos de definición de lenguajes de modo automático.
2. Lenguaje de definición del comportamiento.
3. Diseño y evaluación de un sistema de generación musical basado en el lenguaje que se ha generado.

C) Técnicas para el aprendizaje y la generación musical aplicándolo a la modalidad

La definición de una sociedad donde las nuevas tecnologías están integradas como entidades miembro, requiere de mecanismos que faciliten el aprendizaje de las experiencias humanas para incorporarlos a sus sistemas generadores de música. Las actividades que se desarrollan en esta etapa son:

1. Revisión del estado de la cuestión de las técnicas de aprendizaje que permitan realizar una vinculación entre los estímulos y las respuestas realizadas por los humanos.
2. Definición de los mecanismos necesarios para la generación musical de acuerdo a estas experiencias humanas.
3. Diseño y evaluación de modelos que incorporen diferentes modelos de inteligencia artificial para el procesado de la información que facilite la generación musical.

D) Descripción e implementación de la simulación

Es necesario realizar un estudio detallado de los diferentes modelos de comportamiento humanos para poder llevarlos a cabo en tareas posteriores (simulaciones). A partir de este estudio, se diseñarán sistemas que permitan modelar y especificar los detalles de todos los componentes y módulos que conformen la simulación del sistema propuesto. Las actividades correspondiente a esta fase son las siguientes:

1. Revisión del estado de la cuestión de los modelos cognitivos e identificación de patrones de comportamiento.
2. Identificación y diseño de los componentes necesarios para el modelo de simulación.
3. Evaluación del modelo de simulación.
4. Modelado de un sistema de extracción de información automático y de mecanismos de análisis para mejorar la experiencia musical.

E) Disseminación

La difusión y disseminación seguirá un enfoque de publicación de resultados de la investigación en revistas y libros especializados, presentación de comunicaciones en congresos y workshops especializados, etc. Se realizarán publicaciones en revistas y congresos de impacto en la comunidad científica.

1.4 Estructura de la Tesis

Para probar la hipótesis de partida y alcanzar los objetivos establecidos, se ha estructurado esta memoria en nueve capítulos.

En el Capítulo 2, se lleva a cabo un estudio sobre el estado del arte de trabajos relacionados con la recopilación de fuentes de la música popular, así como la composición automática de música que de alguna forma hagan uso de colaboración entre hombre y máquina.

En el Capítulo 3 se describe el proceso de recopilación de las fuentes, su transcripción y su posterior análisis y clasificación manual para que pueda ser útil para el sistema propuesto.

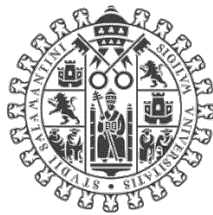
En el Capítulo 4 se presenta la codificación informática de las melodías generadas y su inclusión como corpus de entrenamiento para el sistema. Se abordará también el modelo fundamental de generación de melodías.

Utilizando las propiedades desarrolladas en el Capítulo 4, se ha generado un primer prototipo de sistema que permite la colaboración entre humanos y máquinas para generar una composición musical de acuerdo a la música popular española. Este prototipo se detalla en la Sección 5, y supone la base para que en el Capítulo 6 se describa la integración de mecanismos de aprendizaje, tales como el CBR. Además, el Capítulo 7 presenta una integración de los resultados creados por nuestro sistema y otro sistema generador de letras. Recogiendo todos los resultados principales, el Capítulo 8 describirá los diferentes casos de estudio para validar el sistema propuesto. Por su parte, el Capítulo 9 mostrará las conclusiones alcanzadas a lo largo de la investigación.

Para finalizar, se ha incluido un capítulo en inglés (Capítulo ??) que consiste en un breve resumen del trabajo realizado. Este capítulo se añade con motivo del cumplimiento de la reglamentación para el doctorado internacional.

Capítulo 2

Marco Teórico en Etnomusicología y Musicología Experimental



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

Marco Teórico en Etnomusicología y Musicología Experimental

La música se considera un área de investigación interesante en una variedad de campos de investigación porque se ocupa de una actividad humana que es intelectual y emocional. Es un lenguaje universal muy diferente del lenguaje hablado.

Algunos investigadores en el campo de las telecomunicaciones están interesados en el *software* de música, ya que la música se considera una forma de información y necesitan conocer las características generales de esa información y cómo puede manipularse para conseguir una mayor difusión. Los filósofos están interesados en el *software* musical porque la capacidad de especificar composiciones musicales (es decir, “componer”) a un nivel más alto que nota por nota, les acercaría un paso más para alcanzar una expresión directa de las ideas musicales. Los ingenieros de *software* también encuentran retos formidables en áreas como la composición musical, ya que la simulación de esta actividad compleja requiere experiencia en diseño de algoritmos, sistemas expertos, optimización y otras disciplinas relacionadas.

Existen múltiples técnicas para la composición automática de música. Inicialmente, algunos trabajos intentaron generar música basándose en gramáticas de *Chardwaresky* (Cohen, 1995; Ebcioğlu, 1990). Estas gramáticas podían modelar estructuras musicales a pequeña y gran escala. Derivado de las gramáticas, se comenzó a estudiar la aplicación de los modelos de Markov, unos modelos estadísticos que, utilizando probabilidades, también son capaces de generar una composición musical con un entrenamiento previo (Bown, 2011; Colton & Wiggins, 2012; Marsden, 2000).

Algunos investigadores utilizaron un enfoque totalmente diferente para componer música, empleando algoritmos bio-inspirados y de aprendizaje automático a partir de datos previos o de relaciones matemáticas de las componentes frecuenciales de la música.

Estos métodos abarcan algoritmos genéticos, inmunológicos o redes neuronales (Hoover, Szerlip, & Stanley, 2011; Navarro, Caetano, Bernardes, de Castro, & Corchado, 2015). Todos estos procesos pueden tener ciertas limitaciones si se tratan de forma aislada.

En este capítulo, vamos a realizar una revisión acerca del desarrollo creativo y las herramientas que se han utilizado. Primeramente, abordaremos el concepto de modalidad, y describiremos los rasgos que la caracterizan, diferenciándola de la tonalidad y ubicándola en el contexto popular de transmisión oral. La segunda parte introducirá publicaciones que hayan abordado un análisis y/o clasificación de la música popular de Castilla y León de acuerdo a ciertos criterios que pueden ser armónicos, melódicos, rítmicos, etc. La segunda sección describirá los antecedentes sobre la creatividad computacional. Por último, la tercera sección presenta información general sobre los algoritmos que han sido empleados en la presente tesis para la composición automática de música.

2.1 Recopilación de fuentes

La notación musical ha querido representar una gran parte de la música culta, y es la que ha perdurado en el ámbito académico hasta nuestros días. Del mismo modo, la escritura musical utilizando las nuevas tecnologías también está fundamentalmente centrada en la música académica, dejando fuera del foco de estudio a otros estilos como el repertorio proveniente del ámbito popular.

La música popular de tradición oral (MPTO) engloba todo el repertorio de canciones y piezas instrumentales que se han conservado hasta la actualidad mediante transmisión oral, mayoritariamente en el ámbito rural, aunque también ha ocurrido en un contexto urbano. No obstante, desde finales del siglo XIX una parte representativa del repertorio se ha recogido en documentos denominados cancioneros.

Para la recogida de la música popular se ha tenido que recurrir a diferentes tipos de notación, incluida la notación occidental que hemos visto en el capítulo anterior, con ciertas peculiaridades que se pueden estudiar. Como ocurre ya en el siglo XX con partituras de algunos autores como Stockhausen o Xenakis, las particularidades de las diferentes notaciones de cada autor no sigue ningún estándar general, lo que puede conllevar a confusión si no se tiene una metodología de interpretación. Es fundamental por tanto, que esta metodología sea clara para poder plasmar esta misma representación en una computadora.

No podemos olvidar que existen muchísimas músicas con un carácter completamente particular y diferente del de la música occidental. Estas diferencias se agravan cuando

consideramos la música popular a nivel mundial. Para evitar alargarnos en este estudio, que no es más que una motivación de la representación escrita de la música popular, nos hemos centrado en la música popular española, que es de particular interés para el modelo de generación musical que se presenta en este texto.

En este capítulo, vamos a realizar una revisión acerca de la recopilación y caracterización de la música popular. Primeramente, abordaremos el posible origen de la música popular, ubicándola en el contexto popular de transmisión oral. La segunda parte introducirá la motivación para la creación de un cancionero popular y cómo se ha recogido la música popular para poder analizarla posteriormente.

2.2 Origen y Evolución de la Música Popular de Tradición Oral

Uno de los mayores interrogantes que acuden a la mente de los etnomusicólogos son los orígenes evolutivos de la música popular. Sin embargo, al igual que ocurre con la música académica, no es posible realizar un análisis fiable de la música en épocas primitivas, ya que existen pocas o ninguna prueba del pensamiento musical y cómo se creaban piezas musicales.

A partir de las recopilaciones que se han ido realizando a partir del siglo XIX sobre la música popular española, se han sacado algunas conclusiones fruto del estudio y análisis profundos de sus elementos históricos, textuales y musicales. La mayor parte de la música recopilada en los cancioneros resulta bastante familiar auditivamente hablando. Podemos considerar que los sistemas modales que aparecen de forma reiterativa en los cancioneros pueden ser supervivencias medievales, aunque su sonoridad está a menudo muy cerca de la tonalidad. Por otro lado, el texto se organiza en su gran mayoría en cuartetos octosilábicos y seguidillas que además condicionan la estructura rítmica de las piezas populares. Estas fórmulas textuales no tienen una gran antigüedad, remontándonos a la época renacentista. Aunque pueden existir ciertos elementos que pueden considerarse hipotéticamente como milenarios, estos están sin duda mezclados con elementos muy próximos a la época moderna. Por tanto, podemos estar ante una cultura musical ciertamente reciente, de unos pocos siglos de antigüedad. En otras palabras, en los cancioneros populares aparecen una serie de elementos que forman parte de una herencia común, sin embargo, esta herencia se ha enriquecido y diversificado con nuevas aportaciones que dan singularidad a las piezas populares.

De este modo, el intento de búsqueda acerca de los orígenes de la música popular requiere de cierta modestia, puesto que los datos documentales disponibles no permiten ir más

allá de seis siglos, e incluso así, nos solemos mover en el terreno de la hipótesis, ya que la música no comenzó a recogerse hasta casi el siglo XX, con lo que ha podido sufrir modificaciones y una evolución para adaptarse a las necesidades musicales de cada época.

A mediados del siglo XX, algunos estudiosos musicólogos se interesaron en rastrear los orígenes de una parte de las tonadas populares, buscando similitudes entre estas y melodías de épocas anteriores. Uno de ellos fue Pedrell, el cual, influenciado por el pensamiento nacionalista, afirmó que la raíz popular estaba fundamentada en el trabajo creativo de los músicos españoles.

Esta búsqueda de las raíces populares contagió a otros investigadores como Anglés, que afirmaba que había encontrado raíces populares en las *Cantigas de Alfonso X el Sabio*, o en el *Cancionero de Palacio*; o como García Matos, que buscaba raíces populares en la obra de Salinas *De musica libri septem*. D. Preciado también afirmó haber encontrado estas raíces en obras polifónicas del Renacimiento español (Matos, 1963; Preciado, 1987; Schneider, 1953). No obstante, los resultados de estos estudios no son nada concluyentes, y desde un punto de vista científico carecen de la rigurosidad necesaria a la hora de comparar los rasgos musicales de las piezas.

Para analizar y sacar posibles conclusiones acerca de los orígenes de la música popular, es necesario enfrentarse al material recopilado en los cancioneros y otros documentos desde un punto de vista científico. A pesar de ello, hay que tener en cuenta que en el campo de la etnomusicología, los documentos escritos y otras fuentes que proporcionan datos acerca de la música popular son de muy reciente creación, no existe casi documentación acerca de este tipo de música más allá del siglo XIX. Esto significa que gran parte del repertorio ha pervivido en la memoria de los intérpretes y las sociedades tanto urbanas como rurales. La música popular ha sido transmitida a través de la oralidad, y, debido a ello, ha podido sufrir todo tipo de cambios y variaciones entre generaciones. Por tanto, la certeza de las conclusiones sobre la antigüedad de las melodías no debe basarse en el estudio documental de las fuentes, que son escasas y recientes, sino que hay que buscarla por un método de musicología comparada (Manzano Alonso, 2001).

Esta comparativa puede establecerse de tres maneras diferentes. Por un lado, es importante analizar las diferencias entre variantes de una misma pieza musical, ya que pueden mostrar, incluso cuando se hayan recogido en la misma época, diferencias musicales importantes que permitan sacar ciertas conclusiones. Por otra parte, las piezas populares pueden compartir ciertas características con la música que aquí denominamos “cultura”. Por tanto, comparar algunos rasgos puede darnos una idea de la antigüedad de las mismas. Por último, analizar las diferencias que hay entre músicas de otras culturas musicales también nos puede ayudar a establecer un lugar y una época para una pieza musical.

Refiriéndonos concretamente a la música de tradición oral, el análisis comparativo entre los diversos repertorios de este ámbito geográfico y el cotejo con la música de autor escrita revela múltiples semejanzas básicas, pero también una serie de diferencias notables entre ambos. Las semejanzas aparecen si se comparan los repertorios tradicionales con las primeras músicas de autor (anónimo o conocido) que nos han llegado transcritas en un sistema de escritura todavía incipiente, inventado para el canto gregoriano y empleado también para las canciones de trovadores, juglares, goliardos y músicos itinerantes. Hay semejanzas y parentescos muy cercanos en las formas de organizar los sonidos para inventar melodías, en las estructuras de desarrollo melódico condicionadas por textos poéticos, en algunos esquemas rítmicos, en la alternancia de estrofas cantadas a solo y coreadas por los oyentes con frases cortas y repetidas, y en la sonoridad que resulta de todos estos elementos juntos. Sonoridad que demuestra que la canción popular tradicional europea tuvo que beber en sus orígenes en fuentes de música de autores más o menos profesionales. Aunque hay que tener también en cuenta que los estudiosos de esas músicas tardomedievales afirman que algunos de estos elementos fueron tomados muy probablemente de la música popular tradicional, que sirvió a los músicos de entonces para la creación de nuevas formas de cantar. Y entre los agentes transmisores de esos trasvases de lo “culto” a lo popular y viceversa hay que situar muy probablemente a los juglares, cuya vida y actividad profesional, muy cercana a la clase plebeya medieval, urbana (suburbana, mejor,) o rural, está muy documentada, aunque únicamente en referencias extramusicales (Díaz Viana & Manzano Alonso, 1989; Manzano Alonso, 2001).

Esta comparativa nos permite afirmar que existen una serie de elementos que podemos calificar de un modo general como antiguos, ya que, aunque en la música popular aparecen, en la música de autor llevan sin utilizarse de ese modo desde hace más de 500 años. Destacamos los siguientes elementos fundamentales:

- Sistemas melódicos modales.
- Ámbito de desarrollo melódico estrecho (de no más de una octava en casi ningún caso, normalmente entre la quinta y la sexta).
- Notas inestables o cromatizadas que no siguen la normativa de la música académica.
- Armonía totalmente fuera del espacio cadencial.
- Ritmo prosódico o bien ritmo muy regular en caso de bailes.

Los análisis realizados por diversos autores (Díaz Viana & Manzano Alonso, 1989; Manzano Alonso & Barja, 1993; Matos, 1944; Olmeda, 1975) revelan que, aunque en

En sus inicios la música popular tuvo ciertas inspiraciones en la música culta, lo cierto es que estas características se quedaron estancadas y sufrieron una evolución muy distinta a la música académica, de la que apenas recibió influencias en los últimos siglos.

En conclusión, es posible afirmar que existen una serie de elementos musicales de cierta Antigüedad, que, en sus inicios, la música culta también empleó pero que ha abandonado (o ha evolucionado) hacia otros estilos desde hace ya varios siglos. Es más, el estilo que influye a la música popular está basado en recursos que podemos denominar arcaicos, aun cuando la pieza musical se haya creado hace algunas décadas, lo que dificulta aún más la asignación de una época y un espacio determinado a las melodías de la música popular.

2.3 La memoria como almacenamiento de la música

Hasta que se concibieron los primeros cancioneros tradicionales, la mayor parte de las piezas musicales se encontraba únicamente en la memoria de los intérpretes y los instrumentistas. Por tanto, esta memoria era el único lugar donde se almacenaba o se inventaban las canciones tradicionales que han llegado hasta nuestros días.

Como ya podemos imaginar, este sistema de transmisión y almacenamiento tiene un problema fundamental: el factor del olvido. A diferencia de la transmisión escrita, que es inamovible e intenta reproducir las piezas lo más fielmente posible, la música en la memoria sufre cambios y transformaciones de los elementos. Estos cambios pueden venir por un cambio de palabras si no recuerdas los textos que acompañan a la melodía, o por adiciones de elementos musicales nuevos, incluso de forma inconsciente. El intérprete se vuelve por tanto pieza clave para la transmisión del conocimiento musical de forma intacta. Si el intérprete no recuerda bien algún fragmento, probablemente improvise sobre la marcha, y ello influenciará al resto de la sociedad. Además, puede pasar también que haya intérpretes con cierto talento o con mucho estudio que es capaz de inventar una nueva melodía. Este nuevo invento lleva todos los rasgos sonoros del estilo conocido, y puede pasar también a engrosar la herencia musical del colectivo al que ese cantor pertenece, pues los demás lo aceptan como algo propio, porque se reconocen en ese nuevo producto musical (Manzano Alonso, 2001).

Intuitivamente, entendemos que no todos compartimos las mismas capacidades tanto musicales como memorísticas. Así pues, no todos los intérpretes son capaces de transmitir el contenido musical que ellos conocen con la misma fidelidad. No obstante, a diferencia que en la música culta, no es de vital importancia que en música popular se reproduzca fielmente la pieza musical, ya que la tradición está en constante cambio

debido a la influencia del contexto externo. Precisamente la capacidad de inventiva e improvisación en el entorno popular han sido factores determinantes para el aumento de repertorio popular.

Hasta ahora, hemos hablado del factor de la memoria como algo individual que solo afecta a los intérpretes o como mucho, a algún oyente con alguna capacidad musical. Sin embargo, lo cierto es que la sociedad en donde se ejecutan las piezas populares juegan un papel clave para la transmisión y preservación de este repertorio. En esta sociedad no solo se incluyen a los propios músicos, sino al denominado “pueblo” en general, refiriéndonos a todos los participantes activos y pasivos de la tradición en la que se enmarca una pieza musical.

Gracias a esta particularidad se han preservado costumbres muy arraigadas desde hace siglos, costumbres que han sufrido muy poca modificación. Un ejemplo podría ser la música de ciertos ritos de especial importancia en un contexto determinado, como por ejemplo, los bailes para celebrar la fiesta del patrono de la ciudad. Otro ejemplo mucho más claro son los cantos religiosos de los oficios, que, a pesar de no estar escritos, el pueblo los entona casi sin ninguna variabilidad.

Estos hechos plantean que, a pesar de la variabilidad que puede existir en el repertorio popular, las piezas de tradición oral contienen una serie de elementos comunes gracias a esta suerte de memoria global que actúa especialmente en eventos colectivos y de alguna forma, es capaz de corregir algunas de las desviaciones que pueden suceder al intentar cambiar una melodía que la tradición considera como inalterable.

A pesar de este hecho, la memoria sigue teniendo su limitación. La primera tiene que ver con la duración de la pieza musical. A diferencia de la música culta, donde el músico puede crear una obra de grandes dimensiones tanto en duración como en amplitud sonora, en la música tradicional no es posible crear una obra de grandes dimensiones y pretender que sea perdurable en el tiempo. La razón es simple, la memoria no es capaz de retener una gran cantidad de elementos y, mientras que en la música culta puedes ayudarte siempre del soporte escrito para desarrollar sus ideas, en la música popular esta herramienta no existe. Por tanto, en la música popular solo se pueden inventar formas muy breves sobre el soporte de un texto poético también breve o, si no lo es, fácil de recordar.

En la memoria también existe otra limitación, esta vez en cuanto al número de tonadas que una persona puede retener de forma clara. De acuerdo a algunas investigaciones, el número de tonadas que pueden retener los intérpretes, y eso contando con que tienen buena capacidad de memoria, se encuentra en torno a las 50 piezas, a pesar de que alguna de ellas pueden cantarlas con el texto escrito y por tanto solo tienen que recordar

los aspectos musicales (Manzano Alonso, 2001; Manzano Alonso & Barja, 1993). De aquí se deduce que, para extraer información es necesario recurrir a un gran número de intérpretes o informantes que puedan recordar diferentes tonadas que nos ayuden a aumentar nuestro repertorio desde un punto de vista objetivo.

Estas limitaciones de la memoria provocan que en determinadas ocasiones y a lo largo del tiempo, ocurran una serie de cambios en las piezas populares. Estos cambios pueden ser de tres tipos:

- **Cambios por variación:** Son modificaciones en el trazado melódico, que suelen deberse a modificaciones para dar un estilo propio (cuando algún intérprete quiere dejar su sello personal) o a “fallos” en la retención memorística de esta melodía. Este tipo de cambios son muy comunes, sobre todo en intérpretes solistas con conocimientos del repertorio popular.
- **Cambios por préstamo:** Son modificaciones melódicas a partir de la incorporación de recursos de otras culturas o entornos musicales. Esta modificación también se da de forma frecuente, ya que ningún entorno está aislado del resto, y siempre existen influencia entre colectivos diferentes, bien por intercambio de ideas, bien por asentamientos de diferentes pueblos a lo largo de la historia, que han dejado su legado.
- **Cambios por sustitución:** Estos cambios se dan cuando hay una música o un fragmento musical que se cambia por otro que se considera más nueva, bien porque se aprende de otro colectivo, o bien por adaptarnos a una nueva moda o a un cambio social. Estos cambios sociales son fundamentales para marcar una pauta en la música popular, que se rige muchas veces por eventos como la época de siega o de sembrado. Si estas costumbres cambiaban por cualquier motivo, probablemente muchas de las tonadas que se cantaban dejaban de estar en vigor y se sustituían por otras nuevas que reflejaran el nuevo evento social. Uno de los cambios que provocó también sustituciones de obras, fue la introducción de la música culta en el ámbito rural a partir del siglo XIX. En esta época, comenzaron a abundar los músicos itinerantes, ciegos y copleros, que recorrían diferentes puntos de la geografía rural cantando un nuevo repertorio diferente al tradicional y basado en música culta. También, comenzó el fenómeno de migración a los núcleos urbanos para buscar nuevos trabajos, lo cual provocó un contagio de las músicas urbanas a los núcleos rurales.
- **Cambios por transformación:** Estas modificaciones afectan a la raíz musical de las piezas populares, y que en parte vienen provocada por los factores sociales que hemos mencionado. En concreto, se trata de incorporar nuevos rasgos musicales,

entre los que destacamos el uso de la tonalidad y el abandono de la modalidad. Este proceso evolutivo tampoco se puede analizar en rigor diacrónico, porque no disponemos para ello de datos documentales.

2.4 Los cancioneros

Todos estos factores que hemos comentado anteriormente hacen que la recopilación y organización de fuentes en un cancionero se vuelva muy complicado, y que al final, los cancioneros se conviertan en conglomerados de piezas musicales. Pueden aparecer piezas con ciertos elementos que podemos considerar como arcaicos, así como piezas más evolucionadas con evidentes rasgos tonales. Podemos encontrar también piezas con evidentes influencias foráneas, gregorianas, medievales o copleras; piezas con una gran calidad musical o música con rasgos rítmicos característicos. Todo este conjunto debe ser recreado y organizado lo mejor posible para servir como reflejo fiel de la memoria del entorno popular.

Aplicando la metodología comparativa, podemos encontrar diferentes obras de muy diferentes estilos, pasando de melodías arcaicas a tonadas más modernas. Por una parte, tenemos estructuras muy antiguas como las protomelodías, los motivos repetitivos, las salmodias en las que existe un solista y un grupo que responde a este intérprete, los elementos de afinación neutra, los ritmos irregulares o incluso prosódicos etc. Siempre que en una canción o toque instrumental aparece alguno de estos elementos, se puede pensar en supervivencias de prácticas musicales más o menos remotas, tal como las podemos escuchar en documentos sonoros y videográficos recogidos a los pueblos denominados primitivos. Supervivencias, bien entendido, que pueden coexistir en una misma tonada con elementos mucho más recientes (Manzano Alonso, 2001).

Más recientes, pero también mucho más abundantes, son las referencias a elementos latinos y medievales, que comprenden recursos también propios de la música culta de esa época. Algunos ejemplos son el empleo de esquemas rítmicos, las mensuras poéticas octosílabas y heptasílabas, estructuras que aparecen en la mayor parte de los cantos narrativos antiguos, la creación de estrofas o la aparición de la modalidad en las piezas musicales; o los compases de dos, tres, y cuatro tiempos, elemento rítmico tomado probablemente de la música culta.

Como hemos comentado anteriormente, a partir de la segunda mitad del siglo XIX el repertorio tradicional comienza a transformar su sonoridad, ya que se producen cambios sociales que permiten la influencia de otras músicas de estilos diferentes. Se contagian de formas como la copla o nuevos romances, algunos cánticos religiosos, tonadillas, etc.

Vale la pena mencionar la influencia del cante flamenco y la zarzuela, que por sus raíces españolas han tenido una especial aceptación entre el entorno popular, e imitado con gran frecuencia, asumiendo estos cambios como propios.

Finalmente, a partir del siglo XX se produce una progresiva decadencia de la tradición oral como consecuencia de los cambios sociales, sobre todo la migración, que han afectado al entorno rural. A medida que este proceso se hacía más patente, algunos expertos expresan su preocupación y se pone en marcha un movimiento de recopilación para crear cancioneros tradicionales, para intentar salvar el patrimonio inmaterial que todavía no se ha perdido.

Así pues, una de las razones principales que motivan a los autores para crear un cancionero es precisamente conservar las tradiciones musicales que se encuentran ahora mismo en peligro de extinción. Una gran parte de los autores de los cancioneros se refieren a este motivo como la razón principal para embarcarse en este trabajo tan arduo de recopilación, clasificación y ordenación de piezas musicales.

Otra de las motivaciones a las que se suele aludir en los textos es la contribución a la generación del arte nacional, recopilando materiales musicales de raíz tradicional, útil para los compositores de otras músicas. Por último, algunos autores también quieren evitar la transformación que las sonoridades de la música tradicional han experimentado como consecuencia de la invasión de nuevos estilos procedentes de otros lugares. A continuación, evaluaremos estas tres motivaciones para estudiar la utilidad de las nuevas recopilaciones.

Si bien es cierto que los cancioneros pretenden preservar la tradición oral, estos no han impedido que se hayan perdido en la práctica muchas de las tonadas que se han recogido. Las tonadas todavía en vigor pertenecen por tanto a ritos y a eventos tradicionales que siguen arraigados en la sociedad, lo que ayuda a su conservación. Por tanto, el cancionero en este caso tampoco es útil, ya que no es necesario utilizarlo para recordar estas piezas musicales.

Sin embargo, hay que destacar que los cancioneros no se escriben nunca pensando en los intérpretes, ni siquiera en los descendientes o herederos de esta tradición. Los cancioneros van dedicados a los expertos musicólogos o a músicos, normalmente alejados de la tradición en concreto que se recopila, como un medio de acercamiento a la música popular. Así pues, los cancioneros efectivamente conservan la tradición oral, pero no en la práctica, sino por escrito. Podríamos asimilarlo a una fotografía de una época y una localización geográfica en concreto. Este peligro de desaparición ha sido uno de los principales motivos que han impulsado a los recopiladores a trabajar para que se conservara por escrito lo que se veía próximo a desaparecer. Desgraciadamente, los

expertos de siglos anteriores no sintieron un interés por la música popular, por tanto, nos es muy difícil extraer algún conocimiento de la música tradicional popular, y extrapolarlo luego a sentimientos costumbres o espiritualidad.

Sin embargo, los cancioneros permiten que la música pueda ser interpretada o cantada por personas que sepan leer música, que no tienen que ser estrictamente profesionales de la misma, y que son capaces de transmitir las tradiciones populares de una forma muy diferente a como se estaba haciendo hasta ahora. Los cancioneros ofrecen la posibilidad de repetir y enseñar un repertorio popular en otros contextos y a otra sociedad. Además, con ellos se puede realizar una selección del contenido, escogiendo para cantar o para publicar en una antología las músicas que una persona elige, con un criterio muy personal o para una finalidad muy concreta (Manzano Alonso & Barja, 1993).

Los cancioneros, sobre todo a principios del siglo XX, buscaban ser obras de referencia e inspiración para que los compositores extrajeran ideas musicales basadas en la tradición popular. Desgraciadamente, y basándonos en el repertorio de todo el siglo XX compuesto por músicos españoles, podemos afirmar que, si bien hay ejemplos de varios compositores que emplean las raíces populares en sus obras, muy pocos han llevado sus creaciones fuera del país para darlas a conocer y así transmitir la tradición oral de la Península.

A pesar de la búsqueda del arte popular por pensadores nacionalistas que poblaban esta época, como Felipe Pedrell y todos sus discípulos, esta idea no se vio reflejada en la producción musical, salvo en contadas ocasiones como en el caso de Manuel de Falla. La mayor parte de los compositores no son conocidos más allá de un reducido ámbito geográfico, o si acaso en algunas capitales y grandes capitales. Por ejemplo, el compositor Alejandro Yagüe basó parte de su repertorio coral en tonadas populares de la región de Burgos. Sus obras han sido interpretadas en diferentes puntos de España de forma intermitente, pero no ha alcanzado suficiente influencia como para traspasar las fronteras.

A la falta de recepción por parte del público, podemos añadir dos factores determinantes que agravarían la situación. Por un lado, aunque un compositor necesita pocos temas tradicionales, porque a partir de una tonada se pueden realizar grandes desarrollos, el poco conocimiento que tienen del repertorio y el desprecio que algunos sienten por el mismo, dificulta la transmisión de la tradición popular a obras de mayor envergadura. Esto a su vez provoca que los compositores, cuando se ven obligados a trabajar con repertorio popular, eligen repertorio estereotipado de algunas tonadas de la música tradicional como las jotas o el fandango.

Aunque es cierto que muchos compositores han obviado la construcción de estos cancioneros como fuente de inspiración para sus piezas musicales, a partir de la música

popular tradicional se pueden escribir obras con resonancia universal y con lenguaje musical vanguardista. Compositores como Falla o Bela Bartok así lo han demostrado con otro tipo de repertorios tradicionales. Por tanto, podemos afirmar que la falta de resonancia universal de una obra no es consecuencia del tema tradicional, sino de las facultades o deseos del compositor.

La última motivación mencionada es la creación del arte nacional. Uno de los objetivos de un cancionero, sobre todo en determinadas zonas, es demostrar la riqueza de la tradición musical a través de la recopilación de las diferentes músicas que suenan en un ámbito geográfico. Con frecuencia, nos enfrentamos al desconocimiento y a los prejuicios acerca de las tradiciones de diferentes regiones geográficas. Asimismo, buscamos desmentir los tópicos que a menudo han rodeado a la música popular española, que normalmente se vende como el folklore musical, sobre todo de Andalucía, de forma muy estereotipada y sin referencias a la música popular de raíces, recogida en los diferentes cancioneros.

A través de los cancioneros se pretende guardar la tradición musical en su forma auténtica, intentando evitar la contaminación de otros estilos que están sustituyendo este tipo de tradiciones musicales. No obstante, no se consiguió paliar este contagio, como ya hemos visto anteriormente. A pesar de ello, los cancioneros nos permiten reproducir elementos musicales y revivir las costumbres tradicionales de todo un pueblo en un momento determinado. La interpretación de estas tonadas fuera del contexto donde fueron concebidas hace que estas músicas pierdan su funcionalidad y se conviertan en un espectáculo musical. Esta representación puede tener lugar en un teatro con un público que simplemente revive sus experiencias o reacciona emocionalmente al identificarse con ello, pero sin participar en la tradición.

Este fenómeno, denominado refofklorización, se da en muchos puntos de la Península a través de diferentes iniciativas. Una de las primeras, ya desde los tiempos de la Institución Libre de Enseñanza, fue recoger muestras de cultura popular tradicional, principalmente canciones, a fin de darlas a conocer a los profesionales de la enseñanza y la cultura, a los intelectuales, a los artistas, para que contribuyesen a su formación completa. Se pensaba entonces que la cultura popular podía aportar mucho a la formación de estos profesionales, y que era conveniente ponerlos en contacto con ella. En el fondo de este empeño había una actitud de respeto, de curiosidad, de admiración a veces, que fue muy provechosa para la formación de toda una generación de intelectuales. En ella colaboraron, en el seno de la propia Institución y a partir de la Residencia de Estudiantes, investigadores y músicos como Ramón Menéndez Pidal, José Ontañón y Eduardo Martínez Torner, que proporcionaron un fondo de músicas y textos recogidos directamente de la tradición popular, aprendidos y difundidos después entre todo el

alumnado de la Institución, en consideración del valor pedagógico que entendían que tenía para ellos mismos, así como para las Misiones Pedagógicas de la propia Institución (González & Martín, 1996).

Los cancioneros de música tradicional han resultado de especial utilidad para la formación musical en este campo a través de compositores, directores de orquesta o de coro, y otros profesionales a muy diferentes niveles de enseñanza. Todos han pretendido evitar la desaparición de la música popular, transmitiéndola a otros individuos como recuerdo y símbolo de nuestras raíces pasadas. El conocimiento de la música popular tradicional sólo puede reportar beneficios para la formación de un profesional de la música, sobre todo si se prepara para ser pedagogo, compositor o musicólogo. Los cancioneros son una herramienta fundamental, aparte de su valor documental, histórico y etnomusicológico, para la pervivencia de un repertorio de cantos tradicionales de cada tierra.

Una gran parte del repertorio ha pervivido a lo largo de los siglos a través de la transmisión oral. Por tanto, aunque podemos investigar acerca de los orígenes iniciales de este tipo de música, las conclusiones que podemos extraer siempre se manejarán en el contexto de la hipótesis, ya que no existen pruebas escritas que documenten fielmente los cambios y la evolución que ha sufrido esta música.

Actualmente, la música popular tradicional está en un momento decadente dentro de la sociedad actual. Esto es fácilmente constatable al comprobar la edad avanzada de los intérpretes de las piezas musicales, la pérdida progresiva de algunas tradiciones con la consecuente pérdida de las tonadas musicales, y la despoblación de los entornos rurales donde se conservaban este tipo de repertorios. Ya en el siglo XX se comienza a apreciar este hecho, lo que suscita una preocupación entre los expertos y provoca la creación de los primeros cancioneros.

Los cancioneros son una colección de archivos musicales que contienen una recopilación de música tradicional de diferentes contextos geográficos y temporales. Muchas de estas piezas musicales ya se han perdido en los propios entornos rurales donde fueron concebidos. Ahí radica la importancia de los cancioneros, como conservador de la tradición de una sociedad.

Otra de las motivaciones de la creación de diferentes cancioneros es ser de utilidad para otros compositores como inspiración de obras basadas en las tonadas tradicionales. A pesar de no haber calado en la sociedad, esta idea es de especial utilidad para la elaboración de este texto. El prototipo que aquí se presenta tiene por tanto estos dos objetivos. Por un lado, el sistema se entrena a partir de una recopilación de la música tradicional popular, con lo cual, de alguna forma los cancioneros utilizados sirven como

fuente de inspiración en este paradigma tecnológico. Por otro, las melodías que se generan están inspiradas en las piezas tradicionales con las que ha sido entrenadas. Al estar ideado como una herramienta de colaboración entre hombre y máquina donde se pretende de alguna manera, enseñar al usuario generar melodías al estilo popular, la labor formadora de este trabajo permite transmitir un nuevo repertorio basado en las tradiciones populares de la Península, y por tanto de alguna forma, intentar preservarlo a través de la memoria de los usuarios del sistema.

2.4.1 Recopilaciones en el territorio de Castilla y León

Existe un gran número de recopilaciones de música popular a lo largo del territorio nacional, con diferentes criterios y de diferente magnitud. No obstante, y puesto que nuestro objetivo es el estudio de la música popular en Castilla y León, en este espacio recogeremos un breve resumen de los cancioneros principales que han estudiado la música popular en la región, para luego, en el Capítulo 5, analizar el que nos ha servido de inspiración y como base de conocimiento para la construcción de nuestro sistema.

Los ordenaremos por orden de confección para realizar el comentario.

2.4.1.1 *Cancionero Popular de Burgos*, de Federico Olmeda

El cancionero de Olmeda (1902)¹ es una recopilación de canciones populares en la región de Burgos. Este documento es el más importante de su tiempo en cuanto a número de documentos recogidos. Olmeda fue el primer músico que abordó el trabajo de recopilación y transcripción de música de tradición oral mediante un análisis sistemático de las piezas. Olmeda recorre los pueblos de la región para recoger las canciones directamente de los intérpretes. Además, es la primera obra de recopilación de música tradicional en la que los materiales recogidos son clasificados y ordenados conforme a un criterio sistemático, que combina aspectos etnográficos y los musicales. La abundancia de los documentos recopilados por Olmeda le obligó a disponerlos en secciones y a ordenarlos según la naturaleza musical de los mismos.

El *Cancionero Popular de Burgos* es un trabajo pionero de la Etnomusicología. Las anotaciones que Olmeda hace a propósito del material recogido en su obra dan una información muy valiosa para la investigación del campo.

Finalmente, la obra de Olmeda es un trabajo fundamental para el conocimiento de tradición musical de Castilla. El *Cancionero Popular de Burgos* demostró que la música

¹Disponible en https://bibliotecadigital.jcyl.es/es/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=10066466

popular tradicional no era un patrimonio exclusivo de ciertas tierras periféricas de España, sino de todas las regiones.

2.4.1.2 *Cancionero Salmantino, Dámaso Ledesma*

En 1906, se publicaba una primera edición del *Cancionero Salmantino*², recopilado y editado por Dámaso Ledesma. A partir de 1907, hubo una gran difusión de esta obra, que dio a Salamanca el renombre de tierra poseedora de una tradición muy rica en sonoridades y en variedad de géneros, y tipos de canto populares que acompañaban a eventos tradicionales como el trabajo, bailes, danzas, diversiones o entretenimientos. Además, Ledesma deja referencia, en la mayor parte de las tonadas, de los nombres y apellidos de las personas que le dictaron las canciones, así como de los lugares en que las recogió, con mucho más detalle que el propio Olmeda.

2.4.1.3 *El Folklore Leonés, Manuel Fernández Núñez*

Manuel Fernández Núñez, músico con amplia formación, se interesó por la región leonesa para recopilar canciones populares. Fruto de este trabajo fueron dos de sus obras: *Cantos populares leoneses* (1909), *Folklore bañezano* (1914), que posteriormente fueron agrupadas y ampliadas por *Folklore Leonés* (1931)³.

Junto con la obra de Venancio Blanco, la obra de Fernández Núñez es, sin lugar a dudas, la contribución más importante, en su tiempo, al conocimiento de la música popular leonesa, tanto por el número de tonadas como por la cuidadosa selección de las mismas. Se recopilan un total de 144 canciones representativas de casi todos los géneros de la canción popular y de las que acompañan la mayor parte de las costumbres de la vida rural en las primeras décadas del siglo XX.

2.4.1.4 *Cancionero Segoviano, Agapito Marazuela*

Agapito Marazuela realizó una recopilación de piezas populares en el *Cancionero de Castilla la Vieja*⁴, material recogido directamente de cantores populares desde las primeras décadas del siglo XX. Por motivos políticos y sociales, su obra no pudo publicarse hasta 1964, bajo el título de *Cancionero Segoviano*.

²Disponible en https://bibliotecadigital.jcyl.es/es/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=10067419

³Disponible en http://bibliotecadigital.jcyl.es/es/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=10072547

⁴Disponible en <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM000042.pdf>

Estamos, sin duda alguna, ante otra de las obras de recopilación sistemática más relevantes de las tierras de Castilla y León. Al igual que las obras de Olmeda y Ledesma, este cancionero recoge la tradición musical de las tierras segovianas directamente de los intérpretes. La mayor parte de los 337 documentos que acoge en sus páginas están documentados con la referencia del lugar en que fueron recogidas y en muchos casos, con el nombre del intérprete. El contenido está ordenado en secciones a partir de la funcionalidad de las músicas recogidas.

Estos cuatro recopiladores que hemos nombrado, conocían perfectamente, por ser muy cercanos, el contexto vital y funcional de las canciones que recogieron y también el significado y el valor de los ritos y costumbres de las que formaban parte integrante. Por esta causa no daban a veces demasiados datos sobre lo que todo el mundo conocía, practicaba y vivía a diario.

2.4.1.5 *Colección de Cantos Populares Burgaleses, Antonio José Martínez Palacios*

A pesar de la importancia y el interés musical de este nuevo trabajo en la región de Burgos, tampoco pudo publicarse por entonces, hasta el año 1980. La obra contiene 198 tonadas pertenecientes a casi todos los géneros de la canción tradicional, alguna de las cuales todavía se siguen interpretando como se recogieron entonces. Antonio José, que admiraba y conocía de memoria de la tradición popular, la utilizó como material temático para muchas de sus composiciones la obra de Olmeda.

2.4.1.6 *Recopilaciones por Kurt Schindler*

El trabajo de recopilación realizado por Kurt Schindler, compositor de origen alemán, ha sido de gran importancia para la tradición popular en la región de Castilla y León. Su labor como compositor y director coral en Nueva York le impulsó a viajar para buscar músicas populares con el fin de renovar su repertorio coral. Como resultado, transcribió 985 documentos musicales que se recogieron en un manuscrito conservado en el Hispanic Institute de Nueva York, editado en 1941 por el propio Instituto.

La obra se editó en 1991 en España con el título *Música y Poesía popular de España y Portugal*. Kurt Schindler se dedicó con especial interés a recoger las músicas tradicionales españolas del interior de la Península porque, según él, en ellas encontraría, los temas musicales más valiosos por sus sonoridades arcaicas. En Castilla y León, el resultado de su ingente trabajo de recopilación y transcripción, es una amplia colección de canciones

y toques instrumentales recogidos en Ávila (172), Burgos (11), León (37), Salamanca (24), Segovia (23), Soria (359) y Zamora (15).

Cabe destacar meticulosidad y fidelidad de sus transcripciones musicales, el empeño de recoger las melodías íntegramente, con su melodía y texto. Si a ello añadimos el valor documental (Schindler anota siempre el lugar y el intérprete donde fueron recogidas las piezas). Para algunas provincias como Ávila y Soria, esta obra ha sido fundamental para dar conocer a fondo la tradición musical, sobre todo en estas regiones.

2.4.1.7 *El Nuevo Cancionero Salmantino, Aníbal Sánchez Fraile*

Publicado en el año 1943 y recogido desde unos años antes, este cancionero recoge también la canción salmantina en una época temprana, cuando todavía no había comenzado a experimentar ni debilitación ni tampoco el proceso de “abandono” que la música popular tradicional comenzó a sufrir a partir de la segunda mitad del siglo XX. La obra recoge un total de 259 documentos entre los que están muchos de los más representativos de la tradición salmantina.

Este cancionero busca continuar y completar, sin repetir, la obra recopiladora de Ledesma, como muestra ampliada de la riqueza de la tradición salmantina. En él se edita y transcribe el texto completo de las tonadas recogidas. Además, incluye una antología de las 45 canciones salmantinas que abren la obra y que Sánchez Fraile presenta con un acompañamiento pianístico.

2.4.1.8 *Las Páginas Inéditas del Cancionero de Salamanca, Aníbal Sánchez Fraile y Manuel García Matos*

Este documento recoge el fruto de los trabajos o misiones encargadas por la sección del folklore del Instituto de Musicología (actualmente, Institución Milá y Fontanals, CSIC) y llevadas a cabo por los autores entre los años 1944 y 1950. El fondo publicado en esta obra, un total de 497 documentos fue editado en 1995.

La obra recoge materiales nuevos casi en su totalidad, por lo que sitúa la tierra salmantina la cabeza, por aquel entonces, de todas las provincias de Castilla y León en cuanto a cantidad de documentos recogidos, y por el especial hincapié que hacen en algunos elementos musicales de Salamanca como la charrada, el tamboril o la flauta de tres agujeros.

2.4.1.9 *Catálogo Folklórico de Valladolid, Joaquín Díaz, José Delfín Val y Díaz Viana*

Esta obra se trata de una amplia antología de romances tradicionales que comenzaron a publicarse a partir de 1978, hasta 1982, en la provincia de Valladolid. Está compuesto por cinco volúmenes que contiene 100 temas narrativos, con transcripciones musicales realizadas por Joaquín Díaz de versiones y variantes de 39 de ellos.

Aparte de su valor de amplia recopilación de textos recogidos de la tradición oral, el catálogo folklórico es una obra imprescindible para conocer la tradición oral musical de las tierras de Valladolid, por la sencilla razón de que las 244 transcripciones musicales que contiene son, salvo algún documento aislado, la única fuente documental de que podemos disponer para conocerla.

2.4.1.10 *Cancionero de Folklore Zamorano, Miguel Manzano*

Esta obra recoge la tradición popular musical zamorana cuando todavía estaba viva en su mayor parte, sobre todo en las comarcas occidentales de la provincia. La facilidad en las comunicaciones, la utilización de las grabaciones fonográficas, la numerosa agenda de encuentros de que Miguel Manzano disponía en el ámbito rural y la ayuda de otros colaboradores, contribuyeron a que se pudiese llevar a cabo la recogida, transcripción, autografía musical, clasificación, ordenación y edición de los 1085 documentos musicales que contiene esta obra, que impulsó a Zamora a la cabeza de todas las provincias que forman parte de nuestra región.

2.4.1.11 *Cancionero Leones, Miguel Manzano*

Este cancionero alcanza la cifra de 2.162 documentos recopilados en la región de León, y es el primero en el cual el autor redacta y aplica una metodología de clasificación, ordenación y análisis musical que marca la pauta a seguir para crear el cancionero. El descubrimiento y la formulación de esas constantes ayuda a quienes quieran conocer y estudiar a fondo la tradición musical popular, a guiarse por los hechos musicales para entenderlas a partir de lo que revelan los elementos que componen las tonadas.

Aunque las introducciones teóricas de la obra van destinadas preferentemente a investigadores de la música popular, el *Cancionero Leonés* viene respondiendo durante más de dos décadas a muchos intereses por parte de muy diferentes tipos de lectores para recopilar la tradición popular musical en esta región.

2.4.1.12 *Cancionero Popular de Prioro: Canciones Danzas y Romances del Alto Cea, Marcelino Díez Martínez*

Este cancionero recoge la totalidad de los 211 documentos que lo componen en una única localidad, Prioro, situada en la provincia de León. El autor, natal de ese pueblo, decide recoger la tradición musical oral de su pueblo en toda su integridad a partir de la memoria todavía presente en sus paisanos y en él mismo.

El cancionero se publicó en el año 2000, con transcripciones por escrito y con dos cintas de cassette con las canciones más conocidas y celebradas, interpretadas por los propios intérpretes que las dictaron para las páginas del cancionero.

2.4.1.13 *Cancionero Popular de Burgos, Miguel Manzano*

Recién terminada la edición del *Cancionero Leonés*, Miguel Manzano recibía de parte de la Diputación Provincial de Burgos el encargo de recoger, editar y disponer para la publicación la tradición popular musical de las tierras de Burgos, en las que 100 años antes había recogido Federico Olmeda el primer cancionero de esta provincia.

Los 7 tomos que integran la obra completa del *Cancionero Popular de Burgos* fueron publicados entre los años 2001 y 2007, y recopilan 3.113 documentos musicales. Este documento permitió a Miguel Manzano completar, puntualizar, perfilar y redondear las pautas metodológicas necesarias para la clasificación, ordenación, análisis y estudio de la música popular de tradición oral. Los materiales están ordenados siguiendo criterios que consideran los aspectos musicales de las tonadas y la transcripción de los textos. Además, se incluye la transcripción de todas las estrofas que conocía el informante, a diferencia de lo que suele ser habitual en otros cancioneros musicales, que escatimaban tales estrofas.

2.4.1.14 *Cancionero Abulense*

El valor principal de esta obra es el abundante material documental que acopia, 359 documentos musicales que ayudan a conocer con bastante detalle la tradición musical popular de una tierra que se revela como poseedora de un estilo con rasgos muy específicos.

El *Cancionero Abulense* se publicó en el año 1991. La obra de Teresa Cortés contiene un material documental muy variado y rico, acopiado durante largo tiempo según se deduce de su lectura. Un buen número de canciones de las que recogiera Kurt Schindler vuelven a aparecer aquí en variantes muy semejantes o casi idénticas.

La lectura atenta del *Cancionero Abulense* reserva muchas sorpresas a causa de la belleza de las tonadas y muestra la tierra de Ávila como patria de buenos cantores, de voces potentes (lo prueba el estilo melódico de las canciones rondeñas) y de poderosa imaginación en las ornamentaciones, como ya demostraban las recopilaciones del maestro Schindler.

2.4.1.15 Trabajos de Recopilación en Palencia

Existen algunos trabajos que recopilan las tradiciones musicales en la provincia de Palencia, con contenido breve pero suficiente. El primero de ellos se recogió en las primeras décadas del siglo XX por el maestro Guzmán de Ricis, fundador de la Coral Filarmónica Palentina desde 1929. Esta publicación recoge 75 de las tonadas transcritas por maestro del dictado de los cantores y cantoras cuyos nombres y pueblos quedaron registrados en los manuscritos.

Otro trabajo anterior en el tiempo de publicación, siguiendo otra metodología, es el llevado a cabo por Andrés Moro Gallego, director de la Banda de Palencia desde el año 1944 hasta su fallecimiento, el cual presentó una breve colección de 60 documentos de varios géneros.

Otro breve trabajo sobre la música tradicional palentina fue llevado a cabo por Joaquín Díaz y publicado en 1982 con el título *Cancionero del Norte de Castilla*. La importancia de esta obra es definitiva para el conocimiento integral de la tradición palentina.

Para terminar esta relación de trabajos de recopilación en la tierra palentina hay que citar las grabaciones documentales llevadas a cabo por Carlos Porro Fernández, publicadas en 15 CDs.

2.4.1.16 *Cancionero Popular de Castilla y León: Romances, Canciones y Danzas de Tradición Oral*

Esta obra es un trabajo de recopilación sobre la canción tradicional en las nueve provincias de Castilla y León. Fue coordinada por Luis Díaz Viana y transcrita por Miguel Manzano y encomendada.

Con esta publicación se pretendía, por una parte, no repetir nada de lo ya publicado y, por otra, que fuera un testimonio del estado actual de la tradición oral. El proyecto inicial, basado en una propuesta institucional, al final no fue capaz de reflejar completamente su objetivo inicial, pues solo contiene decena de canciones de cada una de las nueve provincias de Castilla y León. A pesar de ello, su lectura resulta interesante

tanto por el contenido musical, pues la mayor parte de las canciones son inéditas y están bien elegidas, y por los textos introductorios, ricos en detalles.

2.4.1.17 *Cancionero Básico de Castilla y León*, Miguel Manzano

El *Cancionero Básico de Castilla y León* se publicó en 2013, y recoge un total de 365 canciones de todos los géneros del cancionero tradicional de la región castellana, seleccionadas de entre las más representativas de la tradición popular.

La selección de estas tonadas se ha realizado a partir de los tres grandes cancioneros recogidos por el mismo autor (*Cancionero de Burgos*, *Cancionero de Zamora* y *Cancionero de León*). Para completar la obra, se han considerado algunas aportaciones de cancioneros anteriores, como los de Olmeda, Ledesma, Marazuela, Sánchez Fraile, De Ricis, Fernández Núñez y otros.

2.5 Generación Automática de Música

Como ya hemos comentado en el capítulo anterior, los diferentes avances computacionales en el campo de la Inteligencia Artificial (AI) han atraído la atención de investigadores con todo tipo de orígenes, antecedentes y motivaciones. Desde un campo de investigación interdisciplinaria que se encuentra en la intersección de los campos de la inteligencia artificial, la psicología, la ciencia cognitiva, la lingüística, la antropología y otras ciencias centradas en el ser humano, nace el área de la Creatividad Computacional (CC). La CC se puede definir como una “filosofía, ciencia e ingeniería de sistemas computacionales que, al asumir responsabilidades particulares, exhiben comportamientos que los observadores imparciales considerarían creativos” (Colton & Wiggins, 2012).

En los últimos siglos, muchos compositores trataron de formalizar el proceso de composición musical, publicando tratados como *La idea musical y la lógica, la técnica y el arte de su presentación* de Schoenberg (Schönberg, 1978), o *Vereinfachte Harmonielehre (armonía simplificada)* de Riemann (Riemann, 1893). Sin embargo, la composición musical suele estar influenciada por muchos factores subjetivos, como el estilo específico, las preferencias personales y, sobre todo, el contexto musical. Por lo tanto, crear música interesante comúnmente requiere años de entrenamiento musical, y también depende de las habilidades, los sentimientos y el estado de ánimo de los compositores.

El interés en la creatividad computacional está en aumento en la comunidad científica. Aunque este interés es reciente, existen muchos algoritmos, esquemas y procedimientos

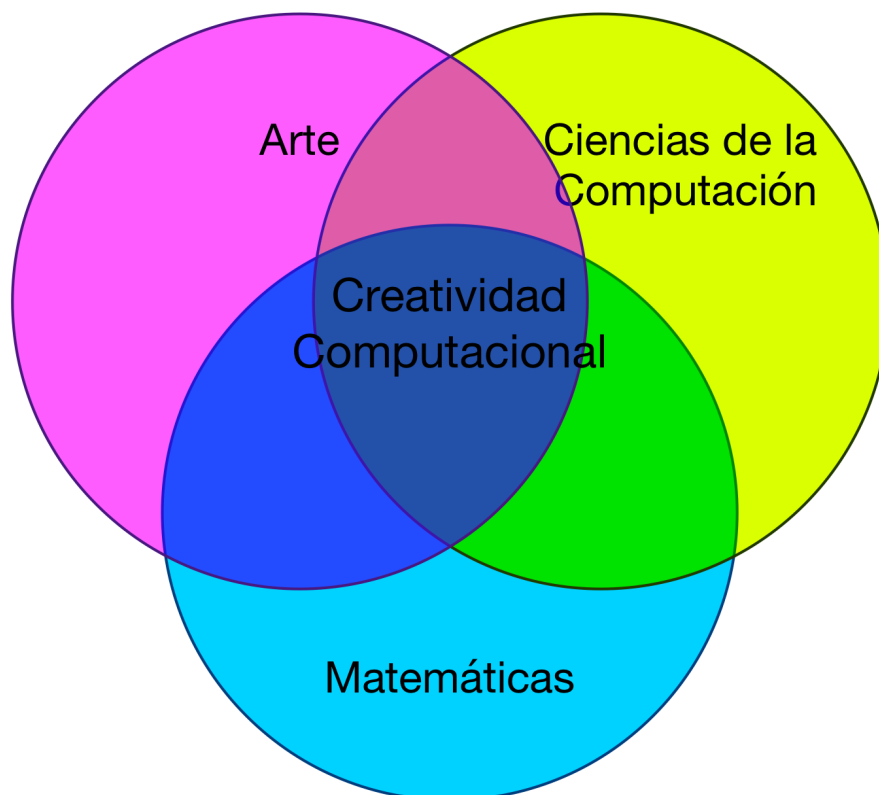


FIGURA 2.1: Creatividad Computacional como un campo transversal.

para desarrollar una máquina tan inteligente, capaz de crear nuevas ideas o nuevas composiciones artísticas.

La creatividad se considera un componente esencial de la inteligencia humana. En consecuencia, al intentar responder a la pregunta de si las computadoras pueden pensar, es natural preguntarse si las computadoras pueden pensar creativamente.

Algunos investigadores de la AI han tratado de simular la creatividad con las computadoras. Entre los programas más impresionantes desarrollados se encuentran AARON (Cohen, 1995), un programa de pintura que produce obras abstractas y realistas utilizando una pequeña tortuga robótica, combinada con varias estrategias de dibujo, o el sistema Ebcioğlu CHORAL (Ebcioğlu, 1988), que es capaz de producir armonizaciones corales siguiendo el estilo de las corales de J. S. Bach. Después de estos experimentos, y parcialmente debido a la falta de consenso conceptual y teórico, ha habido científicos interesados en exponer nuevas teorías sobre creatividad y conceptos relacionados con ella. Una de los más importantes es Margaret Boden, quien propuso un marco de la definición de creatividad (Boden, 1987) que sigue teniendo un impacto filosófico en la actual Creatividad Computacional (Colton & Wiggins, 2012).

Boden define la creatividad como una habilidad para concebir ideas y artefactos nuevos, sorprendentes y valiosos. Estos tres elementos deben existir en todos los fenómenos

creativos. Otro teórico notable, Csikszentmihalyi (1997), defiende el argumento de que la creatividad consta de tres partes principales: el dominio, un conjunto de reglas y procedimientos simbólicos; el campo, que incluye a todos los individuos que actúan en el dominio; y el individuo.

Con respecto al proceso mental que las máquinas pueden simular para ser creativo, Boden está interesado en ejecutar pruebas para determinar si las computadoras pueden concebir ideas que se consideran o parecen ser creativas. En *IA y el hardwarebre natural*, Boden considera que IA es la ciencia del pensamiento y la acción, lo que sugiere que las computadoras son herramientas que se proveen con una inteligencia “similar a la humana”. En este sentido, Lösch, Dugdale, and Demazeau (2009) identifican aspectos sobre la creatividad en los individuos, como motivación, externalización, inspiración, etc., para definir requerimientos y funcionalidades de un modelo capaz de potenciar las habilidades creativas del usuario en tareas de diseño.

La recreación de dicho comportamiento a través de una máquina desafía el campo de la Inteligencia Artificial, debido a la complejidad de la gran cantidad de factores que juegan un papel en el proceso de composición. Se han propuesto soluciones tecnológicas recientes para generar automáticamente música, que solo debe capturar las idiosincrasias técnicas del sistema musical, pero también ofrecer libertad creativa y expresión personal. Todas las propuestas se basan en técnicas concretas de AI. En este capítulo, presentamos brevemente los más utilizados, a saber, el aprendizaje estadístico, las gramáticas y la aplicación de reglas y principios biológicos.

2.5.1 Aprendizaje Estadístico

La estadística es una rama de las matemáticas que se ocupa de la recopilación, clasificación, análisis e interpretación de hechos numéricos, para extraer inferencias sobre la base de la probabilidad cuantificable de los datos.

Para aplicar un análisis estadístico a un problema, conviene recoger información de la población o proceso que se desea estudiar. Con población nos referimos a conjuntos de datos cuantificables, como el número de personas de una región determinada, los átomos que componen una estructura molecular, o la sintetización de la estructura cristalizada que se encuentra en un mineral.

Teóricamente, para realizar un estudio estadístico fiel a la realidad, sería necesario una recopilación sobre toda la población que se desee estudiar. Esta recogida de datos se puede realizar a través los denominados censos. Esta información permite aplicar tanto

descriptores numéricos como la media aritmética y la desviación estándar, como datos categóricos como la frecuencia y el porcentaje.

Existen muchas problemáticas en las que la elaboración de un censo no es plausible. Cuando esto ocurre, el estudio estadístico se aplica sobre un subconjunto representativo de la población, denominada muestra. Aunque los descriptores estadísticos también se pueden aplicar en estas muestras, los resultados están sujetos a cierta incertidumbre si queremos extrapolarlos a la población completa.

Esta inferencia de conocimiento a través de las conclusiones extraídas del estudio de la muestra puede llevarnos a la predicción y estimación de valores observados o asociados con la población estudiada; puede incluir extrapolación e interpolación de series temporales, o bien puede provocar la extracción de nuevos datos.

Un enfoque para generar música es mediante el aprendizaje estadístico de secuencias de corpus musicales para alimentar diferentes algoritmos de inferencia tales como algoritmos de árbol de unión, estrategias de coincidencia de patrones o modelos de Markov de orden variable. Este tipo de estrategias hacen uso de una memoria que recuerda composiciones previamente generadas o compuestas por diferentes músicos siguiendo estilos musicales concretos, lo que podemos considerar como nuestra muestra estadística. Por lo tanto, este corpus, que debe ser una muestra representativa de las composiciones musicales, es el conjunto de entrenamiento que se utilizará para inferir nuevo conocimiento y así aprender a crear música. Esta técnica pretende generar composiciones basadas en un estilo musical concreto (como jazz, música clásica o romántica) o compositor (es decir, Mozart, The Beatles, etc.). La figura muestra el flujo de trabajo de los algoritmos estadísticos.

Existen diferentes trabajos recientes que hacen uso del aprendizaje estadístico, tanto para crear nueva música, como para armonizar melodías existentes. Flow Machines (Pachet, 2002) proporciona nuevas formas de crear música colaborando con músicos humanos, pero también aprendiendo de un corpus existente. Del mismo modo, VirtualBand (Pachet, 2003) genera composiciones de jazz siguiendo la interpretación de un instrumento melódico. GimmeDaBlues (Dias, Marques, Sioros, & Guedes, 2012) genera automáticamente el aprendizaje de partes de bajo y batería de un usuario que toca el teclado y/u otros instrumentos solos.

Uno de los algoritmos que más éxito han tenido para crear nuevas secuencias musicales han sido los modelos de Markov (Eigenfeldt & Pasquier, 2013). Los modelos de Markov son modelos estadísticos capaces de predecir notas probables a partir de una melodía ya preestablecida. En este sentido, un interesante estudio a destacar es el de Pachet (2003). Pachet propone un sistema denominado “The Continuator”, que es capaz de construir

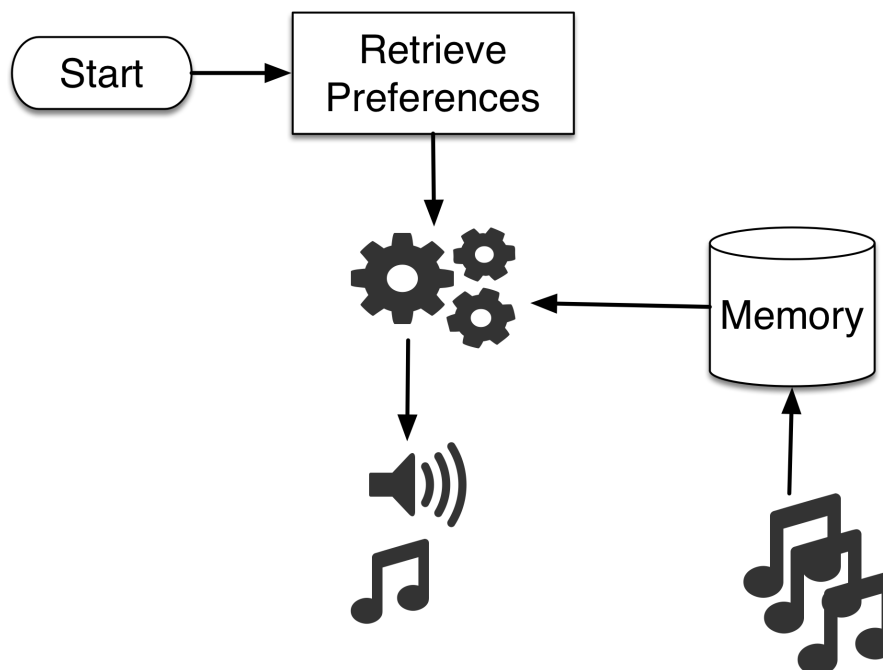


FIGURA 2.2: Creatividad Computacional como un campo transversal.

representaciones operativas de estilos musicales en un contexto de tiempo real. La propuesta se basa en los modelos de Markov para tratar con el ritmo, los lanzamientos y las imprecisiones. El sistema resultante es capaz de aprender y generar música en cualquier estilo y también hace posible crear nuevos modos de reproducción musical colaborativa (Pachet, 2002). Otros trabajos basados en Modelos de Markov, también usan letras como una variable en sus composiciones, como por ejemplo (Monteith, Martinez, & Ventura, 2012).

2.5.2 Generación de música a través de gramáticas

Un enfoque alternativo al aprendizaje estadístico es derivar las reglas de los principios de la teoría musical a algoritmos de diseño basados en principios determinísticos y probabilísticos. Una gramática en el contexto informático es un conjunto de reglas de producción que permiten generar cadenas. Estas reglas son en realidad una serie de normas para generar palabras (cadenas de caracteres) consideradas válidas en un idioma determinado. Por lo tanto, una gramática suele considerarse un generador de un lenguaje.

En la mayoría de los lenguajes, las palabras tienen un significado según su construcción. Por ejemplo, aunque las palabras ‘artes’ y ‘estar’ tienen los mismos elementos, su construcción (el orden de colocación de los elementos) altera completamente el significado de la palabra. Este fenómeno se conoce como semántica de composición. Como

resultado, el primer paso para describir el significado de un elemento o palabra en el lenguaje es descomponerlo siguiendo las reglas de producción de forma inversa, y observar su forma analizada.

Estrechamente vinculado a este enfoque está la aplicación de gramáticas generativas para organizar los lexemas musicales. En el campo de la música, se han analizado una gran cantidad de secuencias musicales, que en este caso, podrían ser el equivalente a nuestras palabras. A partir del estudio de estas piezas, muchos autores han extraído reglas generales para la generación de nuevas obras musicales. El conjunto de estas reglas han formado la teoría de la armonía y pueden constituir, al fin y al cabo, una gramática generativa.

Este concepto se puede llevar al entorno computacional, cuando el conjunto de reglas se codifican para posteriormente utilizarlas como la base de conocimiento del sistema. Este enfoque también permite generar música siguiendo un paradigma estilístico musical. Inicialmente, los sistemas basados en gramáticas se utilizaron ampliamente en tareas de composición. Al pensar que la música sigue reglas gramaticales, muchos compositores en el campo de la computación modelaron las relaciones musicales como estructuras gramaticales, representando estructuras musicales (Roads & Wieneke, 1979). De hecho, Holtzman (1981) creó una gramática musical que genera solos de arpa basados en las limitaciones físicas impuestas a los intérpretes de arpa. Cope (1987) deriva la gramática de los principios lingüísticos para generar música en un estilo particular.

Dentro de este enfoque, también podemos destacar CHORAL (Ebcioğlu, 1990), una aplicación notable para la armonización de corales en el estilo de Johann Sebastian Bach. El sistema contiene alrededor de 350 reglas que representan el conocimiento musical desde múltiples puntos de vista de las corales de Bach, tales como la construcción de acordes, las líneas melódicas de las partes individuales y la voz líder. Steedman (1984) exploró estrategias similares para generar progresiones de acordes de jazz.

Aunque la gramática puede producir una pieza musical de cierta calidad, las tareas correspondientes a decidir los aspectos de una estructura musical que debería estar representadas en la composición, a menudo son complejas y difíciles de modelar (Marsden, 2000). Para superar esta limitación, ha habido muchos otros algoritmos que han intentado componer música que derivan de las gramáticas para generar composiciones musicales, algunos de los cuales son llamados algoritmos en vivo (Bown, 2011).

Los agentes virtuales (entidades virtuales a las que se les dota de cierta inteligencia) pueden incluirse en este tipo de técnica híbrida pero basada en gramáticas, ya que su comportamiento puede evolucionar a partir de su base de conocimiento, que se puede

codificar como tal. Además, este conocimiento se puede actualizar a lo largo del tiempo de acuerdo con el contexto y el conocimiento del resto de la comunidad, lo que aumenta las posibilidades de crear música innovadora (Macedo & Cardoso, 2001). Delgado, Fajardo, and Molina-Solana (2009) propuso Inmamusys, un marco para la composición musical basado en sistemas multiagentes y un conjunto de reglas. Eigenfeldt, Bown, and Carey (2015) propuso un sistema para generar música basada en sistemas de múltiples agentes.

Martin et al. (2011) presenta una caja de herramientas para diseñar agentes musicales interactivos. Macedo and Cardoso (2001) propone SC-EUNE, un sistema que genera contenido creativo basado en la curiosidad de los agentes. Machado, Romero, Santos, Cardoso, and Manaris (2004) desarrolla críticas adaptativas para artistas evolucionistas, basadas también en agentes. Un acercamiento de agentes creativos, llamados agentes motivacionales, fue propuesto y utilizado para explorar entornos desconocidos (Macedo & Cardoso, 2004). Lacomme, Demazeau, and Dugdale (2010) propone una actuación artística realizada por un MAS para generar música.

2.5.3 Algoritmos evolutivos

Los algoritmos bioinspirados son procedimientos capaces de imitar el comportamiento de algún agente que se encuentra en la naturaleza, como insectos o microorganismos, o proceso natural, como la reproducción celular o la sinapsis mental. Este tipo de técnicas algorítmicas han sido avaladas por un amplio número de estudios abarcando campos de investigación muy diversos, como pueden ser la Genética, la Medicina, la Robótica, la Física, la Computación o el Diseño Industrial.

No es objetivo de este trabajo describir en gran detalle el proceso de desarrollo de estos algoritmos, pero sí dar una somera visión de qué tipo de procedimientos se suelen implementar y por qué son importantes. Es importante recalcar que normalmente, estos algoritmos suelen buscar la optimización de parámetros o de una función matemática a través de su metaheurística. Entre ellos, destacamos los algoritmos genéticos, la inteligencia en enjambre y las redes neuronales, aunque hay muchos otros.

Los algoritmos genéticos intentan buscar el mejor conjunto de elementos que optimizan una función matemática a través del mecanismo de selección natural. En este sentido, cada elemento es codificado como un conjunto de números que, inicialmente se generan de forma aleatoria. A través de los procedimientos de cruce y recombinación, que se basan en las ocurrencias de las secuencias de ADN, estos elementos van cambiando hasta que se encuentra un elemento que satisface la función de forma óptima. La inteligencia en enjambre realiza este mismo proceso de optimización de elementos, pero

en lugar de utilizar operaciones de recombinación, se basa en el comportamiento de las colonias de hormigas y el uso de su feromona para repetir aquellos patrones que han sido satisfactorios, o de los panales de abejas para acercarse a aquellos elementos que benefician a la colmena.

Mención aparte merecen las redes neuronales artificiales. Inicialmente propuestas a finales de los años 80, este paradigma ha ido evolucionando hasta conseguir una gran variedad de algoritmos que permiten desde predecir datos, hasta reconocer patrones en imágenes y otros elementos multimedia, entre los que se encuentran la música. A pesar de la variedad de implementaciones, todas las redes suelen tener ciertas propiedades similares. Su comportamiento pretende imitar el proceso de aprendizaje de las neuronas cerebrales. Por tanto, se simulan impulsos eléctricos para retener ciertas secuencias sobre otras. Este proceso de retención de datos se denomina proceso de entrenamiento. Una vez entrenadas, estas células artificiales pueden identificar patrones o predecir datos a partir de lo retenido en el proceso anterior.

El uso de principios biológicos o evolutivos y una función objetiva para optimizar ha sido otra estrategia recurrente utilizada en la generación automática de progresiones de acordes, en particular mediante el uso de algoritmos genéticos. La computación evolutiva permite la creación de música siguiendo paradigmas muy diferentes, como música fractal, música matemática o música de programa. En uno de los primeros trabajos para aplicar la computación evolutiva a la composición algorítmica, Moroni, Manzoli, Von Zuben, and Gudwin (2000) propuso *Vox Populi*, que utiliza algoritmos genéticos para desarrollar una población de acordes al maximizar múltiples criterios musicales. Miranda (1993) presentó el autómata celular, que genera música basada en las necesidades fisiológicas de una célula artificial. Fukumoto (2014) aplica algoritmos genéticos para crear automáticamente progresiones de acordes de acuerdo con la sensación del usuario.

Algunos investigadores también han empleado algoritmos bio-inspirados y de aprendizaje automático a partir de datos previos o de relaciones matemáticas de las componentes frecuenciales de la música. Estos métodos abarcan algoritmos genéticos, inmunológicos o redes neuronales (Hoover et al., 2011; Navarro et al., 2015). Todos estos procesos pueden tener ciertas limitaciones si se tratan de forma aislada. No obstante, existen arquitecturas que permiten la integración de elementos dispares, de forma que se puedan aprovechar las ventajas según el contexto. Una de estas herramientas son las organizaciones virtuales (VO, por sus siglas en inglés), modeladas como sistemas multiagente (MAS, por sus siglas en inglés), ya aplicadas con éxito en diversos trabajos relacionados con la creatividad (Kirke & Miranda, 2015; Macedo & Cardoso, 2004; Machado et al., 2004).

Con respecto a los algoritmos de bio-inspiración y de aprendizaje automático, Hoover et al. (2011) se centró en la evolución de un solo acompañamiento monofónico para un archivo MIDI. Estos acompañamientos se generan a través de dos funciones, una para el tono y otra para el ritmo, que se representan como una red de producción de patrones de composición (CPPN), un tipo especial de red neuronal artificial (ANN). Las CPPN pueden evolucionar para asumir una topología arbitraria en la que cada neurona tiene asignada una de varias funciones de activación. Mocholi, Martinez, Jaen, and Catala (2012) abordó el problema de la generación de listas de reproducción de música mediante el uso de una colonia de hormigas multicriterio, y López-Ortega and López-Popa (2012) presenta una suite para ayudar a la creación de piezas musicales basadas en fractales, lógica borrosa y sistemas expertos. Otro buen ejemplo es el sistema de reconocimiento para la música occidental propuesto por Mostafa and Billor (2009), basado en algoritmos de aprendizaje de máquina.

Recientemente, Velardo and Vallati (2014) propone un modelo memético para la composición musical, que considera tanto los niveles psicológicos como los sociales. Permite a la gente experimentar la generación de música, pero no se centra en la generación de música clásica. La Sala de Música Morreale, De Angeli, Masu, Rota, and Conci (2014) es un sistema interactivo donde una pareja compone música moviéndose en el espacio. Este es un trabajo interesante, aunque no se centra en la música clásica. AutoRhythmGuitar McVicar, Fukayama, and Goto (2014) permite componer ritmos usando algunos parámetros de entrada como acordes y melodía. Dubnov and Assayag (2013) también crea una composición asistida por computadora usando archivos MIDI como entradas para crear una nueva melodía. En este último trabajo. López-Ortega and López-Popa (2012) presenta un sistema experto para ayudar a componer piezas musicales. Este trabajo sigue las reglas del fractal, capaz de componer la armonía atonal. Recientemente, Navarro et al. (2015) propusieron usar un Sistema Inmunitario Artificial (AIS) para generar iterativamente el siguiente acorde en una secuencia dada mediante la optimización de una función objetivo.

Se pueden encontrar técnicas más inteligentes que abordan el problema de la creatividad computacional junto con una abrumadora cantidad de trabajos excelentes que no se mencionaron en este breve capítulo. En este capítulo hemos querido dar una pequeña muestra representativa de los sistemas más avanzados entre los métodos más populares.

2.6 Generación de Música y Texto

La generación de letras de canciones también puede verse como una especie de generación de poesía, para la cual hay varios enfoques computacionales, basados en una amplia gama

de técnicas (para más información, ver (Gonçalo Oliveira, 2017) o (Lamb, Brown, & Clarke, 2017)). A pesar de que el texto poético generalmente sigue restricciones métricas, cuando se generan letras de las canciones estas restricciones deben ser abordadas con mayor ahínco, sobre todo en este tipo de contexto popular, ya que las letras pretenden ser cantadas y recordadas fácilmente. Además, las letras deben seguir reglas sintácticas e, idealmente, ser significativas bajo algún tema.

Los trabajos sobre la generación de letras de canciones para melodías específicas incluyen una versión original de Tra-la-Lyrics (Gonçalo Oliveira, Cardoso, & Pereira, 2007), que combina el énfasis de las palabras con los ritmos fuertes de la melodía, añadiendo más restricciones sintácticas y repetición, pero sin ninguna preocupación en semántica.

Para generar texto más significativo, otros sistemas agregan restricciones semánticas al ritmo y restricciones sintácticas. Esto se puede hacer, por ejemplo, con la ayuda de una red semántica (Ramakrishnan A & Devi, 2010), también el caso de la versión más reciente de Tra-la-Lyrics (Gonçalo Oliveira, 2015), o como restricciones de relación semántica en un proceso de Markov (Barbieri, Pachet, Roy, & Esposti, 2012), el cual además aprende un modelo de restricción de un conjunto de letras del mismo autor y luego genera nuevas letras en el estilo de ese autor.

Como sucede con la generación de música, hay sistemas que no generan letras de canciones de manera independiente, pero que pueden ayudar en el proceso de escritura, ya que sugieren oraciones que se adaptan al compás, el ritmo y las rimas (Abe & Ito, 2012; Watanabe et al., 2017).

Cuando se trata de generar música y letras, se pueden seguir diferentes metodologías. Uno de ellas es comenzar creando las letras y luego generando la música adecuada para el acompañamiento. Un ejemplo es Singh, Ackerman, and y Pérez (2017), que integra un sistema de generación de trama y un generador de letras, en la producción de letras basadas en narrativas. En ese caso, los versos se generan con un modelo de Markov y se sigue un enfoque de generar y probar para seleccionar aquellos versos más adecuados para usar en la letra, según la rima y el sentimiento. Entonces se pueden generar melodías adecuadas con un sistema como ALYSIA (Ackerman & Loker, 2017).

Por otro lado, M.U. Sicus-Apparatus (Toivanen, Toivonen, & Valitutti, 2013) genera letras y música para canciones relacionadas con el arte. Las letras se generan primero, reemplazando algunas palabras a partir de fragmentos de poemas creados por seres humanos, recurriendo a asociaciones de palabras para mantener la coherencia semántica. La generación de música considera el número de sílabas, su longitud y signos de puntuación para el ritmo, y un estado de ánimo específico para la armonía creado por

el usuario, basado en selecciones de cadena de Markov de segundo orden de patrones armónicos regulares expresados en una tonalidad determinada.

No existen muchas propuestas que aúnen la generación de música y letra de forma integrada. Nosotros presentaremos en el Capítulo 7 una propuesta de integración de nuestro sistema ETHNOMUSIC con el sistema Tra-la-lyrics. Esta colaboración ha sido fruto de la estancia internacional del doctorando en la Universidad de Coimbra como parte de la tesis, donde se ha participado de forma activa con el Grupo de Investigación en Creatividad del Departamento de Inteligencia Artificial para aunar estos dos sistemas.

Capítulo 3

Concepto de Modalidad desde un Punto de Vista Etnomusicológico



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

Concepto de Modalidad desde un Punto de Vista Etnomusicológico

Buena parte de la música que escuchamos actualmente, así como la música que podemos denominar culta o de autor, está basada en el uso de la tonalidad, utilizando las llamadas escalas mayores y menores. Sin embargo, en la antigüedad los compositores creaban sus obras siguiendo los patrones determinados por lo que ahora llamamos modos. En el siglo XVII, el vertiginoso desarrollo de la polifonía provocó el cambio de diversos factores como la afinación musical y cambios en la estructura armónica que hicieron que la tonalidad se impusiera al resto de sistemas musicales hasta nuestros días, aunque hubo cierto resurgimiento del interés en los modos hacia el final del siglo XIX, basta recordar a Debussy o Vaughan Williams.

Es por este motivo que consideramos necesario una breve revisión acerca de la evolución histórica de la modalidad, para así poder comprender las diferencias entre el uso de la misma en la música culta y la popular, y poder diferenciarla asimismo de la tonalidad.

3.1 Concepto de Modalidad en Diferentes Contextos Históricos

El concepto de modo se remonta a los griegos. Empleando la lira, los griegos obtenían diferentes sonidos utilizando distintas afinaciones de sus cuerdas, y crearon diferentes escalas, muchas de las cuales poco o nada tienen que ver con nuestra escala mayor actual. En la Edad Media, la iglesia cristiana primitiva intentó adoptar esta tecnología griega de vanguardia y la desarrolló para sus propios fines. En el siglo VI, de la reforma del “ordo cathedralis” que realizó el Papa Gregorio Magno (590-604), se establecieron lo que se denominaron modos gregorianos, que fue ampliamente utilizado en el canto gregoriano y la música eclesiástica. Posteriormente, ya en el prerrenacimiento, los modos se ampliaron y se les asignó nombres griegos para establecer una relación con nuestro

pasado clásico. Sin embargo, en esta sección queremos esclarecer la motivación de dicha denominación y si existe un parentesco entre las escalas griegas y los modos gregorianos.

3.1.1 Terminología modal en la Antigüedad

Los actualmente llamados “modos griegos”, empleados actualmente en géneros musicales como el jazz o incluso el rock, están organizados a partir de la escala diatónica, por lo que pueden explicarse fácilmente a partir de dicha escala. No obstante, parece que su origen no está claro, y que lo que ahora llamamos modos, poco o nada tienen que ver con los modos que concibieron los antiguos griegos. Por ello, hay una necesidad de describir brevemente su procedencia y cuál fue la lógica bajo la que fueron concebidos.

Para comprender la lógica subyacente a la teoría musical griega es necesario remontarnos al Siglo VI a.C., cuando Pitágoras realiza sus descubrimientos en acústica e inicia la primera teoría de la Música. Para ello, Pitágoras divide la cuerda del monocordio en varios segmentos iguales y descubre que las divisiones más sencillas, basadas en números enteros y racionales, son las que producen los sonidos más agradables o “armoniosos” para ellos (Chalmers, 1993).

En concreto, al dividir una cuerda entre dos segmentos iguales, se obtenía la misma nota pero más agudo, conservando una consonancia perfecta con el sonido anterior. Esta distancia es la distancia de octava o diapasón, y contiene una proporción de 2 a 1 (2:1). Continuando con este experimento, la siguiente división realizada nos permite obtener la quinta o diapente, con una proporción de 3:2. Para Pitágoras y sus contemporáneos, este primer intervalo con notas diferentes obtenido es la consonancia por excelencia. El siguiente intervalo obtenido es la cuarta o diatesaron, con una proporción de 4:3. Cabe destacar en este punto que, aunque para nosotros el intervalo de cuarta es la inversión de la quinta, para los antiguos griegos eran intervalos completamente diferentes, puesto que las proporciones matemáticas eran distintas (Chalmers, 1993).

Estos cuatro sonidos (unísono, diapasón, diapente y diatesaron) se consideraron consonantes, frente al resto, incluidas las terceras y sextas, que eran disonantes debido a que las proporciones obtenidas de estos sonidos involucraban números más complejos y no eran por tanto, “perfectas”.

Utilizando como base la cuarta justa, se construyeron los tetracordos, una sucesión conjunta de cuatro notas en sentido descendente comprendidos en este intervalo. Existían cuatro tipos de tetracordos, según las notas que aparecían, a saber: Dórico, Frigio, Lidio y Mixolidio.

Para construir las escalas, se colocaban dos tetracordos a distancia de un tono. Así obteníamos la escala Dórica, Frigia, Lidia y Mixolidia, según los tetracordos que se utilizaran para construirla. Además, si desplazábamos el tetracordo superior a continuación del inferior, obteníamos los modos plagales, quedando una cuarta por debajo de los modos auténticos. Por último, en función de las proporciones armónicas que definían la distancia de las notas, las escalas podían pertenecer a tres géneros:

- Género diatónico: la interválica descendente de cada tetracordo es tono-tono-semitono.
- Género cromático: la interválica descendente de cada tetracordo es tercera menor-semitono-semitono
- Género enarmónico: la interválica descendente de cada tetracordo es tercera mayor-cuarto de tono-cuarto de tono.

Cabe destacar que la interválica de las notas podía variar ligeramente, y no es equivalente a la interválica que utilizamos actualmente en el sistema temperado.

3.1.2 Uso del Hexacordo y Reajuste de la Terminología en la Música Monódica y Polifónica Temprana

Como ya hemos visto, los modos gregorianos han sido los modos utilizados por la Iglesia para sus cantos religiosos a lo largo de la Edad Media y el Renacimiento.

Los modos se distinguen por su tónica, su dominante y el ámbito o extensión. Así pues, dependiendo de estas características distinguimos en principio cuatro modos originales (Protus, Deuterus, Tritus y Tetrardus) con sus cuatro plagales correspondientes. En los auténticos el tetracordo precede al pentacordo y en los plagales el tetracordo antecede al pentacordo, en sentido ascendente en ambos casos. Los modos se representan con la escala de forma ascendente, y se rigen por la nota inicial, donde reposa la melodía (el equivalente a la tónica actual) y la nota de recitación o dominante, que es una nota que aparece con mucha frecuencia en las composiciones gregorianas.

En 1547, el teórico suizo Glaureanus escribe su tratado Dodecachordon en el cual propone ampliar el sistema modal con la inclusión de cuatro modos más: dos modos con final en la y otros dos con final en do (Glareanus, 1965).

Aunque los nombres griegos se aplicaron a veces a los modos de la iglesia y el principio de las escalas de octava diatónicas se encuentra en ambos sistemas, ciertas discrepancias significativas parecen desmentir cualquier conexión histórica directa. Lo más conspicuo

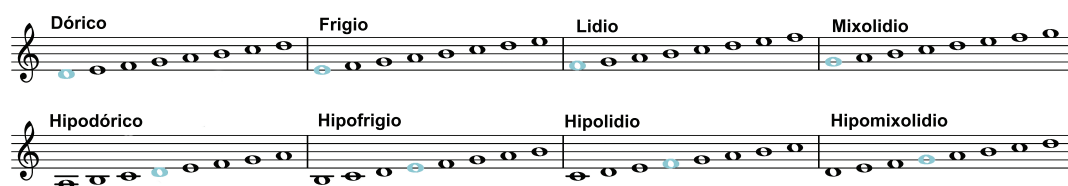


FIGURA 3.1: Primeros modos gregorianos (Protus, Deuterus, Tritus y Tetrardus), que luego se denominaron Dórico, Frigio, Lidio y Mixolidio respectivamente, y sus escalas plagales justo debajo. La nota coloreada corresponde a la nota fundamental desde la cual se construía la escala.

es el significado diferente atribuido a los nombres de las especies griegas de octava y de los modos de la iglesia. La comparación de los dos sistemas proporciona una explicación plausible: los teóricos medievales aparentemente asumieron erróneamente que las especies de octava griega fueron nombradas en orden ascendente en lugar de descendente. La escala griega Dórica (Mi-Mi), Frigia (Re-Re), Lidia (Do-Do) y Mixolidia (Si-Si) apareció en los modos gregorianos como Dórico (Re-Re), Frigio (Mi-Mi), Lidio (Fa-Fa) y Mixolidio (Sol-Sol) (Palacios, 2003).

3.2 Una Nueva Terminología para el Análisis de la Música Popular en el Siglo XX

Es muy difícil entender el origen de la modalidad en la música popular, ya que este tipo de música ha estado en constante evolución debido a su característica ágrafa y a su transmisión de generación en generación de forma oral. No obstante, analizando muchas de las melodías recogidas a lo largo de los años por diferentes etnomusicólogos y en diferentes cancioneros, podemos sacar algunas conclusiones al respecto que nos permiten discernir la música popular modal de la música culta. Existen tres factores principales que analizaremos en la música popular: el comportamiento melódico, el ritmo y el estilo.

En cuanto al comportamiento melódico consta de continuas cromatizaciones e inestabilidades de cada modo. Además, las melodías no siguen ningún esquema predeterminado en cuanto a funcionalidad de la tónica y la dominante, dependiendo del transcurso y del ambiente sonoro, puede variar de forma arbitraria, pudiendo establecerse en cualquier zona y altura. Los modos utilizados en la música popular española se basan en ocho modos diatónicos, y algunas de sus representaciones presentan una predisposición a la evolución a la tonalidad.

Existen diferencias entre este comportamiento y el comportamiento en el canto gregoriano. En el gregoriano se respeta ampliamente el diatonismo, frente al cromatismo del repertorio popular. Asimismo, en el canto gregoriano hay un establecimiento más o menos fijo acerca de la nota tónica, la dominante y el ámbito de octava, mientras que en la música popular no existe tal establecimiento, pudiendo haber varias notas que ejercen como “dominantes” o bien variar dicha nota en el mismo modo, utilizando un comportamiento funcional diferente. Por último, el repertorio gregoriano está delimitado por la configuración los cuatro modos (Protus, Deuterus, Tritus y Tetrardus), mientras que en el repertorio popular, existen muchas melodías en sistemas diferentes a estos cuatro modos, utilizando incluso variaciones protomelódicas. Además, a veces estas melodías presentan un estadio de evolución hacia la tonalidad, mientras que esto no ocurre casi nunca en el canto gregoriano.

Por otra parte la música popular contiene un pulso y compás muy uniforme, debido al texto estrófico silábico utilizado en estas músicas. Por su parte, el canto gregoriano contiene una libertad rítmica relativamente grande, debido a la prosa en este tipo de repertorio tiene una naturaleza rítmica no regular, admitiendo por tanto un ritmo totalmente prosódico en las composiciones gregorianas.

Por último, en el estilo melódico del repertorio popular predomina el estilo silábico frente al estilo adornado y melismático. Por su parte, en el canto gregoriano predomina un estilo melismático, más bien semiadornado o recitativo silábico, frente al estilo totalmente silábico.

Debido a todo lo anteriormente expuesto, y para evitar confusiones en la nomenclatura, la modalidad en la música popular será tratada con independencia de la modalidad en la música culta, y se empleará otra denominación. A continuación, describiremos el comportamiento de los diferentes modos en la música popular y su nomenclatura, para clarificar las bases musicales de nuestro trabajo.

3.2.1 Características Principales en los Sistemas Modales en la Música Popular Española

Desde el punto de vista de la organización de los sonidos que toma para su desarrollo, una melodía determinada se caracteriza por el sistema, modal o tonal, que le sirve de base (Manzano Alonso, 2001). Este sistema está gobernado por una jerarquía que organiza los sonidos, de manera que cada uno adquiere una relevancia especial que hace que cada sistema sea único.

El comportamiento de un sistema se caracteriza por las dependencias entre estos sonidos demostradas en los desarrollos, cadencias, inicios de frase o inestabilidades de algunos grados. Cada sistema, por tanto, está sujeto a diferentes normas de desarrollo, al igual que ciertamente y de una forma más rígida, ocurre con la música tonal que aplica en la música culta.

No obstante, la música modal popular no se rige por las normas clásicas de la armonía ni por los grados propiamente tonales como la tónica, dominante y subdominante, confiriéndole una sonoridad muy característica, que depende del modo en el que estemos.

Dentro de la música popular, y sobre todo en la región de Castilla y León, entre los sistemas modales y tonales hay ciertas similitudes que a veces pueden dificultar la identificación de aquellas piezas que son modales frente a las que no lo son. Sin embargo, existen ciertas diferencias que se han tenido en cuenta para la selección de aquellas piezas modales de interés para el desarrollo de esta tesis.

Los sistemas tonales se basan en la sucesión de grados naturales a partir del sonido 'do' (escala mayor tonal) o 'la' (escala menor tonal), donde los grados III, VI y VII son los más característicos para preparar las cadencias y las progresiones armónicas. Por su parte, en el sistema modal cualquiera de las notas puede convertirse en la nota básica a partir de la cual crear una escala. Por tanto, cada vez diferentes grados aportan la sonoridad característica del modo, proporcionando diferentes esquemas para crear cadencias y desarrollos melódicos.

Otra diferencia muy evidente entre ambos sistemas es el empleo de la armonía. En la música tonal, el componente armónico es fundamental en la construcción de una pieza musical, sin armonía no se puede concebir una pieza tonal actualmente. Las notas que forman parte de la melodía siempre son un reflejo de la armonía subyacente. Este fenómeno armónico no ocurre en la música modal popular, cuyo curso es mucho más libre y espontáneo. La creación de una melodía depende de la tensión que se vaya creando a partir de los reposos de la melodía en diferentes grados de la escala y la fundamental. Cuando se crea una melodía modal hay mucha más libertad, ya que no hay que seguir normas preestablecidas de enlaces armónicos y melódicos, y solo estamos condicionados por los cánones que muchas veces se han asimilado a través de la práctica de estas mismas canciones tradicionales. Por ello, estas melodías modales plantean mayores problemas para realizar acompañamientos armónicos, ya que conviene evitar las normas armónicas que se han seguido en la música académica.

Una última diferencia que queremos destacar es la diferencia en el reconocimiento de sistemas. En el sistema tonal, es necesario que aparezcan los siete sonidos de la escala en una composición para marcar la tonalidad en la que nos encontramos. Sin embargo,

en una composición modal no es necesario que aparezcan todos los sonidos de la escala para que se pueda identificar su sonoridad y se pueda desarrollar completamente. Los documentos demuestran que con cinco o seis sonidos, y a veces con menos, puede quedar completamente configurado, con tal de que quede claro el lugar que los dos semitonos naturales, o uno de ellos y el tritono, ocupan en la sucesión (Manzano Alonso, 2001). De ahí que, aunque haya algunas melodías modales que lleguen a la octava y la sobrepasen, la mayoría de ellas se desarrollan en una quinta o una sexta.

De ello podemos deducir que la naturaleza de la modalidad contiene una sonoridad característica en la cual se desarrolla una melodía que puede reposar en varios grados para crear diferentes tensiones de una forma diferente a como lo hacen las composiciones tonales.

Debido a estas diferencias, que a veces son sutiles, para identificar los sistemas modales es necesaria cierta experiencia auditiva. Para oídos educados casi exclusivamente en la música tonal, es difícil percibir los detalles y matices de estas nuevas sonoridades, por lo que es conveniente un entrenamiento del oído musical a través de la teoría, pero sobre todo de la práctica, mediante la escucha de estas melodías. Este trabajo también pretende mejorar el oído modal a través de la creación de nuevas melodías en estilos modales.

3.2.2 Clasificación de los Sistemas Modales en la Música popular española

Tradicionalmente, existen según los expertos, siete sistemas modales contruidos sobre cada una de las siete notas diatónicas de la escala. Como ya hemos visto, la sonoridad de cada modo está caracterizada por la colocación de los semitonos dentro de la escala, y además, alguno de las notas que aparecen pueden ser inestables o cromatizadas (Manzano Alonso, 2001). Las cromatizaciones consisten en una inestabilidad ascendente o descendente que afecta a uno o varios grados de la escala, y son bastante habituales dentro del repertorio popular de Castilla y León, sobre todo dentro de determinados giros o cadencias.

Cada sistema modal tiene un comportamiento diferente que se puede reflejar en el ámbito de las notas, el reposo o los giros melódicos. De esta manera, puede haber sistemas que abarquen un ámbito de una séptima o una sexta, o sistemas que con menor amplitud, de una cuarta o una quinta, también puedan construir su decurso melódico. Asimismo, la tónica puede ser la nota inferior de la amplitud de la melodía, lo cual es el caso más común, o puede encontrarse en la parte central o en la superior, esto último siendo el caso más infrecuente.

Además, los sistemas modales no comparten el mismo comportamiento cadencial, lo que significa que la predominancia de unos sonidos sobre otros depende del sistema en el que nos encuadremos, a diferencia de lo que ocurre en la tonalidad, que suelen predominar la dominante y subdominante. En la modalidad, normalmente esta importancia en sonoridad suele estar repartida entre la tónica y un grado más, que depende del sistema modal, y que marca la tensión del desarrollo melódico, que suele resolver en el sonido principal del sistema modal. Aunque este sonido tiene un objetivo similar al de la dominante en el sistema tonal, evitaremos denominarlo de esta manera, ya que no comparte el mismo comportamiento ni las mismas connotaciones.

Como se comentó en las secciones anteriores, la denominación de los modos puede variar según los estudios etnomusicológicos que se pueden consultar. En nuestro caso hemos preferido prescindir por completo de estas denominaciones, tal como hemos indicado en las secciones anteriores. Por un lado, ya hemos analizado la posible relación existente entre los modos griegos y gregorianos y su influencia en la música popular, la cual no ha podido ser demostrada de forma fehaciente. Además, los comportamientos de los sistemas modales pueden ser diferentes, ya que ni siquiera conocemos con detalle cómo se generaban melodías en la Antigua Grecia. Por último, el paso de la denominación griega a la gregoriana también es fuente común de confusión, debido a lo comentado anteriormente. En consecuencia, hemos decidido seguir el modelo propuesto por otros etnomusicólogos entre los que destaca Miguel Manzano, por un simple tema de claridad en el análisis musical (Díaz Viana & Manzano Alonso, 1989; Manzano Alonso, 2001; Manzano Alonso & Barja, 1993).

Según este sistema, cada sistema modal se denomina por el sonido o la nota musical que nos sirve de fundamental (de tónica, entendida en un sentido amplio), a partir de la cual se construye la escala con los sonidos diatónicos. De esta manera, podemos encontrar:

- Modo de Mi
- Modo de La
- Modo de Sol
- Modo de Do
- Modo de Si
- Modo de Fa
- Modo de Re

Al modo, podemos añadir la información para indicar la altura a la que se transporta este sistema modal, y por tanto, la armadura. Referente a las armaduras, es importante tener en cuenta el principio de que en música popular tradicional no hay alturas absolutas, y por lo tanto las armaduras no indican tonalidades ni modalidades, sino que sirven únicamente para transportar a diferentes alturas las series naturales (Manzano Alonso, 2001).

Para detectar cuándo nos encontramos ante una pieza modal, es necesario adquirir una experiencia auditiva, así como una cierta lectura musical. Como norma general, podemos decir que, para detectar el sistema tonal de una melodía, basta con fijarnos en la última nota de la pieza musical en cuestión, siguiendo la norma que ya seguían los autores medievales, como Guido de Arezzo (Villoteau, 1817).

A pesar de los buenos resultados que da la aplicación de esta sencilla norma orientativa, pueden existir excepciones que conviene tener en cuenta. Por ello, se debe conocer también el comportamiento de los sistemas modales, ya que la melodía es un fiel reflejo de los mismos a través de los rasgos sonoros y de los momentos de reposo, cadencias y desarrollo.

En esta sección queremos abordar un pequeño resumen del análisis modal que se ha seguido para realizar la recopilación de fuentes de nuestro sistema, paso fundamental para el correcto desarrollo del mismo. Los sistemas están ordenados de mayor a menor frecuencia de aparición en la región de Castilla y León utilizado para la recopilación de fuentes de este trabajo. Toda la información reflejada se ha extraído a partir de la lectura y posteriores análisis y estudio personal del repertorio de esta tesis.

3.2.2.1 Modo de Mi

Como su nombre indica, este modo se construye tomando la nota Mi como la fundamental de la escala. Se caracteriza sobre todo por su peculiar interválica, con un semitono entre el primer y segundo grado, y el quinto y el sexto.

Sistema configurado en su sonoridad por la nota Mi como sonido básico, y por la interválica que se deriva de ello: un semitono entre los grados I-II, y V-VI. Así pues, una melodía construida alrededor de este sistema modal no podrá tener un comportamiento tonal, debido a dos factores fundamentales:

- El semitono que se comparte entre los grados I y II.
- El tono que hay entre la fundamental y el séptimo grado. Este tono impide que el séptimo grado (denominado en este caso, subtónica) se pueda considerar

una sensible, y por tanto no podemos construir una cadencia tonal basada en la dominante y en la resolución de la sensible.

- Los sonidos inestables, que incluyen nuevas sonoridades también alejadas de la tonalidad.

El modo de Mi aparece tan frecuentemente en el repertorio de música popular española, incluido el de Castilla y León, que podemos afirmar que es un modo representativo del territorio nacional.

Al igual que el resto de modos, el modo de Mi ha sufrido un proceso de evolución que se ha podido registrar a través del repertorio popular. Una de las vertientes de esta transformación es la tendencia de imitar el modo menor. Por ello, la entonación del segundo grado (Fa) suele aparecer alterado un semitono de forma ascendente (Fa#). Al final de este proceso, es natural realizar una tonalización completa convirtiendo la subtónica (Re) en la sensible del modo (Re#). Alternativamente, el tercer y sexto grados también pueden aparecer alterados, para evolucionar hacia la tonalidad mayor en lugar de la tonalidad menor. El otro itinerario evolutivo consiste en dirigirse a la sonoridad del modo de sol, al alterar de forma ascendente los grados II, III y VI.

En algunos casos, se han recopilado tonadas en diferentes momentos evolutivos de la misma, por tanto, pueden aparecer solo alguno de los grados cromatizados o incluso inestables, es decir, alterados y naturales dentro de la misma pieza musical.

En cualquier caso, los procesos evolutivos de los sistemas se perciben con bastante claridad cuando se han recogido unas cuantas variantes melódicas de un mismo tipo. Pero en otros muchos casos en los que el sistema de las tonadas se ha recogido en una sola variante, también se adivina, si se observa el comportamiento melódico, un muy probable estadio anterior en que la sonoridad debe de haber sido diferente de la que aparece en la versión en la que fueron recogidas (Manzano Alonso, 2001). Un amplio análisis de los repertorios puede permitir tipificar este proceso evolutivo.

3.2.2.2 Modo de La

El modo de La toma coincide en interválica con la escala menor tonal (natural), lo cual podría llevarnos a pensar erróneamente que estamos ante una escala menor. Para evitar esta confusión, es necesario fijarse en el comportamiento propio del modo de La, en el que podemos destacar tres rasgos principales:

- Inestabilidad o cromatización del tercer grado. Recordemos que el tercer grado da la característica sonoridad al modo menor. En la tonalidad, el tercer grado se

ve alterado solo cuando se desea tonalizar o modular hacia el cuarto grado. Sin embargo, en la música popular no existe ninguna vinculación entre la alteración del tercer grado y la modulación a otra escala. La inestabilidad de este grado parece tener su origen en el modo de Mi, para imitar su comportamiento en la medida de lo posible, sin perder su sonoridad.

- Comportamiento del séptimo grado, que no funciona como sensible, sino como subtónica. Esta propiedad, junto con el ámbito estrecho en el que se suele encuadrar una pieza de este tipo, hace que la melodía adquiera una especial seriedad.
- Ausencia de la función de dominante durante todo el desarrollo. Las melodías de este sistema modal tienden a provocar tensiones entre la fundamental y otros grados diferentes al quinto, como pueden ser el cuarto o el tercero. Aunque puede aparecer el séptimo grado cromatizado en determinados casos, no suele estar adscrito al uso de la dominante y la tónica en un espacio cadencial.
- Estas melodías suelen tener un ámbito melódico estrecho, con una estructura repetitiva con ciertos rasgos de arcaísmo. Todo esto lleva a pensar la larga existencia de este modo en la tradición oral, anterior al establecimiento de la tonalidad como la conocemos ahora.

En su proceso evolutivo, el modo de La tiende generalmente al modo menor tonal, por la sensibilización del VII grado en los incisos cadenciales. Con frecuencia, el final del proceso es la sonoridad mayor tonal, unas veces incompleta, con algún resto de su anterior estado en los grados VI y VII incidentalmente menores, y otras veces completa.

3.2.2.3 Modo de Sol

El modo de Sol es ciertamente similar al modo tonal mayor en su construcción, aunque no en su comportamiento. Su característica y principal diferencia con el modo mayor es la distancia interválica entre el séptimo grado y la fundamental, que es de un tono, olvidándonos por tanto de la sensible, y teniendo que hablar una vez más de la subtónica. La ausencia de la nota sensible proporciona a los finales cadenciales en este sistema modal una sonoridad severa, noble y equilibrada.

Este modo aparece también con cierta frecuencia en la música tradicional de Castilla y León, con un comportamiento muy diferente a la sonoridad tonal, que podemos resumir así:

- La cadencia final de las melodías en Sol modal suele estructurarse pasando primeramente por la nota fundamental y descendiendo uno o más grados conjuntos para volver enseguida a la fundamental, siempre pasando por el séptimo grado. Esta pequeña estructura es muy característica de este sistema modal
- El cuarto grado es el segundo sonido más importante después de la fundamental. En este sistema modal se produce una constante tensión entre el primer y cuarto grado que resuelve siempre en la fundamental. Estos continuos reposos y tensiones en este grado, junto con la constante aparición del séptimo grado rebajado, identifican claramente la sonoridad del modo de Sol, descartando la sonoridad mayor tonal.
- El ámbito de estas melodías suele ser comprender entre cinco y seis sonidos, pero es un modo que también aparece con cierta amplitud melódica, pudiendo encontrar tonadas de más de una octava de registro.

Como comentamos anteriormente, el modo de Mi podía evolucionar hacia la sonoridad de modo de Sol. Fijándonos en las características de ambos modos, podemos ver que, cuando en el modo de Mi se alteran el segundo, tercero y sexto durante toda la obra, la sonoridad cambia a modo de Sol, aunque su estructura no cambie. Por tanto, a veces el modo de Sol puede presentar inestabilidades en los grados III y VI, seguramente como consecuencia de una anterior pertenencia al modo de Mi.

Finalmente, en algunos casos el modo de Sol evoluciona hacia la tonalización de una forma muy sencilla, basta con alterar el VII grado del sistema para convertirse en la sensible del modo mayor tonal.

3.2.2.4 Modo de Do

El modo de Do comparte interválica con el modo mayor tonal, pero tienen distinto comportamiento, buscando algunos rasgos distintivos de la modalidad.

- Ausencia de las funciones de dominante y subdominante, y de las armonías que suelen acompañar a esos grados. En la tonalidad, la melodía viene muy condicionada por las leyes armónicas que rigen esta música; en la modalidad, no se aplican estas leyes y hay mucha más libertad de resolución y concatenación de grados. Por tanto, un comportamiento con falta de cadencias y resoluciones “prohibidas” es indicativo de modo de Do.
- Las melodías en modo de Do tienen sonoridad mayor, pero no siguen un comportamiento tonal, sino que el desarrollo es mucho más libre, sin ataduras

hacia el quinto y sexto grado. Los reposos no consisten en momentos cadenciales obedeciendo a las normas de la armonía clásica, son también mucho más libres.

- En este sistema modal, el ámbito melódico se reduce con frecuencia a cuatro o cinco sonidos, lo que a menudo denota el arcaísmo de un sistema.
- Una de las pruebas más claras del comportamiento modal es la gran dificultad que se presenta cuando se trata de armonizar estas melodías por procedimientos tonales usuales, a los que se resisten en muchos pasajes del decurso, y sobre todo en la cadencia final. Este dato revela que quienes inventaron estas melodías no consideraron acordes, modulaciones o cadencias organizadas de acuerdo a la armonía tonal.

En el modo de Do, los grados VI o VII (o incluso el III) pueden aparecer alterados medio tono de forma descendente, pero nunca hacen que la melodía pierda la sonoridad característica. Este fenómeno conforma nuevas melodías consecuencia de la mixtura de sonoridades mayores y menores.

Finalmente, cabe destacar que debido al ámbito estrecho que suele caracterizar a estas melodías, en ciertos casos se puede producir ambigüedad entre el modo de Sol y el modo de Do, sobre todo cuando el VII grado no aparece en la melodía, y a la vez se percibe en ella un comportamiento que no es claramente tonal. Normalmente, el modo de Do realiza reposos y tensiones en diferentes grados de forma uniforme, a diferencia del modo de Sol, que casi siempre suele tener el cuarto grado como el segundo sonido en importancia.

3.2.2.5 Modo de Si

Este sistema modal se construye a partir de la nota Si en la escala diatónica. Este sistema no es muy frecuente, pero existen algunas piezas cuya interválica coincide con este modo. Las tonadas en Si modal siempre tienen un final en Si, y su comportamiento es muy característico

- Para oídos tonales, es el sistema más sorprendente y desconcertante de todos. Como su nota fundamental es el Si, a los oídos poco acostumbrados a la modalidad siempre les sonará como una nota de paso hacia la tónica (que sería el segundo grado, el Do). final.
- La sonoridad de este insólito sistema se caracteriza por el ámbito de quinta disminuida en el que se suele desarrollar la melodía. Este comportamiento origina

melodías de una belleza extraña, añorante, un tanto inquieta y zozobrante, al moverse en el estrecho recinto de una quinta disminuida.

- El quinto grado, el Fa, es el rasgo distintivo de este modo, y nos permite diferenciarlo del modo de Mi, cuya interválica es idéntica salvo por ese grado.

3.2.2.6 Modo de Re

El modo de Re se caracteriza por coincidir en interválica con el modo menor salvo en el sexto grado, que forma una sexta mayor con la fundamental. Por tanto, si no aparece el grado VI en una melodía, este modo es totalmente asimilable a un modo de La.

Las melodías en modo de Re siempre producen una impresión de arcaísmo sonoro, pretonal, porque la sonoridad menor básica que les proporciona la quinta básica del sistema queda cortada en cuanto aparece el intervalo mayor del VI grado.

Si la melodía se mueve por grados conjuntos alrededor del sexto grado, aparece el tritono, también denominado diabolus en música, y que ya hace diez siglos se intentaba evitar a toda costa debido a su supuesta disonancia, rebajando medio tono el sexto grado para evitarla. Esta podría ser una razón por la cual es un sistema melódico que tiene muy escasa presencia en la tradición musical popular española, incluida Castilla y León.

3.2.2.7 Modo de Fa

El modo de Fa es un sistema de sonoridad mayor, pero cuyo cuarto grado está alterado un semitono ascendente, formando una distancia de cuarta aumentada (tritono) del sonido básico. Debido a esta interválica, este sistema carece de subdominante desde un punto de vista tonal.

Presente en muchas melodías gregorianas pertenecientes al tono 5º, fue suavizado en su aspereza tritónica por la bemolización del Si (el modo 6º, también en Fa, lo necesitaba menos, al moverse sólo hasta el La, pero también experimentó la misma acción suavizante cuando el Si aparecía), pasando de este modo a ser una escala mayor sin mayores pretensiones, y dando origen, muy probablemente al modo mayor tonal, más que el modo eólico o modo de Do griego, que nunca sabremos cómo funcionaba en las melodías, y que los teóricos del siglo XVII, Glareano y Zarlino, lo consideraron como sistema originario del modo mayor tonal, para dar un fundamento teórico a una práctica tonalizante que ya venía de siglos atrás.

En la música occidental este modo es muy escaso, mucho más en la tradición oral española, donde es prácticamente inexistente, aunque no ocurre en las de otras culturas

más lejanas. Cuando aparece alguna melodía conformada en su decurso por la interválica de este sistema modal, siempre se piensa que es debido a algún error o despiste del informante, a una mala asimilación, a una mezcla de sistemas debida a algún fallo de memoria (Manzano Alonso, 2001).

3.2.3 Ambigüedad modal

En la música popular de tradición oral, dada la fragilidad de la memoria como soporte de las creaciones musicales, se da un fenómeno que en los cancioneros queda reflejado muy claramente: la mixtura de sonoridades de diferentes sistemas modales.

Esta mezcla de sonoridades se produce cuando aparecen sonidos que pertenecen a dos sistemas modales diferentes, o bien a un sistema modal y a otro tonal, y no corresponden a ninguna modulación, sino que aparecen de forma pasajera sin definir ninguna sonoridad como la predominante.

A lo largo del tiempo, se pueden producir ambigüedades sobre todo en algunas tradiciones, que pueden definirse y catalogarse (Díaz Viana & Manzano Alonso, 1989). Algunas de las más frecuentes, pueden ser:

- Inestabilidad del segundo grado del modo de Mi, que puede llevarnos a confusión con el modo de La.
- Inestabilidad de los grados II, III y IV en el modo de Mi, puede llevar a confundir la tonada con un modo de Sol.
- La inestabilidad o ausencia del séptimo grado de un sistema de Do o un sistema tonal mayor, que puede producir confusión con el modo de Sol.
- La inestabilidad del tercer grado en el modo de Sol o de Do, o incluso en un sistema tonal, que produce una mezcla entre la sonoridad mayor y menor.
- La presencia de entonaciones de sonidos pertenecientes a dos sistemas diferentes en una misma tonada produce una mezcla de sonoridades que impiden adscribir la melodía a un sistema determinado, y la vuelven inclasificable.

Estos factores se han tenido muy en cuenta a la hora de seleccionar de las melodías para la elaboración del sistema generador.

3.2.4 **Ámbito melódico**

El ámbito melódico, marcado por los dos sonidos extremos de una serie que cada tonada toma para su desarrollo, está en relación estrecha con el sistema melódico, la interválica y la dirección melódica, elementos todos ellos que contribuyen a dar una fisonomía particular al repertorio de cada ámbito geográfico, a pesar de lo que todos ellos tienen en común.

La lectura de los diferentes cancioneros de Castilla y León (Díaz Viana & Manzano Alonso, 1989; Manzano Alonso, 2001; Manzano Alonso & Barja, 1993; Olmeda, 1975) nos permite llegar a la conclusión de que la mayor parte de las melodías no sobrepasan la amplitud de una octava. Si además tenemos en cuenta que muchas de las que abarcan una séptima no la alcanzan sino de forma esporádica e incidental, en pasajes que no tienen relevancia en el conjunto del desarrollo melódico. El ámbito de una quinta o sexta es la amplitud en que se mueven la mayor parte de las tonadas de esta región.

Por tanto, la construcción del hexacordo, es suficiente para describir completamente un sistema melódico modal, que suele venir definido por la colocación de los dos semitonos entre los diferentes grados y por los grados que cobran importancia como elementos de tensión o reposo.

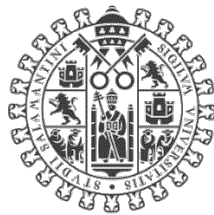
Esto unido al análisis del comportamiento que se ha descrito de las diferentes melodías que se han recogido en cancioneros de la región de Castilla y León, nos hace afirmar que los sistemas organizativos de las melodías populares no pertenecen al ámbito estrictamente tonal.

La definición del comportamiento, ámbito e interválica de la música modal que aparecen en los cancioneros es fundamental para su posterior análisis y codificación en nuevas soluciones tecnológicas. Para que un sistema basado en la IA sea capaz de reconocer sistemas y aprender de ellos, es necesaria una correcta clasificación de las piezas.

Sin embargo, esto no es suficiente, se requiere también una investigación profunda en los sistemas de codificación musical que puedan resultar útiles para la transmisión de la información a la máquina. Este factor, así como sus antecedentes históricos, se abordará en el siguiente capítulo.

Capítulo 4

Codificación de Elementos Musicales



**VNiVERSIDAD
DSALAMANCA**

Codificación de Elementos Musicales

La notación en la música de Occidente ha sufrido una paulatina evolución a lo largo de la historia. Sus orígenes se remontan a los primeros símbolos alfabéticos del mundo grecolatino hasta las últimas tendencias de notación abstracta usadas en la actualidad.

La representación sonora juega un papel fundamental para plasmar las propiedades de la música, tales como la altura del sonido, la duración, el tempo, la intensidad, el carácter, la articulación, etc. Las diferentes formas de notación musical han ido evolucionando a lo largo de la historia. Ya en la Antigüedad existen diferentes formas de recoger la música de forma escrita. No obstante, es en la Edad Media con el canto gregoriano, cuando se sistematiza un sistema de notación que será el precursor de la notación actual en la música Occidental.

La escritura musical ha tomado muy diversas formas, y son objeto de estudio por parte de los musicólogos. Los diversos sistemas de notación dan testimonio de la realidad artística y cultural del momento, y son una prueba del deseo del ser humano para preservar el patrimonio artístico musical. Actualmente además, adquieren una nueva funcionalidad como herramienta necesaria y esencial para la comprensión artística por parte de una entidad virtual o una máquina.

En este capítulo nos parece esencial realizar un recorrido histórico sobre los sistemas de notación con diferentes muestras, para luego ahondar en las diferentes propuestas de representación musical que se pueden aplicar junto con las nuevas tecnologías en la actualidad.

4.1 Evolución Histórica de la Notación Musical

Desafortunadamente, existe un gran desconocimiento acerca de la música prehistórica. Se han encontrado algunos restos arqueológicos acerca de instrumentos musicales muy primitivos, pero ningún indicio certero acerca de cómo se ejecutaba la música.

De la Antigüedad se han encontrado algunos testimonios sobre prácticas musicales a través de escritos históricos, filosóficos o científicos que proporcionan cierta información sobre la ejecución musical en la Antigua Grecia, tales como la colección de fragmentos musicales entre los que se encuentra el Epitafio de Seikilos, inscripciones o iconografía de algunos instrumentos musicales encontrados en vasos, relieves o mosaicos (Comotti, Tarazona, & Piccardo, 1986). Asimismo, a principios del siglo iii a. C, Aristóxeno de Tarento desarrolla una teoría para la enseñanza y utilización de la notación musical por los teóricos contemporáneos. De toda esta documentación se deduce claramente que los griegos, a pesar de poseer una notación musical, aprendían a interpretar sobre de forma oral y, por tanto, la improvisación era una frecuente herramienta para crear música nueva.

En el caso particular de la notación musical, han existido dos fuentes principales. La primera de ellas se refiere a tratados musicales y documentación afín. En este sentido, cabe destacar el pasaje coral de la tragedia de Orestes (Reyes, 2001), una ejemplificación de la notación musical vocal. La segunda fuente es principalmente el trabajo de Alipio, la *Eisagogé Musiké* (Macías, 2016), que recoge de forma sistemática la notación vocal e instrumental de las escalas griegas.

Basado en la información recabada, se deduce que en Grecia existían dos tipos de notaciones, una para la música vocal y otra para la instrumental, ambos alfanuméricos.

El alfabeto se empleaba para representar la altura de los sonidos. Cada letra, situada en vertical, correspondía a una nota fija. Además de la posición original del carácter —al cual le correspondía un sonido— había otras dos maneras de representar la letra: estas tres posiciones comprendían tres sonidos cada una. Los griegos no poseían un sistema de temperanza de las notas como el actual, y al no tener material historiográfico suficiente para comprobar cuáles eran estos sonidos, es muy difícil recrear fielmente estas notas. Se piensa que cada una de estas tres posiciones se utilizaban para completar los tres diferentes tetracordos que servían de base para las escalas: tetracordo diatónico, cromático y enarmónico. Este sistema no conocía las escalas propiamente dichas, sino que se basaba en la repetición de estos tetracordos para elaborar la escala griega completa. La notación instrumental original comprendía quince letras, correspondientes a dos octavas (Anderson, 1994).

Para la representación de la rítmica musical, se crearon una serie de signos convencionales basados en notas largas y breves, que serán las precursoras de los posteriores modos rítmicos. A pesar de ello, la rítmica de la música griega era muy flexible y variada, y su ritmo venía determinado por la mensura poética. Este tipo de notación fue adoptado también por el Imperio romano, tal y como reflejan diferentes documentos conservados en Roma (Rastall, 1983).

Durante el Medievo, la composición musical se centró en la música vocal religiosa, especialmente el canto gregoriano. La forma de transmisión y ejecución de estas melodías suscitó gran controversia en la comunidad, ya que, aunque algunas de las melodías pudieron difundirse literalmente, el grueso del canto gregoriano comprende cientos de melodías elaboradas, algunas de ellas cantadas solo una vez al año, lo que hace inverosímil una transmisión estrictamente oral. Algunos estudiosos sugieren que numerosos cantos se improvisaban sin convenciones estrictas, siguiendo un contorno melódico dado y utilizando fórmulas de apertura, cierre y ornamento, apropiadas a un texto particular o a determinado momento de la liturgia.

No obstante, estas variaciones dependientes del individuo no era algo deseable para la norma de la iglesia, que pretendían uniformar los territorios a través de la religión. A lo largo de la Alta Edad Media se intentó estandarizar el canto a través del adiestramiento de los cantores para que pudieran reproducirlas de forma fiel. Este proceso, al depender de la memoria y las aptitudes musicales del individuo, provocaba distorsiones de las melodías a lo largo del tiempo. Por tanto, la creación de una notación musical se hizo esencial.

4.1.1 Los Neumas

Las fuentes encontradas que datan de la época medieval sugieren que existía ya una notación primitiva en la época de Carlomagno (Reese, 1940) para transmitir el conocimiento musical. Esta notación primitiva, consistía en una serie de signos o neumas que se colocaban por encima del texto para indicar el número de notas de cada sílaba y si la melodía ascendía, descendía o repetía el mismo tono. Cabe destacar que los neumas no indicaban alturas de tonos o intervalos, sino que servían como reglas nemotécnicas que indicaban el perfil correcto de la melodía, por lo que estas tenían que seguir aprendiéndose de forma oral. Los neumas se colocaban a alturas variables con el fin de indicar el tamaño relativo y la dirección de los intervalos. Estos neumas se diversificaron y tomaron diferentes nombres según su funcionalidad (punctum, virga, pes, clivis, torculus, porrectus, custos, etc.)

4.1.2 Nombres de las notas

El origen de las sílabas para designar las notas musicales ha sido foco de investigación a lo largo de la historia. Por nombrar algunos casos, en 1680, Franciszek Meninski, publicó el *Thesaurus linguarum orientalium* (Meninski, Jenisch, Stachowski, von Klezl, & Ölmez, 2000). En él enunciaba la hipótesis de que las sílabas del solfeo (do, re, mi, fa, sol, la, si) pudieron haber derivado de las sílabas del sistema árabe *durr-i-mufassal* ('perlas separadas'), durante la época de las contribuciones islámicas a la Europa medieval. Por su parte, en 1780, Jean-Benjamin M. de Laborde reafirmó esta teoría en su *Essai sur la musique ancienne et moderne* (de Laborde, 1780). Guillaume Andre Villoteau, erudito francés que formó parte de la expedición de Napoleón a Egipto, sugirió que la notación musical musulmana habría influido a Guido D'Arezzo (Villoteau, 1817).

Parece claro que los orígenes de la notación musical tienen influencias árabes. En cualquier caso, utilizando la notación árabe ya desarrollada en la época, el monje benedictino Pablo el Diácono compuso el himno "Ut queant laxis" (también llamado "Himno a San Juan Bautista") (Harbinson, 1971). En la sílaba inicial de cada verso, puso el nombre árabe de las notas. Las frases de este himno, en latín, son las siguientes:

Nota	Texto en latín	Traducción
ut - do	Ut queant laxis	Para que puedan
re	resonare fibris	exaltar a pleno pulmón
mi	mira gestorum	las maravillas
fa	famuli tuorum	estos siervos tuyos
sol	solve polluti	perdona la falta
la	labii reatum	de nuestros labios impuros
si	sancte Ioannes.	San Juan.

Se comenzó además a trazar una línea horizontal que correspondía a una nota particular y orientar los neumas en función de esa línea. Esta línea se marcaba con la inicial correspondiente a la nota que representaba, casi siempre Fa (F) o Do (C), lo que dio lugar de forma posterior a las claves empleadas hoy en día.

Las claves por tanto, se empleaban para acomodar la lectura a cada tesitura vocal. De esta forma, el ámbito de la voz o el instrumento no sobresalía del pentagrama, lo que podría dificultar su lectura. Aunque las claves se emplean desde el siglo XII, cabe destacar que hasta el siglo XVI no se regularizó su empleo.

En la época medieval, el monje benedictino italiano Guido de Arezzo elaboró una aproximación a la notación actual, y popularizó los nombres utilizados en el Himno a San Juan Bautista. Asimismo, para la transmisión de la notación musical, ideó un

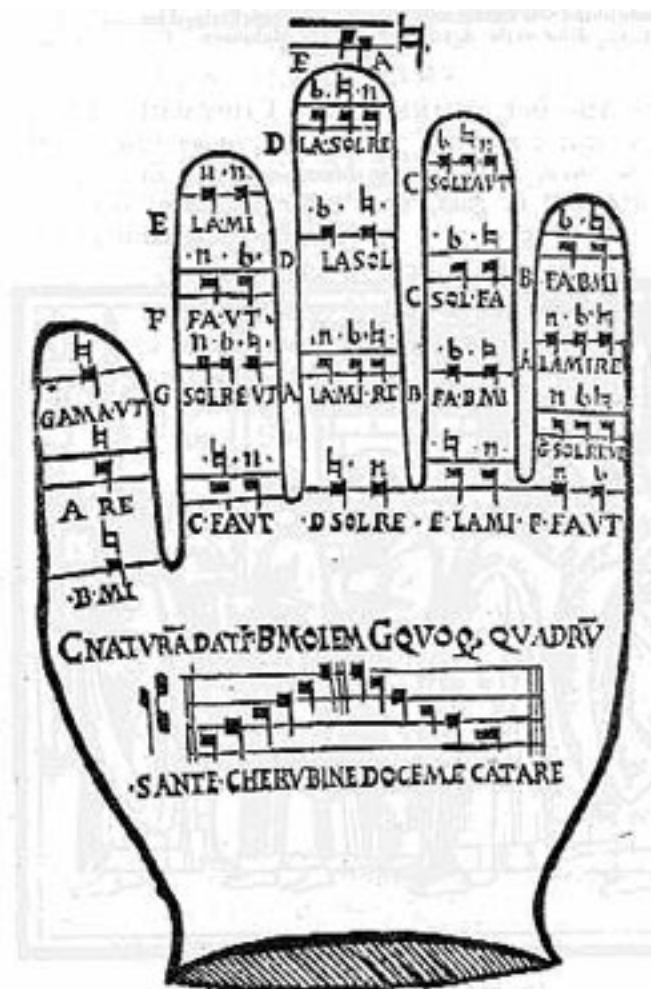


FIGURA 4.1: Reproducción del esquema de mano guidoniana.

sistema mnemotécnico que actualmente se le denomina como mano de Guido (Figura 4.1 (Miller, 1973)).

Cada porción de la mano en este esquema representa una nota específica dentro del hexacordo, con una tesitura cercana a las tres octavas desde Γ "ut" (o sea, "gamma ut", cuya contracción "gamut" puede referirse a la palma completa) hasta Υ La. La tesitura que abarcaría en la actualidad sería, desde el Sol inferior de la actual clave de Fa hasta el Mi superior de la clave de Sol. Para enseñar el sistema, el maestro indica una serie de notas sobre la palma de la mano y el estudiante debe entonarlas siguiendo los gestos utilizados además de acuerdo al sistema del solfeo. Este esquema se extendió rápidamente y dio origen al tetragrama medieval, el precursor del pentagrama actual.

Durante esta época, se realizaron también modificaciones en la forma y disposición de los neumas y sus signos asociados, provocado en parte por la sustitución de plumas de escritura en punta por otras con terminación en forma de bisel. Por tanto, los neumas



FIGURA 4.2: Escala musical empezando desde Do.

dieron lugar a la denominada notación cuadrada. También en este proceso (ya en el siglo XVI) se añadió una quinta línea a las cuatro que se utilizaban para escribir música, llegando a la forma en que hoy lo conocemos, el pentagrama.

En el siglo XVIII, el musicólogo italiano Giovanni Battista Doni —para evitar la complejidad que provoca la letra "t" de ut, y buscando una sílaba que terminara en vocal para facilitar el solfeo— sustituyó el nombre de ut por el nombre original de la nota en árabe: dal. La modificó ligeramente para que se pareciera al inicio de su propio apellido: Do (que también se ha hecho provenir de *Dominus* o Señor) (Palisca, 1985). En Francia se sigue utilizando el nombre ut para los términos técnicos o teóricos (por ejemplo trompette en ut o clé d'ut), aunque para el solfeo se utiliza el monosílabo do. Tras estas reformas y modificaciones, las notas pasaron a ser las que se conocen actualmente:

El ejemplo anterior muestra una escala de Do mayor. Actualmente la escala musical diatónica (sin alteraciones ni cambios en la tonalidad) está compuesta por siete sonidos. En el caso de la mencionada escala mayor de Do, las notas son las siguientes:

Sistema latino	do	re	mi	fa	sol	la	si
Sistema inglés	C	D	E	F	G	A	B
Sistema alemán	C	D	E	F	G	A	H

La aparición de la partitura supuso un progreso decisivo en la escritura musical: con la indicación de la altura de los sonidos será posible "leer" y transmitir la música, aligerar la memoria, y así facilitar el aprendizaje de los cantos.

Aunque la notación neumática y, posteriormente, la notación cuadrada supuso una revolución en la escritura musical, era necesario la introducción de un sistema que representara la dimensión del tiempo, refiriéndonos a la duración sonora. Existen algunos manuscritos que contienen signos que indican valores rítmicos, aunque es muy probable que el canto fuese relativamente libre en cuanto a la métrica. Por tanto, el mayor problema con relación al canto llano atañe a su interpretación rítmica, debido a la imprecisión de la notación neumática en este sentido, motivada por el hecho de que los copistas dieran más importancia al giro melódico, descuidando las indicaciones rítmicas.



FIGURA 4.3: Los modos rítmicos de Garlandia.

Este problema puede salvarse en cierta medida con una buena declamación del texto. Sin embargo, el surgimiento de la polifonía en la Edad Media forzó a la creación de un sistema para poder reproducir fielmente los cambios rítmicos de los sonidos.

4.1.3 La escritura del ritmo musical

A finales del siglo XII, los compositores de la escuela de Notre Dame desarrollaron por primera vez desde la Grecia antigua una notación que indicaba la duración de las notas. Esta notación denominada que se aplicó a toda la música polifónica hasta bien entrado el siglo XIII, siglo en que fue descrito en un tratado atribuido a Johannes de Garlandia (Waite, 1960). En lugar de emplear la forma de las notas para indicar su duración relativa, emplearon combinaciones de grupos de notas, llamados ligaduras, para indicar patrones de larga (nota larga) o breve (nota corta). Existían seis patrones básicos, llamados “modos” por Garlandia, que se identificaban por un número, y posteriormente, con los nombres de los pies métricos del versus francés o latino: troqueo, yambo, dáctilo, anapesto, espondeo y tribraquio.

La unidad básica de tiempo (conocida como *tempus*), transcrita aquí como una corchea, se escribía siempre en grupos de tres. Los modos 1 y 5 eran los más usuales y, al parecer, los más antiguos (Sans, 2002). El modo 4 era poco frecuente, y lo más probable es que se incluyera para completar el sistema. Por otra parte, los ritmos menores se concebían como “fraccionamiento” de los valores modales regulares, y se indicaban mediante notas adicionales intercaladas en las ligaduras, o mediante anotaciones añadidos.

En teoría, una melodía compuesta en un modo determinado consistía en las repeticiones del patrón, terminando cada frase con un silencio. No obstante, en la práctica el ritmo era más flexible para no caer en la monotonía rítmica.

En el siglo XIII con la creación de los motetes polifónicos, los cuales eran eminentemente silábicos, las ligaduras ya no podían emplearse para la notación rítmica. Por tanto, se hizo necesario un nuevo sistema de notación rítmica. Por ello, Franco de Colonia, teórico de la música y compositor, publicó el tratado *Ars cantus mensurabilis* (de Colonia, Reaney, & Gilles, 1974), donde codificaba un nuevo sistema, la llamada notación franconiana. Por primera vez, las duraciones relativas fueron consignadas por las formas de las notas. Existían cuatro signos principales:

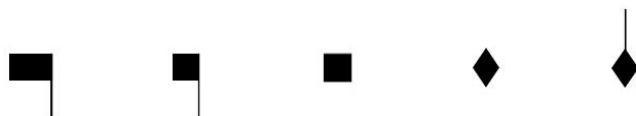


FIGURA 4.4: Los cuatro símbolos principales de la notación franconiana.

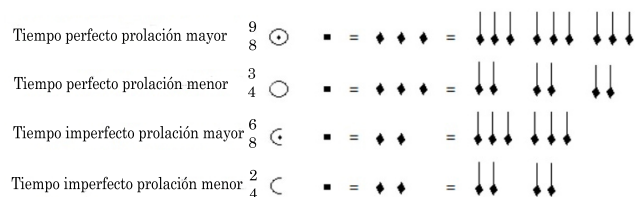


FIGURA 4.5: Figuración de la división del compás primitivo.

Esta notación permitía a los compositores disponer de una mayor libertad y variedad rítmica, que dio un paso más con Petrus de Cruce, con quien las tres voces de los motetes empezaron a progresar a velocidades bastante distintas entre sí (Rastall, 1983).

Posteriormente ya en el siglo XIV, el Ars Nova, estilo musical francés inaugurado por Philippe de Vitry (1291-1361) en la década de 1310 y continuado hasta la década de 1370, fue el principal impulsor de dos innovaciones en la notación del ritmo, descritas en el tratado “Ars nova” de Vitry y en los tratados de Jehan des Murs (Desmond, 2015). Por una parte, se proponía la división en dos, denominada “imperfecta” frente a la triple o “perfecta”. Por otra parte, se hacía posible la división de la semibreve, hasta ese momento el menor valor posible de una nota, en mínimas. Estas dos innovaciones ofrecían una flexibilidad rítmica mucho mayor, incluyendo nuevos tipos de compás y, por primera vez, la sincopación.

En este tipo de notación, la forma de cada nota podía indicar su duración particular, que permanecía inalterada por las notas que la rodeaban. Además, la forma de las notas es la misma que en la notación franconiana, con el añadido de la mínima. En ambos sistemas, las ligaduras siguieron siendo empleadas para ciertas combinaciones de longas y breves, como había sido el caso desde la notación de Notre Dame. Las unidades de tiempo podían formar grupos de dos o tres notas, con diferentes niveles de duración, lo que permitía una variedad mucho más amplia en los ritmos que podían ser escritos. La longa, la breve y la semibreve podían dividirse en dos o tres notas del siguiente valor más pequeño. La división de la longa fue denominada modo (*modus*), la de la breve tiempo (*tempus*) y la de la semibreve prolación (*prolatio*).

Las cuatro combinaciones posibles de tiempo y prolación dan lugar a cuatro compases diferentes. Posteriormente, el tiempo y la prolación fueron indicados mediante una serie de signos de mensuración: un círculo para el tiempo perfecto o un círculo incompleto

para el imperfecto, con un punto para la prolación mayor y sin él para la prolación menor. En ocasiones, se empleaba un sistema de seis líneas o hexagrama.

En el siglo XV, se siguió empleando esta notación, aunque se introdujeron algunas modificaciones en la grafía de las notas. Debido a la progresiva sustitución del pergamino por el papel, mucho más frágil, en torno a 1425, los copistas empezaron a escribir las notas con cabezas huecas (en ocasiones, a esta notación se le da el nombre de notación blanca) en lugar de rellenar cada cabeza con tinta (notación negra). Rellenar las notas negras sobre la áspera superficie del papel aumentaba el riesgo de salpicar la tinta o de que esta se corriese por el papel, arruinando toda la página.

Ya en el Renacimiento, los compositores añadieron valores de notas aún más breves, cada una con la mitad de duración que la nota inmediatamente superior, rellenando la cabeza de una mínima para originar una semiminima y añadiendo uno o dos indicadores a la semiminima para producir la fusa y la semifusa.

A finales del siglo XVI, la forma cuadrada de las notas en la notación renacentista se cambió a las cabezas redondas empleadas actualmente. Además, las ligaduras cayeron en desuso a partir del siglo XVII, y se comenzó a utilizar la barra de compás, añadida en esta misma época.

4.1.4 La tablatura

En el Renacimiento tuvo lugar la aparición de las tablaturas, una manera de representar gráficamente las posiciones de la mano al interpretar los distintos acordes en un instrumento de cuerda pulsada, como el laúd o la tiorba, o de teclado.

Las tablaturas para instrumentos de cuerda hacen uso de letras o números sobre líneas o letras colocadas libremente. Al inicio del diseño de las tablaturas, cada sonido se indica el momento de inicio, aunque no su duración ni la conducción de voces cuando las piezas son polifónicas. Posteriormente, las tablaturas de laúd consistieron en una escritura de posiciones. La tablatura siempre contenía un sistema de seis líneas, donde cada una era la imagen de una cuerda del instrumento, hallándose la más grave situada en la parte superior, correspondientemente con la posición del diapasón. Las cifras situadas entre las barras de compás indicaban el traste que debía pisarse y las plicas de las notas señalaban la duración de los sonidos. Estas tablaturas se hicieron especialmente populares a principios del siglo XVII en Inglaterra, en las “lute song” o canciones con laúd.

Las tablaturas para instrumentos de teclado, denominadas “cifra de órgano”, también podían ser interpretadas por instrumentos como el arpa o la vihuela. En ella, se disponen

letras, números o símbolos sobre tantas líneas como voces tenga la obra. Cada símbolo suele indicar las teclas que deben ser presionadas.

Existían varios tipos de tablatura, dependiendo de la situación geográfica:

- En Alemania se presentaban dos modalidades. La modalidad antigua se utilizó en los siglos XV y XVI. En ella aparecían de seis a ocho líneas agrupadas con una llave. En la parte superior se colocaban notas mensurales, mientras que en la inferior se colocaban letras indicando las posiciones. La modalidad nueva se utilizó entre los siglos XVI y XVIII, y representaban todas las voces mediante letras.
- En España se utilizaban las notas mensurales y las cifras de forma similar a la notación antigua alemana.
- En Italia se colocaban notas en sistemas de seis a ocho líneas en la parte superior, y de cinco a seis líneas en la parte inferior.
- En Inglaterra, notas ubicadas en dos sistemas de seis líneas.
- En Francia, usaba notas situadas en dos sistemas de cinco líneas.

El sistema de notación de tablaturas se continúa utilizando actualmente, principalmente por personas sin una formación musical profesional o aficionados de instrumentos de cuerda o de teclado como la guitarra, el bajo o el teclado electrónico. Su uso se ha extendido considerablemente a través de Internet, debido a que los documentos de texto que las contienen son fáciles de transcribir y copiar.

4.1.5 El Bajo Continuo

Ya en el Barroco, tanto la célebre escuela para órgano francesa como los laudistas franceses comenzaron a emplear ornamentos diseñados para poner de relieve las notas importantes y dar carácter a las melodías. Estos adornos, denominados *agreements*, se convirtieron en un elemento fundamental en la música francesa y eran añadidos por los intérpretes de manera libre e improvisada. Poco después, el uso de *agreements* pasó a la música vocal.

En el siglo XVII se popularizó también el uso del bajo continuo (en italiano, *basso continuo*). Este sistema consistía en escribir la melodía principal y el bajo, dejando al intérprete la construcción de los acordes o las voces interiores apropiadas. Existía un sistema de números y símbolos que se colocaba debajo de la línea del bajo para indicar

qué inversiones de los acordes había que tocarse, o si era necesario añadir notas no pertenecientes al acorde o a la tonalidad. Esta notación se denomina bajo cifrado.

En la escritura del bajo cifrado existían algunas reglas estandarizadas que debían seguirse. Algunas de ellas eran:

- Si la nota del bajo no tenía cifra, debía añadirse una tercera y una quinta justa. Del mismo modo, si aparecía un 3 o un 5, también tendría que tocarse además, una quinta justa.
- Si se colocaba un 6, esto implicaba un intervalo de sexta, lo que ahora conocemos como la primera inversión de un acorde.
- Si se colocaba un 7, esto suponía la adición de una séptima al acorde construido.
- Las alteraciones se colocaban al lado de la cifra para indicar una alteración accidental.
- Existían algunos símbolos reservados para indicar algunos sonidos especiales dentro de la tonalidad. Por ejemplo, el símbolo + indicaba la aparición de la sensible. El símbolo / tachando un sonido indicaba que el intervalo tachado era disminuido.

El bajo continuo podía ser interpretado por uno o varios instrumentos, aunque típicamente era ejecutado por un instrumento armónico tal como un clave, un órgano, un arpa o un laúd. Asimismo, la voz de bajo solía interpretarse por un instrumento de tesitura grave como el violoncello, el fagot, la viola da gamba o el contrabajo.

4.1.6 Hacia una notación moderna

Durante la época clásica (segunda mitad del siglo XVIII), no se produjeron innovaciones significativas en la notación, continuando con el uso de la notación de cabeza redonda. Sin embargo, se extendió el uso de signos y expresiones adicionales para indicar la dinámica de las secciones musicales. El bajo continuo siguió utilizándose, pero abandonando los ‘àgrements’ de la etapa anterior.

Durante el Romanticismo, cayeron en desuso instrumentos como el clavicémbalo, sustituyéndose por el piano moderno. Además, los cambios en las texturas y formas predominantes ocurridos en esta época, así como el surgimiento de la gran orquesta y la figura del director profesional promovió el uso de la notación clásica. Todos estos factores motivaron el abandono definitivo del bajo cifrado y de otras prácticas barrocas relacionadas con la notación.

En esta misma etapa surgió un creciente interés por la música antigua, especialmente del Renacimiento y del Barroco. En este contexto, tuvo lugar el estreno y re-edición de las pasiones de Johann Sebastian Bach por la Singakademie de Berlín, así como la publicación en multitud de ediciones de piezas de canto gregoriano. La reforma de la iglesia promovió activamente, desde mediados de siglo, la composición de una música coral sin acompañamiento, en un estilo inspirado en Palestrina. Los músicos anglicanos recuperaron los clásicos de su tradición, los ortodoxos rusos renovaron su música sacra y las iglesias afroamericanas desarrollaron sus propios estilos de música. Toda esta música producida o reeditada en esa época empleó la tradicional notación redonda, la que actualmente se emplea, cobrando además una gran importancia los signos y símbolos que indican dinámicas, tempo y agógica.

4.1.7 Siglo XX y la nueva notación indeterminada

Durante el siglo XX, y de forma paralela a la notación tradicional, comenzaron a aparecer nuevas corrientes de vanguardia en la música, que también influyeron en la notación. Estos cambios estaban normalmente motivados por la incapacidad de reflejar los nuevos efectos musicales por medio de la notación tradicional.

A partir de los años cincuenta surgieron distintos sistemas de notación gráfica que variaban desde una serie de símbolos similares a los usados tradicionalmente hasta sofisticadas notaciones con diferentes colores en las que la transformación gráfica es total. Estas nuevas notaciones no tenían referencias claras al sistema de notación convencional. Por tanto, aunque podían sorprender visualmente, en muchas ocasiones no reflejaban con exactitud la música que debía sonar.

Esto venía agravado por el hecho de que no existía (ni existe) una estandarización en torno a los símbolos empleados. De este modo, cada compositor o escuela tiene su propio sistema de notación, lo cual podía aumentar aún más la confusión para los intérpretes. En un intento de formalizar el uso de símbolos gráficos en las nuevas notaciones, han surgido una serie de agrupaciones, intérpretes y musicólogos especializados en el estudio y la interpretación de partituras gráficas. Fruto de estas clasificaciones metodológicas, se han publicado algunos tratados para fijar las bases de un método de nueva notación, sin demasiado éxito.

Cabe destacar la labor del compositor estadounidense John Cage en los nuevos sistemas de notación. Cage presentó la denominada indeterminación, donde el compositor deja ciertos aspectos de la música sin especificar, para libre interpretación del músico. Parte de esta idea la extrajo de la obra de su amigo Morton Feldman, quien en piezas tales como *Projection 1 para violonchelo* (1950) utilizó una notación gráfica para indicar el

timbre, el registro y la duración en términos generales, en lugar de especificar de manera precisa las notas y las duraciones. El *Concierto para piano y orquesta* (1957-1958) de Cage muestra sesenta y tres páginas con diversos tipos de notación gráfica, pensada para ser ejecutada por los intérpretes de acuerdo a las instrucciones de la partitura; los sonidos exactos generados varían considerablemente de una interpretación a otra. Otro ejemplo de Cage en el que se emplean la notación gráfica es *Variations IV* (1963), en el que emplea hojas de plástico transparente con líneas, puntos y otros símbolos, que se superponen al azar y se leen después como notación.

Por otro lado, Iannis Xenakis, compositor, arquitecto e ingeniero, quiso dar un paso más al fundamentar su música en conceptos matemáticos tales como distancias geométricas o reglas fractales. En su obra *Metastaseis* (1953-1954), cada intérprete de cuerda de la orquesta posee una parte distinta. En la partitura general, Xenakis dibujó una serie de gráficos, a modo indicativo de los sonidos resultantes.

En el ámbito de la música electroacústica, algunos artistas han creado partituras visuales para ilustrar distintas piezas que se encuadran en esta tendencia. Así, el artista alemán Rainer Wehinger creó en los años setenta una partitura para la obra *Artikulationh* de Guiorgui Lígueti, en la que se indican ciertos aspectos poco convencionales, como los altavoces activos en cada momento. No obstante, este tipo de partituras no buscan servir de soporte para la música, con objeto de su interpretación posterior, sino que más bien tratan de reflejar una pieza ya creada.

En el siglo XXI, han surgido compositores que se han mostrado favorables al empleo de este tipo de notaciones de carácter gráfico. En el contexto actual, cabe aludir a los compositores españoles Manuel Castillo, Jesús Villa Rojo y Ramón Roldán, que hacen uso de sistemas de notación basados en la sugerencia, por medio de la cual buscan conferir al intérprete un papel más importante en el resultado musical final.

4.2 Notación musical aplicando nuevas tecnologías

A principios del siglo XIX, Charles Babbage, ingeniero mecánico inglés, originó el concepto de máquina programable e inventó la primera computadora mecánica. Posteriormente, mejoró esta máquina de manera que pudiera crear programas externos que se ejecutaran en la computadora. Inspirado en las tarjetas que se empleaban en telares mecánicos, Babbage creó una serie de tarjetas con relieve, denominadas tarjetas perforadas, para la entrada de programas y datos.

Este diseño conformó la primera computadora de uso general. Sin embargo, el proyecto no obtuvo la financiación deseada, y las dificultades de construir las piezas, muchas de ellas de forma manual, hizo que se abandonara el proyecto.

Durante la primera mitad del siglo XX, se diseñaron diferentes computadoras analógicas cada vez más sofisticadas, que utilizaron un modelo mecánico o eléctrico como base para la realización de cálculos. Sin embargo, a diferencia de la máquina de Babbage, estos no eran programables y carecían de la versatilidad y precisión de las computadoras digitales modernas.

En 1936, Alan Turing propuso un dispositivo simple que llamó “máquina de computación universal” ahora denominadas máquinas de Turing. Demostró que una máquina de este tipo es capaz de computar cualquier cosa que sea computable mediante la ejecución de instrucciones (programa) almacenadas en una cinta, permitiendo que la máquina sea programable. El concepto fundamental del diseño de Turing es el programa almacenado, donde todas las instrucciones para la informática se almacenan en la memoria.

Seguiente la teoría propuesta por Turing, en 1945, se construyó el ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), la primera computadora programable electrónica. En este caso, un “programa” en ENIAC se creaba a partir de los estados de sus cables de conexión e interruptores. Cada vez que se quería cambiar la programación, era necesario conectar sus componentes en diferentes lugares e intercambiar algunas piezas, lo cual era largo y tedioso. Esta máquina primitiva tenía grandes dimensiones ocupaba una habitación entera, pesaba 30 toneladas, usaba 200 kilovatios de energía eléctrica y contenía más de 18.000 tubos de vacío, 1.500 relés y cientos de miles de resistencias, condensadores e inductores.

A partir de este momento, se comenzó a trabajar en la mejora de los componentes y de la eficiencia de los computadores. La llegada del circuito integrado supuso una explosión en el uso comercial y personal de las computadoras y condujo a la invención del microprocesador, lo que posteriormente dio lugar a los modernos ordenadores que conocemos.

La mejora de componentes informáticos venía muchas veces propiciada por nuevos retos computacionales que se habían planteado en el pasado y que aún se planteaban. A mediados del siglo XX, la teoría de la computación de Alan Turing sugería que una máquina, al barajar símbolos tan simples como “0” y “1”, podría simular cualquier acto de deducción matemática. Turing por tanto afirmaba que las computadoras digitales pueden simular cualquier proceso de razonamiento formal. Turing propuso que “si un ser humano no pudiera distinguir entre las respuestas de una máquina y un ser humano, la máquina podría considerarse inteligente”.

Esta teoría junto con los avances electrónicos y los descubrimientos concurrentes en neurobiología, teoría de la información y cibernética, llevó a los investigadores a considerar la posibilidad de construir un cerebro electrónico, lo que dio lugar a la Inteligencia Artificial.

A partir de los años 50, comenzaron los primeros trabajos que trataban de imitar el comportamiento humano inteligente. En esta época, los investigadores Allen Newell (CMU), Herbert Simon (CMU), John McCarthy (MIT), Marvin Minsky (MIT) y Arthur Samuel (IBM) se convirtieron en fundadores y líderes de la investigación en IA. Ellos y los investigadores a su cargo generaron nuevos programas que permitían a las computadoras aprender estrategias de juegos como las damas o el ajedrez, o que incluso podían jugar mejor el hombre promedio.

A pesar de estos primeros experimentos, el retraso en los avances a nivel electrónico y la falta de financiación hizo que muchos de los proyectos exploratorios de IA fueran abandonados. No obstante, a principios de la década de 1980, la investigación en IA fue retomada al generar, con un gran éxito comercial, sistemas expertos. Este *software* “inteligente” simulaba el conocimiento y las habilidades analíticas de los expertos humanos. Sin embargo, el uso de la IA no se extendió hasta finales de 1990, cuando comenzó a aplicarse en logística, extracción de datos, diagnóstico médico y otras áreas.

La eficiencia y los resultados positivos de la aplicación de nuevas técnicas de IA se debió en parte al aumento del poder computacional y la creación de nuevos vínculos entre la inteligencia artificial y otros campos del ámbito científico como las matemáticas, la estadística y la economía. A modo de ejemplo, podemos citar el programa Deep Blue, que se convirtió en el primer sistema de reproducción de ajedrez por ordenador que fue capaz de vencer al campeón reinante de ajedrez mundial, Garry Kasparov en 1997.

Actualmente, los diferentes avances computacionales en el campo de la Inteligencia Artificial que han ocurrido en los últimos años han atraído la atención de investigadores de múltiples orígenes y motivaciones, creando campos innovadores que unen conceptos aparentemente dispares como la Inteligencia Artificial y el Arte. Desde un campo de investigación interdisciplinaria que se encuentra en la intersección de las áreas de IA, Psicología, Ciencia cognitiva, Lingüística, Antropología y otras ciencias centradas en el ser humano, nació el área de la Creatividad Computacional (CC). CC se puede definir como una “filosofía, ciencia e ingeniería de sistemas computacionales que, al asumir responsabilidades particulares, exhiben comportamientos que los observadores imparciales considerarían creativos ” (Colton & Wiggins, 2012).

El área de Creatividad Computacional se ha desarrollado recientemente significativamente con la entrada de compañías tan importantes como Google, con

proyectos como DeepDream, que usa una red neuronal convolucional que transforma imágenes o, más recientemente, Magenta (Casella & Paiva, 2001), el equivalente de la generación de música.

Uno de los objetivos de esta rama de la informática es aplicar la inteligencia artificial para generar productos creativos como obras pictóricas, poesía o música. El modelado de un sistema inteligente que genere música requiere no solo del desarrollo de un sistema inteligente, sino de la representación de conceptos como reglas armónicas, notas y relaciones musicales de diversa índole, y que requiere de un estudio previo muy profundo.

En particular, la representación utilizada para codificar las notas juega un papel fundamental en la generación automática de música, tanto si son melodías como progresión de acordes. Estas representaciones deben cumplir un objetivo fundamental: ser entendibles para una máquina. De forma muy estricta, un computador se reduce a un conjunto de dispositivos electrónicos con ciertas conexiones que permite realizar cálculos. Es por tanto natural pensar que solo podría entender números y operaciones matemáticas más o menos complejas.

Asimismo, ya en la Antigüedad se demostraba la interrelación que existía entre la música y las matemáticas, ya sea por las leyes de la acústica, ya sea por la proporcionalidad o por la astronomía. De estos principios matemáticos y físicos, pueden generarse relaciones que un computador puede medir y almacenar en su base de conocimiento.

Por otro lado, también es necesario representar el conocimiento musical y semántico que no podríamos representar a través de principios matemáticos, tales como instrumentos musicales, duraciones o frases musicales. Siguiendo este razonamiento, podríamos dividir las representaciones musicales en dos grandes grupos: las representaciones geométricas y las semánticas.

Dentro del primer grupo se engloban representaciones en las que las relaciones matemáticas, como la distancia geométrica entre notas, son capaces de reflejar algunas propiedades de la teoría de la percepción o de la música. Estos espacios permiten construir ciertas reglas con las que podemos realizar afirmaciones tales como que los acordes que están más próximos, utilizando alguna medida de distancia, generan mejores transiciones que acordes que están más alejados. Algunos autores han propuesto organizar las notas musicales en espacios geométricos de acuerdo a intervalos musicales y otras propiedades musicales. En estos espacios, las propiedades geométricas como la cercanía reflejan propiedades musicales como la relación perceptual. El Tonnetz (Cohn, 1997) es un ejemplo temprano de tal representación geométrica de las propiedades del sistema tonal porque las pequeñas distancias reflejan relaciones armónicas cercanas. Posteriormente, (Chew, 2007) propuso un modelo de hélice

tridimensional para representar las relaciones tonales. (Harte, Sandler, & Gasser, 2006) mapeó vectores cromáticos de 12 bloques al interior de un toroide donde las relaciones armónicas cercanas aparecen como pequeñas distancias. (Bernardes, Cocharro, Caetano, Guedes, & Davies, 2016) extendió este último espacio, para poder representar las relaciones perceptuales entre diferentes configuraciones a través de la Transformada de Fourier Discreta ponderada (DFT) de unos vectores llamados vectores de cromas. En el Espacio de Intervalos Tonales o Tonal Interval Space (TIS), las distancias entre las configuraciones musicales de varios niveles capturan la relación perceptual y las magnitudes indican la consonancia. En algunos trabajos anteriores, la representación utilizada para codificar configuraciones tonales (Navarro et al., 2015) limitó el sistema a la generación de acordes en la escala de Do mayor y la proximidad en el espacio no refleja las propiedades perceptuales de los acordes. En este trabajo, proponemos utilizar el espacio TIS (Bernardes et al., 2016) para representar configuraciones tonales multinivel tales como las notas individuales, intervalos, acordes y escalas, ya que las propiedades geométricas del espacio están relacionadas con propiedades perceptuales y musicales de estas configuraciones.

Por su parte, las representaciones semánticas consisten en la asociación pseudoaleatoria de valores matemáticos, en su mayor parte, números, a determinadas propiedades y elementos musicales. Estas representaciones no permiten en su mayor parte la aplicación de determinadas operaciones como la distancia Euclídea para interrelacionar los elementos, ya que no buscan la representación de la música en espacios geométricos ni la interrelación a partir del uso de propiedades físicas o acústicas. No obstante, esta representación es de especial interés para la traducción automática numérica a elementos musicales a través de lo que se denomina un sintetizador. Este es el caso de los archivos MIDI, que contienen una representación numérica de elementos como la instrumentación, las notas musicales y sus duraciones, entre otros. Del mismo modo, este tipo de representación semántica permite guardar datos musicales de forma eficiente y utilizarlos como base de conocimiento. Esta base de conocimiento que, al fin y al cabo, es un conjunto de números sencillos, permite entrenar a modelos estadísticos para generar música con un estilo similar.

En este capítulo se describirán ampliamente las representaciones más utilizadas en la literatura y cuál se ha empleado y adaptado para nuestro sistema, justificando la motivación. En la primera sección se realizará una breve introducción a algunas propuestas para la representación geométrica de acordes. La Sección 4.4 describe las representaciones semánticas más importantes, junto con sus características principales. Posteriormente, se detallará la representación que se va a utilizar en la Sección 4.5 recogiendo sus propiedades y principales ventajas, y cómo se ha codificado las recopilaciones aquí utilizadas. Este capítulo sentará las bases para que, en posteriores

capítulos, podamos comprender cómo analiza los datos el sistema. Por último, se incluirá un apartado de conclusiones a modo de resumen del capítulo.

4.3 Espacios Geométricos para la Representación de Sonidos

La representación de las notas musicales afecta a la forma en que los acordes, las escalas y muchas otras propiedades musicales están relacionadas entre sí en el espacio subyacente. Perceptualmente, el tono musical varía a lo largo de dos dimensiones llamadas croma y altura tonal (Krumhansl, 1990). El croma tonal refleja la circularidad perceptual de las clases tonales o notas mientras que la altura tonal organiza naturalmente los sonidos de grave a agudo. Dentro del contexto de la música tonal, la mayoría de los principios de armonía se basan en la noción de intervalo musical, comúnmente confinada a las relaciones entre las clases tonales, mientras que la tonalidad establece una jerarquía entre los sonidos. La Figura 4.6 ilustra una representación simple para dos octavas de la escala diatónica de Do Mayor (C por su codificación en tablatura americana), donde a cada nota se le asigna un valor numérico entero. Usando esta representación para acordes de tres notas (tríadas), la tónica o primer grado de la escala Do mayor (CM) es el acorde Do mayor $D_{CM} = [1 \ 3 \ 5]$ y el grado dominante o quinto es el acorde de Sol mayor (GM) $D_{GM} = [5 \ 7 \ 9]$. Estos acordes se pueden ver como vectores D en un espacio tridimensional donde los números enteros son las coordenadas. Obsérvese que la dimensión del espacio resultante está dictada por el número de notas, de manera que las clases tonales, los intervalos (díadas), los acordes (tríadas) y las escalas residen en espacios diferentes. Además, ni las normas de los vectores ni las distancias entre los vectores tienen ninguna relación especial con las propiedades armónicas de los acordes que representan. Por ejemplo, cuando los acordes que comparten una estrecha relación armónica en el sistema tonal se encuentran en puntos cercanos en el espacio subyacente, la proximidad puede usarse como criterio para la progresión automática entre acordes. Un algoritmo inteligente para generar progresiones de acordes podría añadir iterativamente el acorde más cercano al previamente agregado.

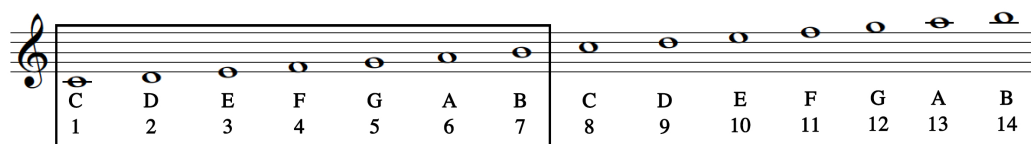


FIGURA 4.6: Notación musical para las notas de la escala Do mayor con nombres de letras y la codificación correspondiente debajo de cada nota.

La Red de armónicos o Tonnetz (Chew, 2007; Cohn, 1997) organiza clases tonales usando los intervalos musicales de quintas perfectas (5P), terceras mayores (3M) y terceras menores (3m), resultando en la cuadrícula mostrada en la Figura 4.7. Los pasos horizontales corresponden a 5P, diagonales a 3M y 3m. La estructura geométrica de la red armónica refleja propiedades de nivel superior del sistema tonal porque las pequeñas distancias reflejan relaciones armónicas cercanas. Por ejemplo, las tríadas son triángulos que apuntan hacia arriba y las clases tonales que pertenecen a una determinada tonalidad comparten una conexión (Chew, 2007). Por lo tanto, la organización geométrica de las clases tonales en el Tonnetz puede ser explotada en la generación automática de progresiones de acordes. Por ejemplo, los acordes CM y GM están cerca y todos los acordes de Do mayor están dentro de la región ocupada por la tecla Do mayor, de modo que las distancias y las formas se pueden usar como métrica al comparar las notas, los acordes y las escalas. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el Tonnetz es menos adecuado para comparar diferentes niveles de configuración como acordes y escalas.

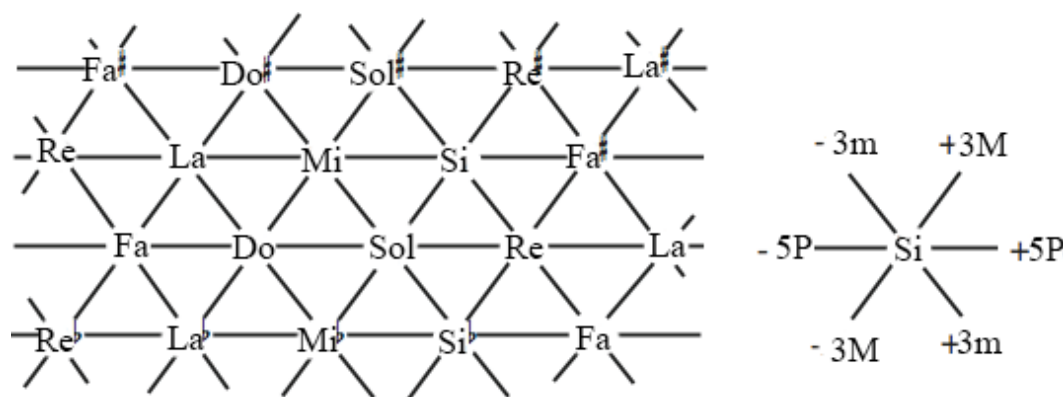


FIGURA 4.7: La red armónica o Tonnetz representa las relaciones tonales como una rejilla. Los nodos son clases tonales y las conexiones corresponden a intervalos musicales (Chew, 2007).

Chew (2007) propuso envolver el Tonnetz como un tubo con la línea de quintas convirtiéndose en una hélice en la superficie y las terceras mayores alineadas directamente encima una de la otra. La Espiral de Chew permite la visualización y representación de notas, acordes y escalas como puntos en la superficie y dentro de la configuración en espiral. Por ejemplo, las tríadas se representan como un punto en la cara del triángulo esbozado por sus componentes tonales (las notas), de modo que cada tríada es una combinación convexa de su fundamental, quinta y tercera. La Espiral es capaz de representar las notas, acordes y escalas como puntos en el mismo espacio, permitiendo una comparación a través de diferentes niveles. Además, se pueden calcular distancias entre puntos para reflejar las relaciones deseadas entre ellas. Así, la distancia entre el centro de la tríada de Do mayor y sus notas componentes puede reflejar las propiedades del sistema tonal.

En entonación justa, el Tonnetz y consecuentemente la Espiral se extienden infinitamente. Asumiendo la equivalencia enarmónica y de octava, la espiral se curva en un hipertoroide que mapea el croma tonal en su superficie. Harte et al. (2006) se propone representar y visualizar configuraciones tonales dentro de un espacio de seis dimensiones contenido por la superficie de este hipertoroide usando un solo punto de centroide para describir clases de una sola nota o colecciones tales como acordes y escalas. En este espacio, una pequeña distancia entre los centroides tonales refleja estrechas relaciones armónicas entre las configuraciones tonales. Esta representación de seis dimensiones sólo utiliza quintas perfectas, terceras mayores y menores para representar todos los intervalos posibles. Bernardes et al. (2016) proponen vectores de intervalos tonales o Tonal Interval Vectors (TIV) como una representación dodeca-dimensional del croma tonal capaz de manejar todos los intervalos cromáticos. En este trabajo, usamos TIVs para representar configuraciones tonales con un número de hasta doce notas, desde clases tonales basadas en notas individuales hasta acordes y escalas.

El Espacio de Intervalos Tonales o Tonal Interval Space (TIS) (Bernardes et al., 2016) mapea vectores cromáticos de doce dimensiones a Vectores de Intervalos Tonales o Tonal Interval Vectors (TIVs) de valor complejo mediante la Transformada de Fourier Discreta (DFT). El vector de croma puede usarse para representar diferentes niveles de configuraciones tonales tales como notas individuales, intervalos, acordes y escalas. Además, el análisis de Fourier ha sido ampliamente utilizado para explorar las relaciones armónicas entre las clases tonales. Los TIVs (Bernardes et al., 2016) son útiles para explorar las propiedades del sistema tonal debido a que las distancias euclidianas entre TIVs capturan la proximidad perceptual entre configuraciones tonales y la magnitud de TIVs refleja la disonancia de la configuración tonal representada. Debido a su gran utilidad para medir propiedades musicales, y su diseño novedoso basado en la transformada de Fourier, nos detendremos un poco más en esta propuesta.

4.3.1 Tonal Interval Space

El Espacio de Intervalos Tonales o Tonal Interval Space (TIS) (Bernardes et al., 2016) mapea vectores cromáticos de doce dimensiones a Vectores de Intervalos Tonales o Tonal Interval Vectors (TIVs) de valor complejo mediante la Transformada de Fourier Discreta (DFT). El vector de croma puede usarse para representar diferentes niveles de configuraciones tonales tales como notas individuales, intervalos, acordes y escalas. Todas estas definiciones y conceptos se pueden encontrar también en el Apéndice A. Además, el análisis de Fourier ha sido ampliamente utilizado para explorar las relaciones armónicas entre las clases tonales. Los TIVs (Bernardes et al., 2016) son útiles para explorar las propiedades del sistema tonal debido a que las distancias euclidianas entre

TIVs capturan la proximidad perceptual entre configuraciones tonales y la magnitud de TIVs refleja la disonancia de la configuración tonal representada.

4.3.1.1 Vectores de Croma

TABLA 4.1: Representación vectorial croma de configuraciones de tono. El ejemplo ilustra la escala de Do mayor (C Mayor).

Posición n	Vector de Croma $C(n)$											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Clase Tonal	C	C \sharp \D \flat	D	D \sharp \E \flat	E	F	F \sharp \G \flat	G	G \sharp \A \flat	A	A \sharp \B \flat	B
Valor	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1

El vector de croma o simplemente croma $C(n)$, representado en la Tabla 4.1, contiene una posición o dimensión para cada una de las doce clases tonales de la escala cromática. En este trabajo utilizamos la notación musical simbólica, por lo que el vector de croma es binario y la presencia de una nota se indica con el valor 1. La Tabla 4.1 supone una equivalencia enarmónica y de octava característica de una afinación de temperamento igual. No hay información sobre la altura codificada en $C(n)$. En consecuencia, la octava no puede ser representada por $C(n)$ con codificación binaria porque todas las octavas se colapsan en una. La inclusión de la octava se estudiará conjuntamente con la mejora de la arquitectura social en el Capítulo 6.

El vector de croma permite la representación de configuraciones tonales multi-nivel indicando la presencia de las respectivas clases tonales (pitch classes en inglés). Por ejemplo, $C(n)$ para la clase tonal Do, donde Do es considerada como nota individual sería $C_C(0) = [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$, para el acorde Sol mayor (G Mayor) es $C_{GM}(2, 7, 11)$ y para la escala diatónica de la escala de Do mayor se muestra en la Tabla 4.1.

El vector de croma $C(n)$ ocupa un espacio de doce dimensiones independientemente de la configuración de altura que representa. Sin embargo, las propiedades geométricas del espacio considerado por el vector de croma no captan las propiedades armónicas o musicales de las configuraciones tonales que representa. En otras palabras, los vectores cromáticos $C(n)$ que representan relaciones armónicas perceptualmente similares no están necesariamente cercanos en el espacio geométrico, calculándolo por ejemplo, con la medida aritmética norma L_2 . Sin embargo, el DFT es capaz de mapear los vectores cromáticos a vectores de intervalo tonal (TIV) en un espacio que exhibe propiedades útiles para explorar las relaciones armónicas del sistema tonal.

4.3.1.2 Tonal Interval Vectors (TIV)

Los TIVs $T(k)$ se calculan a partir de la DFT del vector de croma $C(n)$ de acuerdo a la Ecuación 4.1.

$$T(k) = W(k) \sum_{n=0}^{N-1} \bar{C}(n) e^{-\frac{j2\pi}{N}kn}, \quad k \in \mathbb{Z} \quad \text{with} \quad \bar{C}(n) = \frac{C(n)}{\sum_{n=0}^{N-1} C(n)}, \quad (4.1)$$

donde $N = 12$ es la dimensión del vector cromático y $W(k)$ son pesos derivados de las puntuaciones de disonancia empírica de las díadas usadas para ajustar la contribución de cada dimensión k del espacio (Bernardes et al., 2016). $T(k)$ utiliza $\bar{C}(n)$, que es la suma de los valores de $C(n)$ normalizado por el componente DC de la Transformada de Fourier $T(0) = \sum_{n=0}^{N-1} C(n)$, para normalizar la representación de todas las configuraciones tonales de niveles múltiples representadas por $C(n)$. La Sección 4.3.1.1 señalaba que $C(n)$ puede representar cualquier subconjunto de clases tonales, tales como intervalos, acordes y escalas. Equivalentemente, $T(k)$ permite comparar entre diferentes niveles jerárquicos representando diferentes configuraciones multinivel en el espacio.

El Tonal Interval Space utiliza la interpretación mostrada en la Tabla 4.2 ilustrada en la Figura 4.8, que representa el espacio TIS mediante seis círculos. Cada círculo de la Figura 4.8 corresponde a cada una de las componentes del vector $T(k)$ cuando $1 \leq k \leq 6$ de acuerdo a la Ecuación 4.1. Los números enteros alrededor de cada círculo corresponden a las posiciones en el vector croma $C(n)$, $0 \leq n \leq N - 1$ para $N = 12$. Para un k fijo, la Ecuación 4.1 genera $N = 12$ puntos igualmente espaciados alrededor del círculo unitario separado por $\varphi(k) = \frac{-2\pi K}{N}$. El ángulo $\varphi(k) = \frac{-2\pi k}{N}$ se ilustra en la Figura 4.8 para $1 \leq k \leq 6$.

TABLA 4.2: Interpretación interválica de k para un vector TIV. “Cons.” Quiere decir “Consecutivos”, mientras que “Sup.” quiere decir “Superpuestos”.

	Vector TIV					
Posición k	1	2	3	4	5	6
Pasos n	Cons.	Sup.	Sup.	Sup.	Cons.	Sup.
Intervalo	2m \ 7M	TT \ 4A \ 5D	3M \ 6m	3m \ 6M	4P \ 5P	2M \ 7m

La representación interválica en la Tabla 4.2 surge de la interpretación de estos puntos como intervalos musicales usando el vector de croma $C(n)$ como en la Sección 4.3.1.1. Para $k = 1$ y $k = 5$, consideramos los intervalos formados entre las posiciones *adyacentes*, por lo que para $T(1)$ las posiciones adyacentes saltan 1 paso (como 1 y 2). Los intervalos que aquí se representan son segundas menores (2m) o séptimas mayores (7M) si calculamos su complementario. La misma interpretación se aplica para $T(5)$, donde

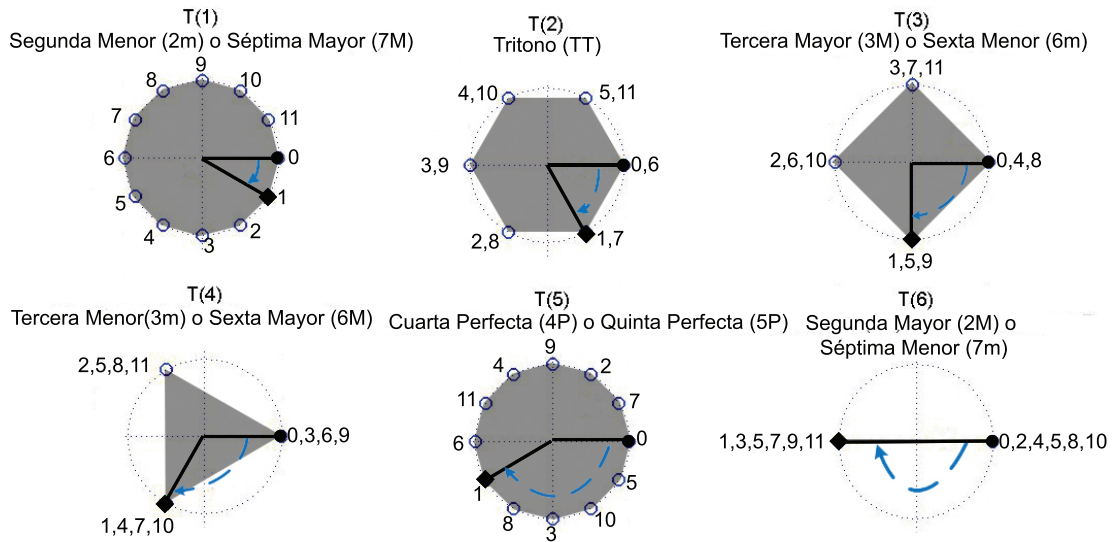


FIGURA 4.8: Visualización del espacio en seis círculos. Cada círculo muestra la representación de un intervalo musical, correspondiente a k en $T(k)$. El área gris es el área factible de búsqueda donde se pueden encontrar los puntos $T(k)$. El ángulo $\varphi(k)$ es la rotación desde la posición n a $n + 1$ en el vector de cromas.

las posiciones adyacentes ahora saltan cinco pasos (tales como 1 y 6) y corresponden a los intervalos de cuarta justa o perfecta (4P) o su complementario, la quinta justa o perfecta (5P). Para $k = 2$, $k = 3$, $k = 4$, y $k = 6$, consideramos los intervalos formados entre las posiciones de *superposición*. En particular, para $T(2)$ las posiciones superpuestas saltan 6 pasos (como 1 y 7), y corresponden a los intervalos tritono (TT), a saber, cuarta aumentada (4A) y quinta disminuida (5D). Para $T(3)$, las posiciones superpuestas saltan 4 pasos (como 1, 5 y 9), y son musicalmente interpretados como intervalos de tercera mayor (3M) o su complementario (6m), y así sucesivamente.

El Tonal Interval Space presenta propiedades musicalmente interesantes (Bernardes et al., 2016), tales como la capacidad de representar y comparar las configuraciones tonales multi-nivel de una forma matemática relativamente sencilla. Una de las propiedades musicales más importantes de los vectores TIV ilustradas en la Sección 4.3.1.2 es que las configuraciones tonales que comparten algunas relaciones armónicas tienen relaciones de cercanía en el TIS. Por ejemplo, los acordes de la escala principal de Do Mayor se representarán cerca del centro tonal de la escala. Por otro lado, la magnitud de $T(k)$, que es la distancia de cada vector TIV al origen, puede usarse como medida de consonancia. La siguiente sección describirá cómo codificar una función de aptitud basándose en las medidas del TIS que capta la calidad musical de los acordes.

Las propiedades del TIS derivadas de medidas matemáticas, como la distancia euclídea o el ángulo, son la principal herramienta para medir la calidad musical de cualquier configuración tonal.

Esta sección ilustra las propiedades del TIS basadas en el álgebra compleja de la Ecuación (4.1), donde $T(k) \in \mathbb{C}^M$; $M = 6$. Esto es, $T(k)$ es un vector de valor complejo en el espacio de seis dimensiones calculado con la Transformada de Fourier cuando $1 \leq k \leq 6$. Usando la norma L_2 en \mathbb{C}^M , podemos definir el producto escalar entre $T_1(k)$ y $T_2(k)$, y la distancia euclídea entre $T_1(k)$ y $T_2(k)$ como sigue

$$T_1(k) \cdot T_2(k) = \|T_1(k)\| \|T_2(k)\| \cos \theta = \sum_{k=1}^M T_1(k) \overline{T_2(k)}, \quad (4.2a)$$

$$d^2 [T_1(k), T_2(k)] = \|T_1(k) - T_2(k)\|^2 = \sum_{k=1}^M |T_1(k) - T_2(k)|^2 \quad (4.2b)$$

donde $M = 6$ es la dimensión del espacio, la Ecuación (4.2a) es el producto escalar, θ es el ángulo entre $T_1(k)$ y $T_2(k)$, y $\overline{T_2(k)}$ denota el conjugado complejo de $T_2(k)$. La Ecuación (4.2b) es la distancia euclídea entre $T_1(k)$ y $T_2(k)$. La Figura 4.9 muestra los vectores TIV para los acordes de La (A) mayor y menor para ilustrar sus posiciones relativas en el espacio TIS.

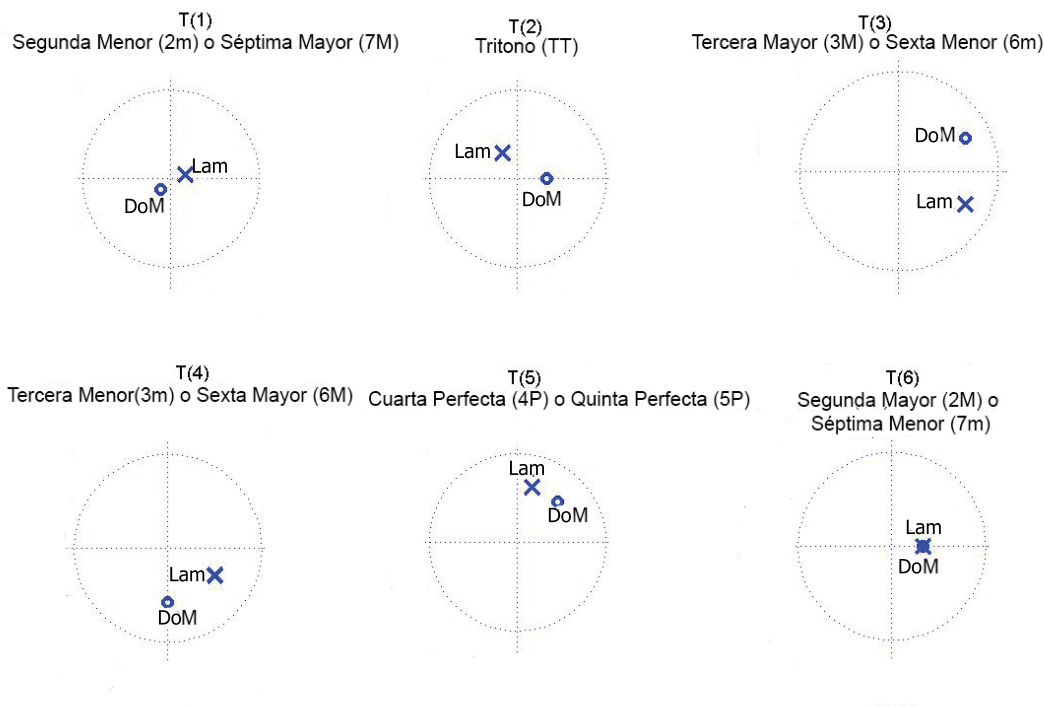


FIGURA 4.9: Ilustración de las posiciones relativas de Do mayor (CM) y La menor (Am) en el espacio TIV.

Las Ecuaciones 4.2a y 4.2b expresan la capacidad del espacio TIS para representar similitudes perceptivas usando relaciones algebraicas. La Ecuación 4.2a permite calcular

el ángulo θ entre vectores TIV, que puede usarse como medida de similitud, donde ángulos menores indican un mayor grado de similitud. La Ecuación 4.2b puede usarse con el producto escalar para estimar la similitud perceptual entre dos vectores TIV porque vectores perceptualmente similares producen distancias más pequeñas que aquellos vectores disimilares.

La Ecuación 4.3 mide la magnitud (norma) de $T_1(k)$, que es la distancia desde el origen del espacio TIS utilizado como medida de consonancia (Bernardes et al., 2016).

$$\|T_1(k)\|^2 = T_1(k) \cdot T_1(k) = \sum_{k=1}^M |T_1(k)|^2, \quad (4.3)$$

Los vectores TIV con menor magnitud (por ejemplo, que están cerca del origen) corresponden a conjuntos de clase tonales que son más disonantes que los de mayor magnitud. Los pesos $W(k)$ en la Ecuación 4.1 ajustan la importancia de los intervalos para cada k en el vector $T(k)$. La Tabla 4.3 muestra los valores de $W(k)$ ajustados para aproximar la consonancia percibida de clases interválicas de temperamento igual derivadas de valoraciones empíricas de tonos complejos en la región de tonos centrales (Huron, 1994). En este trabajo, los pesos $W(k)$ fueron elegidos para enfatizar los intervalos 5J/4J, 3m/6M, 3M/6m y 2M/7m, ya que nos encontramos ante un caso de estudio para generar progresiones de acordes siguiendo el estilo de composición tonal diatónico.

TABLA 4.3: Pesos aplicados a cada componente o intervalo k para los vectores TIV.

	Peso $W(k)$ para cada intervalo k					
Intervalo	2m/7M	TT/4A/5D	3M/6m	3m/6M	4P/5P	2M/7m
$W(k)$	0.0187	0.0416	0.203	0.221	0.238	0.121

Sin embargo, ninguno de estos sistemas nos ayuda a representar algunas propiedades derivadas como la pertenencia a una frase melódica, el nivel de jerarquía en una cadencia, o los saltos armónicos que tenemos en una pieza musical.

4.4 Espacios Semánticos para la Representación Sonora

Como hemos visto en la sección anterior, las representaciones geométricas pueden resultar muy interesantes para estudiar algunas propiedades acústicas y sonoras de configuraciones tonales como acordes o escalas. No obstante, hasta ahora no ha habido ninguna aportación para resolver el problema de la representación de eventos secuenciales, como el tempo, el ritmo o el fraseo melódico.

Por otro lado, la introducción de las nuevas tecnologías en el ámbito musical mediante la generación electrónica de partituras o el desarrollo de instrumentos electrónicos o sistemas de amplificación, han provocado el surgimiento de diferentes propuestas para poder comunicar todos estos dispositivos a través de medios informáticos. Estas propuestas han ido evolucionando con el tiempo y estandarizándose para poder abarcar la conexión de un mayor número de dispositivos diferentes, y para facilitar el uso y manejo de herramientas de sintetización de sonido, construcción de partituras e instrumentos electrónicos.

Actualmente, existen diferentes protocolos que representan e interpretan eventos musicales relacionados con el tempo, el ritmo, el volumen o el tono. Estos protocolos estándares se ha generalizado a través de una gran cantidad de programas informáticos. Entre ellos, destacamos el estándar MusicXML y el MIDI.

MusicXML es un estándar basado en el protocolo XML para representar la notación musical occidental a través de contenido etiquetado. La codificación es abierta y se encuentra bien documentada. Este formato está principalmente diseñado para el intercambio de partituras, particularmente entre diferentes programas de transcripción. El sistema de notación sigue unos estándares similares a la notación MIDI. Por este motivo, y por el hecho de que el MIDI está mucho más extendido, nos centraremos en la descripción de este último.

El estándar Musical Instrument Digital Interface (MIDI) describe un protocolo de comunicaciones, una interfaz digital y conectores eléctricos que conectan una amplia variedad de instrumentos musicales electrónicos, computadoras y dispositivos de audio y música.

MIDI almacena e interpreta los datos musicales a través de mensajes de eventos, que contienen la información relativa a la notación, tales como el tono, la velocidad, el vibrato, el volumen o las señales de reloj que establecen el tempo. Los datos MIDI pueden almacenarse en un archivo (archivo MIDI), ser transferidos a través de un cable para reproducirlos en un instrumento electrónico o interpretados directamente en un sintetizador para editarlos o reproducirlos.

Los archivos con formato MIDI almacenan estos datos como información numérica. Ya que podría describirse como una simple matriz de números, un fichero MIDI suele tener un tamaño muy reducido, y puede ser fácilmente modificable, cambiando tan solo los números deseados. Por contra, los archivos MIDI no son ficheros de audio, por tanto siempre será necesario un sintetizador o secuenciador con una biblioteca de sonidos muestreados para poder interpretarse de forma musical.

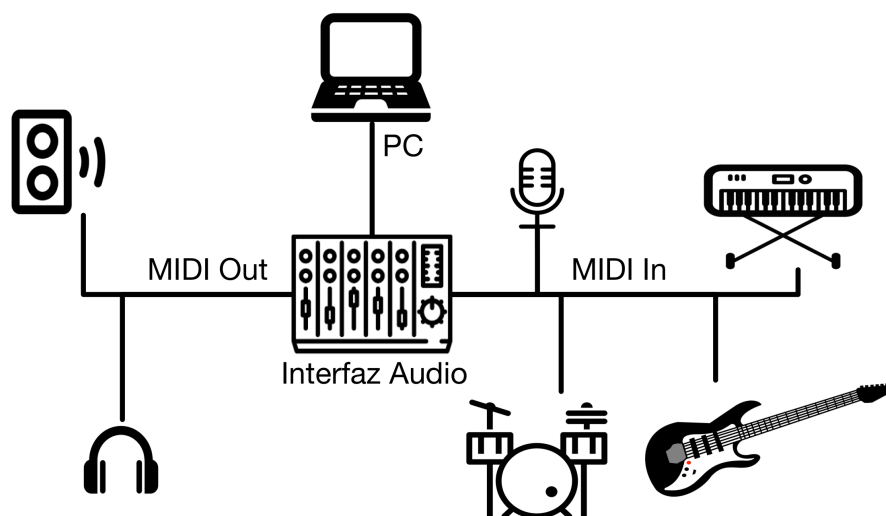


FIGURA 4.10: Ejemplo del diseño de un sistema MIDI para la producción de sonido.

Una de las grandes ventajas del desarrollo de MIDI es su estandarización. Esto quiere decir que cualquier instrumento o herramienta informática compatible con MIDI se pueden conectar entre sí para comunicarse, a pesar de que puedan haber sido desarrollados por diferentes fabricantes. En la siguiente figura mostramos un esquema típico de un sistema MIDI para controlar la producción musical.

Tal y como vemos, en un sistema de producción de este tipo existen dos tipos de conexiones MIDI: In y Out. La conexión MIDI In permite recoger información de instrumentos electrónicos, micrófonos y otros aparatos de entrada de sonido. Por el contrario, la conexión MIDI Out transmite las instrucciones para poder sintetizar los sonidos, por tanto, los dispositivos conectados a esta línea serán dispositivos de salida de audio como altavoces o auriculares. Todos los dispositivos se conectan entre sí a través de un controlador o interfaz de audio, que puede funcionar como mesa de mezclas. Esta puede ser controlada a través de un ordenador conectado, que podría considerarse el centro neurálgico del sistema MIDI

Inicialmente, el MIDI se diseñó para que los músicos profesionales y las productoras de discos pudieran utilizar sus instrumentos electrónicos para producir música popular urbana. Sin embargo, el nivel de estandarización, que permitía la comunicación de diferentes instrumentos entre sí y con programas informáticos externos, provocó que se expandiera rápidamente. Su facilidad de uso provocó ciertos acontecimientos que, a su vez, retroalimentaron la expansión del MIDI. Por una parte, se hizo posible que un usuario sin habilidades de notación creara arreglos complejos, lo que transformó la forma en que trabajan muchos músicos sin conocimientos informáticos. Por ello, se dispararon las ventas en instrumentos electrónicos y *software* musical ya no solo para el ámbito profesional, sino para el doméstico o el amateur.

Por otro lado, MIDI propició que se pudiera realizar un acto musical con tan solo uno o dos usuarios, ya que cada uno era capaz de manejar múltiples dispositivos a través de la interfaz MIDI. Por tanto, el gasto de contratar músicos externos se redujo. A partir de ese momento, las producciones complejas podrían realizarse en un sistema tan pequeño como un teclado, un secuenciador o un sintetizador de sonido.

Además, la aparición de MIDI coincidió con el comienzo de la era del ordenador personal y la introducción de samplers y sintetizadores digitales. Esto también ayudó a establecer la grabación casera. Al realizar la pre-producción en el entorno doméstico, un artista podía reducir los costos de grabación, pues ya podía ir a un estudio de grabación con una obra musical parcialmente completa y resuelta.

4.4.0.1 Propiedades técnicas de los MIDI

Un fichero MIDI consiste en una tabla de números, donde cada línea contiene una instrucción específica que se denomina mensaje, y cada columna corresponde a una propiedad relativa a la música como la tonalidad, el volumen, la duración, etc. Estos ficheros organizan mensajes MIDI en una o más pistas paralelas e imprimen marcas de tiempo en los eventos para que puedan reproducirse en secuencia. Un encabezado contiene el recuento de pistas de la disposición, el tempo y otros metadatos que son opcionales, como la tonalidad o la letra, si la hay. Cuando la transmisión de datos se da entre dos dispositivos MIDI en tiempo real, es decir, no hay ningún fichero MIDI almacenado del cual se leen los datos, se denomina enlace MIDI.

El enlace MIDI funciona de forma similar a cómo funciona el fichero MIDI, la única diferencia radica en que las instrucciones se van transmitiendo según se van creando, a lo largo de la ejecución del programa en caso de estar sintetizando sonido con un *software* específico, o con acciones del usuario, si se trata de un instrumento electrónico. En ambos casos se puede transmitir información por dieciséis canales independientes, lo que quiere decir que podemos tener hasta 16 dispositivos conectados y controlados. A elección del usuario, estos canales pueden ser ignorados.

En cada canal podemos encontrar un dispositivo individual conectado. Este dispositivo podría ser monofónico (por ejemplo, un sintetizador de voz, un violín o una flauta MIDI) o polifónico (un piano MIDI o un sintetizador para un órgano. Por tanto, el MIDI puede ser codificado para admitir instrumentos monódicos o polifónicos.

Cada mensaje MIDI (que corresponde a una línea en un fichero MIDI) es una instrucción que controla algún aspecto del dispositivo receptor. Este mensaje no es más que un conjunto de números separados en campos, donde cada campo representa el estado de

una propiedad. Podemos dividir un mensaje en dos partes. La primera parte indica el tipo de mensaje que se está recibiendo. Los mensajes MIDI pueden ser mensajes de canal enviados en solo uno de los 16 canales y monitorizados solo por dispositivos en ese canal, o mensajes del sistema que reciben todos los dispositivos. Cada dispositivo receptor ignora datos no relevantes para su función. En general, un mensaje puede ser de cinco tipos:

- Canal de voz: Los mensajes de este tipo se transmiten a través de un solo canal. Son estos mensajes los que transmiten la información musical acerca de la nota musical, el volumen, la duración o el *vibrato*, entre otros. En particular, en este tipo de mensaje se controlan las siguientes propiedades:
 - Mensaje “Note-On”: Indica el comienzo de una nota musical. Cada mensaje de este tipo controla la nota musical, que viene representada con un número del 0 al 127, donde el 60 es el Do central del piano, y cada incremento corresponde a una distancia de un semitono. También podemos controlar mediante este evento el volumen de la nota musical.
 - Mensaje “Note-Off”: Indica el final de una nota musical. Los parámetros que se controlan son los mismos que en el evento anterior. Una nota musical solo puede recibir un mensaje de este tipo si antes se ha activado con un mensaje de “Note-On”.
 - Mensaje “Polyphonic Key Pressure”: Este tipo de mensaje pretende configurar ciertas propiedades justo después de percutir una nota MIDI. Este tipo de mensaje suele afectar al control del vibrato, la presión de una tecla o quizás el brillo del sonido, dependiendo del tipo de instrumento o secuenciador.
 - Mensaje “Channel Pressure”: Este tipo de mensaje funciona de forma muy similar al polyphonic key pressure, pero sus comandos afectan a todas las notas percutidas en el mismo canal, a diferencia del comando anterior, que solo afecta a la última que se percutió.
 - Mensaje “Control Change”: Este tipo de mensaje se envía cuando queremos cambiar el valor de algún controlador o instrumento. Este tipo de controladores suelen ser sintetizadores que añaden efectos, como por ejemplo un pedal electrónico, o una sordina.
 - Mensaje “Pitch Bend Change”: Este mensaje normalmente se envía a instrumentos MIDI con teclado para modular el sonido que emiten.
- Modo de canal: Estos mensajes se emplean para indicar qué canales van a activarse, o mensajes de configuración para los secuenciadores conectados.

- Sistema común: Estos mensajes son recibidos por todos dispositivos conectados a la red para la configuración común. Un mensaje típico de esta clase es el código de tiempo MIDI.
- Sistema en tiempo real: Este tipo de mensajes proporcionan información en tiempo real para que todos los instrumentos estén sincronizados, y los eventos ocurran de forma simultánea.
- Sistema exclusivo: Este tipo de eventos son en su mayor parte empleados para códigos específicos del fabricante, bibliotecas de sonidos y compatibilidad.
- Tipo de Mensaje: Transmiten datos de rendimiento en tiempo real a través de un solo canal. Los ejemplos incluyen mensajes de "nota activada" que contienen un número de nota MIDI que especifica el tono de la nota, un valor de velocidad que indica con qué fuerza se tocó la nota, y el número de canal; mensajes "note-off" que terminan una nota; mensajes de cambio de programa que cambian el parche de un dispositivo; y controlar los cambios que permiten el ajuste de los parámetros de un instrumento.

4.4.0.2 Aplicaciones del MIDI

En sus inicios, la interfaz MIDI estaba ideada para la comunicación e interacción de instrumentos musicales electrónicos o digitales. Por un lado, cuando se toca un instrumento MIDI, se genera una instrucción que puede servir para activar un evento en otro dispositivo, como un micrófono o incluso otro instrumento dado el caso. Esta capacidad de control permite sintetizar nuevos sonidos fruto de la mezcla de varios instrumentos, modificar la música generada o controlar parámetros como el vibrato, el volumen u otros efectos.

Del mismo modo que los instrumentos generan eventos cuando se toca una nota, a través de un *software* se pueden secuenciar sonidos en un ordenador, como un editor de partituras o un secuenciador. Estas herramientas permiten a los compositores escuchar y editar su trabajo de forma mucho más rápida y eficiente antes de llevarlo a un estudio de grabación o involucrar a varios instrumentistas. Asimismo, las secuencias MIDI pueden ser modificadas, creando efectos que, a partir de solo audio pregrabado, sería más complejo o incluso imposible. Estos efectos incluyen un cambio de instrumentación, sincronización de pistas, añadido de vibrato, etc. La capacidad de crear nuevas secuencias o modificar las existentes permite experimentar a los compositores.

Los datos compilados a través de las grabaciones MIDI secuenciadas se pueden guardar como un archivo MIDI estándar, tal y como hemos comentado anteriormente. Estos

ficheros se pueden distribuir digitalmente para ser reproducidos por cualquier ordenador o instrumento electrónico que sea compatible con los estándares MIDI. El tamaño compacto de estos archivos llevó a su uso generalizado en computadoras, tonos de llamada de teléfonos móviles, páginas web y tarjetas de felicitación musicales. Además, permitieron la primera compartición musical, antes de la llegada de Internet de banda ancha y el almacenamiento en la nube.

El sonido que se produce a partir de los ficheros MIDI puede variar mucho de una máquina a otra, debido a la calidad de la tarjeta de sonido o a la flexibilidad del *software* de sintetización que haya instalado. Por ello, algunos usuarios poco familiarizados con esta tecnología asocian el uso de estos ficheros a menudo con una baja calidad de reproducción. Hay que tener en cuenta que en realidad el fichero MIDI no contiene sonido, y la calidad de su reproducción depende completamente de la calidad del dispositivo que produce el sonido.

Uno de los usos más comunes del MIDI es la creación de partituras. Debido a la sencillez de lectura de un archivo MIDI, los programas de partituras pueden generar un archivo con la partitura escrita a partir de una producción de audio con instrumentos MIDI. Esto quiere decir que, a través de un teclado MIDI, las teclas pulsadas pueden transcribirse como notas musicales y duraciones. Este proceso puede darse en sentido contrario, podemos crear una partitura con este tipo de *software* específico para luego reproducirla a través de un sintetizador MIDI. Alguno de los programas de notación más empleados en la actualidad que implementan este sistema son: Finale, Encore, Sibelius o MuseScore.

Por último, el MIDI permite a los analistas extraer información musical, lo que da lugar a la extracción de conocimiento acerca de acordes, fraseo, compás o tonalidad, inferida a través de las notas, el volumen o la duración de los eventos. Esta información, que podría parecer superficial para el ser humano, es esencial para la comprensión de la música por parte de una máquina. Este proceso permite que, a través de mecanismos de inteligencia artificial, un ordenador pueda aprender un método estilístico a partir de la música conocida y transcrita a MIDI.

4.5 Los *Viewpoints*: Codificación de las recopilaciones.

Ebcioğlu (1988) fue responsable de uno de los esfuerzos con más éxito para modelar la armonía, produciendo un sistema experto que codificó reglas explícitas para encapsular el conocimiento musical. Sin embargo, hay problemas asociados con este tipo de enfoque basado en reglas. En primer lugar, para cualquier estilo de composición dado, existen muchas reglas generales con muchas excepciones. Por lo tanto, formular una teoría de un

estilo mediante la creación de un modelo requiere experiencia, consume mucho tiempo y da como resultado una teoría probablemente incompleta. En segundo lugar, para formular teorías de diferentes estilos musicales (por ejemplo, el estilo de Vivaldi, Bach o Mozart), es necesario inferir diferentes conjuntos de reglas generales y excepciones, que multiplican el tiempo de ejecución.

El aprendizaje automático tiene el potencial de eludir los problemas anteriores, ya que la máquina aprende por sí misma cómo componer en un estilo particular al construir un modelo de generación musical a partir de una serie de composiciones musicales estilísticamente homogéneas. Para demostrar que el programa de aprendizaje automático funciona satisfactoriamente, debería ser capaz de modelar el estilo musical de cualquier corpus presentado. Siempre que el modelo resultante sea capaz de generar consistentemente piezas que son indistinguibles (por un experto (M. T. Pearce & Wiggins, 2007)) en estilo de las del corpus, entonces hemos generado una teoría de ese estilo, que contiene una estructura equivalente a reglas y excepciones.

Trabajos posteriores demostraron enfáticamente el potencial de un enfoque estadístico de aprendizaje automático: utilizaron modelos estadísticos para crear un modelo de armonía de cuatro partes a partir de un corpus de melodías corales armonizadas por J. S. Bach (Allan & Williams, 2005). Las armonizaciones generadas por su modelo transmiten una sonoridad muy similar al estilo de Bach. A pesar de ello, los autores reconocen que modelar el problema con una aproximación diferente podría mejorar los resultados. Este modelado podría incluir no solo intervalos y notas musicales, sino también el compás la duración o la tonalidad en la que se encuentran.

Un medio establecido para representar música que, cuando se combina con técnicas de modelado y aprendizaje de máquinas, puede incorporar tales características (y muchas otras), es un marco llamado sistemas de *viewpoints* o sistema de puntos de vista múltiples (Conklin, 1990). Esta teoría pretende representar no solo los atributos musicales básicos como la duración y el tono, sino también los atributos derivados, como los intervalos. El uso de estos atributos derivados necesariamente introduce una cierta cantidad de conocimiento musical de bajo nivel. M. T. Pearce and Wiggins (2007) ha utilizado con éxito este marco para producir modelos cognitivos de expectativa melódica, que a su vez ha llevado a desarrollar modelos para predecir la segmentación de frases (M. T. Pearce, Müllensiefen, & Wiggins, 2010). Debido al éxito en la creación de música siguiendo este modelo, consideramos que el marco de los *viewpoints* es uno de los esquemas de representación ideal para modelar música.

los *viewpoints* múltiples ofrecen una gran flexibilidad tanto en términos del número de elementos que quieren representar, como de la capacidad de utilizarlos diferentes contextos, lo cual da una ventaja sobre los métodos que utilizan muy pocos “puntos

de vista”. No obstante, bajo este marco de múltiples puntos de vista, es necesario realizar una selección entre los elementos que deberían estar en el sistema y cómo deben relacionarse a través de un algoritmo de selección para optimizar el modelo.

4.5.0.1 Tipos de puntos de vista

Un tipo T es una propiedad de un evento en una secuencia (en este caso, sería una nota en una secuencia melódica). Existen tres tipos T diferentes, a saber: tipos básicos, derivados y procesadores.

Los tipos básicos son las propiedades fundamentales de una nota que normalmente vienen dados por la representación. Podemos considerar como propiedad fundamental el tono, que se puede codificarse como números MIDI. Por ejemplo, la nota Sol4 tiene un valor de tono de 67. Otra propiedad puede ser la duración, que se representa en base a la redonda, dividiéndola en 96 partes. En este caso, una negra tendría un valor de duración de 24. Otros tipos básicos pueden ser el momento de inicio de una nota; la armadura de la tonalidad, el modo al que nos enfrentamos, o la posición que ocupa una nota en dentro de una frase, que puede tener como valores posibles 1 (primera nota en la frase), -1 (última nota en la frase) y 0 (de lo contrario). T denota el conjunto de valores válidos, símbolos o elementos para un tipo de punto de vista. En el caso del tono, $T = \{0, \dots, 127\}$, la duración sería $\{1, \dots, 96\}$ o la posición de la frase, $T = \{-1, 0, 1\}$. Esta formalización se puede denominar dominio sintáctico, de ahora en adelante simplemente referido como el dominio. Aunque podríamos formalizar muchos más tipos básicos, podemos asumir que este es un conjunto muy representativo de tipos básicos: Por tanto, entonces el conjunto de eventos representables (notas en el caso de la melodía), podría formalizarse de la siguiente manera:

$$[TiempodeInicio] \times [Duracion] \times [Tono] \times [Tonalidad] \times [Modo] \times [Frase] \quad (4.4)$$

Los tipos derivados son aquellos que pueden obtenerse a partir de operaciones realizadas con los tipos básicos. Por ejemplo, el tipo intervalo se calcula a partir de la diferencia del tono entre dos notas consecutivas, medidas en semitonos; y la duración relativa puede representarse como la relación entre la duración de una nota y la duración de la nota inmediatamente anterior. Los tipos derivados no tienen por qué estar necesariamente definidos en todas las posiciones en una secuencia. Otro ejemplo de un tipo de punto de vista derivado podría ser el cálculo de los grados de la escala como la tónica o la dominante, ya que se deriva de la Tonalidad y el Modo. En este caso si la Tonalidad es Do y el modo es Mayor la tónica sería es C, y la dominante es G.

Los tipos procesados se definen solo en ciertas posiciones de una secuencia, y suelen resultar en atributos de tipo lógico (con valores de 0 y 1 o Verdadero y Falso). Un ejemplo podría ser el cálculo del tiempo fuerte de un compás. Este tiene un valor positivo (1) si la nota se encuentra en el tiempo fuerte del compás, y negativo (0) si se encuentra en una posición más débil.

Por último, un tipo vinculado es la conjunción de dos o más puntos de vista derivados; por ejemplo, la conjunción de la Duración relativa y el Intervalo. Si alguno de los puntos de vista constituyentes no están definidos, entonces el punto de vista vinculado tampoco estará definido. A su vez, este conjunto comprende los tipos básicos de los que se deriva; por lo tanto, la duración relativa \times Intervalo contiene a los tipos básicos Duración, y Tono.

En un sistema generativo se utiliza una representación de *viewpoints* múltiples para comprender más de un elemento musical. Dependiendo de la composición del corpus de entrenamiento, será necesario elegir unas u otras propiedades basándonos en los resultados estadísticos obtenidos a partir de la combinación de diferentes tipos, lo que se conoce como validación cruzada de elementos (cross-fold validation).

Como hemos visto a lo largo de este capítulo, han existido a lo largo de la historia muchas codificaciones que han permitido al ser humano interpretar eventos intangibles como la música. Uno de los propósitos de este trabajo era buscar representaciones que la máquina sea capaz de interpretar para, posteriormente, generar música. Por este motivo, existen diferentes modelos geométricos para representar acordes, notas o escalas. Estos modelos permiten representar de forma fiel parámetros relativos a la sonoridad, aunque existen ciertas limitaciones para representar otro tipo de eventos como el ritmo o el volumen.

Otro tipo de representaciones incluye una representación numérica que asocia escalas numéricas a eventos sonoros como tempo, duración, notas o volumen. A diferencia de la representación anterior, esta no asocia las operaciones matemáticas como el cálculo de la distancia entre valores o el ángulo, con propiedades musicales. No obstante, es muy útil para la recogida detallada de los parámetros que designan un evento musical.

Entre ellas, la más destacada ha sido la codificación MIDI, ampliamente utilizada en el entorno digital para la producción de sonido a través de instrumentos digitales o sintetizadores. La información que proporciona un fichero MIDI es esencial, aunque no suficiente, para analizar el estilo musical de un determinado autor.

Para desarrollar plenamente el modelo de aprendizaje de la máquina a través de la música, se presentan los *viewpoints* que pretenden añadir nuevos parámetros además

de los ya dados por los ficheros MIDI y crear un modelo de generación automática de música.

Capítulo 5

Musicología Experimental: Prototipo de Interacción



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

Musicología Experimental: Prototipo de Interacción

Los diferentes avances computacionales en el campo de la Inteligencia Artificial que han ocurrido durante los últimos años han atraído la atención de investigadores de múltiples antecedentes y motivaciones, creando así el campo de la Creatividad Computacional, que unen conceptos aparentemente dispares como la Inteligencia Artificial y el Arte. Como ya hemos visto, en el área de la generación de música, hay algunas propuestas interesantes sobre generación de música y algoritmos bio-inspirados (Moroni et al., 2000; Navarro et al., 2015) o aplicando modelos de Markov (Pachet & Roy, 2011; Papadopoulos, Roy, & Pachet, 2016).

Como ya comentamos en el Capítulo 2, dentro los trabajos en generación de música, se han desarrollado algunos dispositivos emergentes para permitir que diferentes usuarios controlen la creación artística con un cierto nivel de abstracción. Este es el caso, por ejemplo, de MotionComposer (Bergsland & Wechsler, 2015), una investigación en la que se usa un dispositivo para componer música a partir del movimiento de personas con discapacidades. Berdahl, Holmes, and Sheffield (2016) propone una nueva interfaz para generar música mediante el uso de pantallas táctiles. The Hand Composer (Mandanici & Canazza, 2014) es un marco novedoso e interactivo que permite a los músicos generar/componer a través del movimiento de la mano y los gestos.

Basándonos en estas propuestas, y contemplando el paradigma de la colaboración hombre-máquina, esta tesis propone un sistema inteligente para generar melodías basadas en pautas de usuario y melodías previas generadas. El sistema se puede adaptar a diversos estilos musicales y a diferentes estilos musicales, según sus preferencias. Adicionalmente, el usuario puede guiar la generación de melodías moviendo un dispositivo mecánico conectado.

Este prototipo recupera automáticamente los archivos codificados en MIDI (Jungleib, 1996) que siguen el estilo de la música popular, y se almacenan en una memoria digital

que contiene todas las melodías analizadas. Con estos datos, se entrena un Modelo de Markov, que es una herramienta estadística que permite generar música influenciada por diversos estilos para extraer la secuencias de notas más probables. Estas probabilidades también están influenciadas por las preferencias de los usuarios expresadas con los movimientos del dispositivo mecánico incorporado en el sistema. Una vez que se genera la melodía, el usuario puede reproducir de nuevo el resultado final y guardar el resultado.

Como hemos venido defendiendo, para la correcta implementación de este sistema, es imprescindible un profundo análisis etnomusicológico y musical de las fuentes de las que se va a sacar la información para el proceso de aprendizaje de la máquina. Por tanto, hay que seleccionar, clasificar y analizar cada pieza musical de forma manual, y codificarla siguiendo un estándar digital para su correcta digitalización.

En este capítulo se detalla todo el proceso de investigación llevado a cabo para una primera aproximación del dispositivo. La siguiente sección describe la metodología general seguida. La Sección 5.2 nos muestra el diseño del dispositivo que se comunica con el usuario para generar las melodías. La Sección 5.3 recoge un resumen del análisis que se han realizado para las piezas, recogido también en el Anexo A. La Sección 5.4 expone el procedimiento seguido para la codificación de las melodías. Finalmente, la Sección 5.5 recoge el algoritmo principal para la generación de la música.

5.1 Arquitectura Principal

En nuestro caso, el sistema está codificado para planificar acciones de acuerdo con la información recuperada del contexto. El sistema cuenta con una memoria para almacenar diferentes soluciones o melodías de acuerdo con las melodías recopiladas de los cancioneros. Inicialmente, el usuario puede seleccionar el tipo de composición que se va a realizar, de acuerdo con el estilo modal que se quiera generar o bien la región geográfica que se desee seleccionar. Una vez establecemos las preferencias básicas, el sistema selecciona las melodías almacenadas previamente para entrenar un Modelo de Markov con estas soluciones. Las probabilidades extraídas con el Modelo de Markov con respecto a las notas musicales y la duración rítmica pueden ser controladas parcialmente por el usuario a través del dispositivo mecánico. Todo el proceso de adaptación produce una melodía final que debe evaluarse en términos de calidad musical y satisfacción del usuario, y que veremos en el Capítulo 8. Finalmente, el sistema puede reproducir y exportar la melodía generada en formato MIDI. La Figura 5.1 ilustra el proceso principal.

La propuesta se divide en varias etapas que van desde la extracción de los datos hasta el análisis final y los resultados. El esquema de la Figura 5.1 da una idea general de

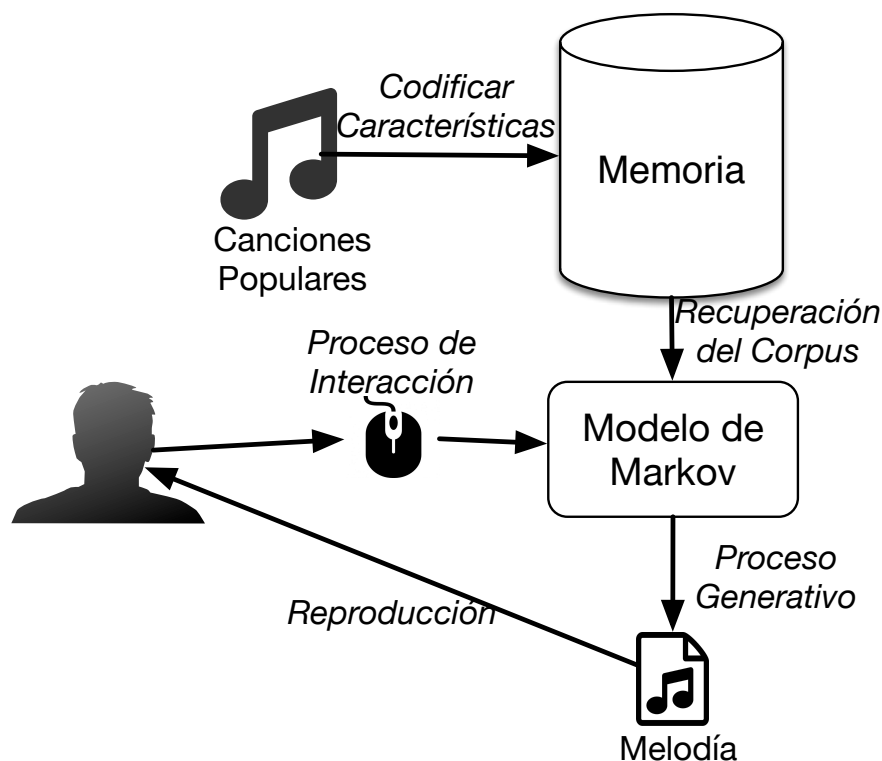


FIGURA 5.1: Esquema del funcionamiento del sistema. El usuario debe presentar una formalización de los requisitos iniciales, y puede modificar la direccionalidad de la música a través de un dispositivo, mientras se está generando.

las diferentes etapas que se llevan a cabo para la generación de la melodía dirigida por el dispositivo. Inicialmente, el usuario envía una descripción de las preferencias para la melodía, que consta de simples parámetros formales. Estos parámetros o etiquetas están relacionados con el estilo musical en referencia a la modalidad y a la región geográfica. El sistema luego recupera una lista de casos (melodías previamente analizadas) con etiquetas similares en su memoria. Con estos casos nuevos, se entrena un modelo estadístico basado en modelos de Markov para calcular la probabilidad de que se seleccione una nota en función de las notas anteriores que aparecen en la melodía. Este entrenamiento puede tomar unos segundos. Una vez que el modelo de Markov está listo, el sistema comienza a componer una nueva melodía siguiendo dos restricciones: las probabilidades calculadas por el modelo estadístico y las indicaciones del usuario a través del dispositivo mecánico conectado. Las indicaciones del dispositivo se reciben y procesan en tiempo real, de modo que el usuario no tiene que esperar ningún retraso a lo largo del proceso de composición. El usuario decide cuándo se completa la melodía, y puede reproducirla y exportarla en formato MIDI.

Antes de detallar el ciclo de CBR, se incluye información esencial relacionada con el dispositivo en la Sección 5.2. El primer paso es obtener y procesar los datos de entrada

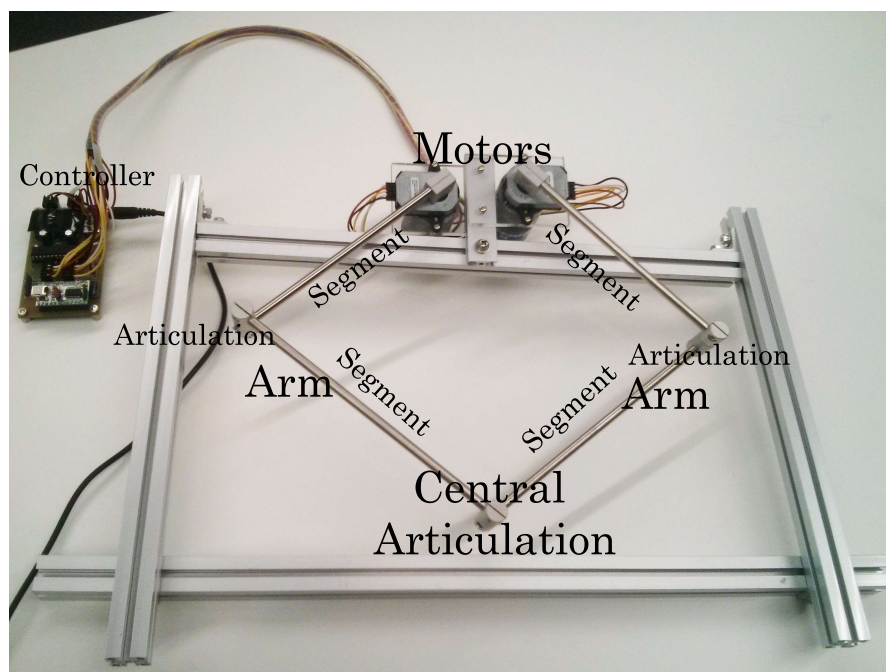


FIGURA 5.2: Ilustración del dispositivo mecánico.

detallados en la Sección 5.3 y 5.4. El proceso de generación de la melodía del modelo de Markov y la posición del dispositivo se trata en la Sección 6.1.2.

5.2 Descripción de la Interfaz

Antes de entrar en detalles sobre el algoritmo para la generación y control de melodías, primero debemos explicar que el dispositivo utilizado (Figura 5.2) ha sido desarrollado parcialmente por el profesor Wataru Hashimoto de la OIT (Instituto de Tecnología de Osaka). (Hashimoto, Nakao, Nakaizumi, Inoue, & Oshuga, 2007). El dispositivo consta de 2 motores interconectados anclados a un marco de aluminio, para crear un pantógrafo con 2 grados de libertad. También tenemos dos brazos articulados con dos segmentos (L y l) cada uno, y conectados por una articulación central.

Técnicamente, el dispositivo contiene un chip controlador que utiliza una conexión serie a través de un adaptador USB a RS232 para comunicarse con la computadora. El buffer del dispositivo consta de 4 bytes, de los cuales los 2 primeros corresponden al motor izquierdo y los 2 últimos al motor derecho. Cada motor envía el ángulo de salida del brazo correspondiente θ_1 y θ_2 (Figura 5.3), con un valor entre 0 y 4096, y recibe un valor entre -20000 y 20000 que indica el par de torsión ejercido. Podemos comunicarnos con el dispositivo cada milisegundo a través de un proceso constante de lectura/escritura.

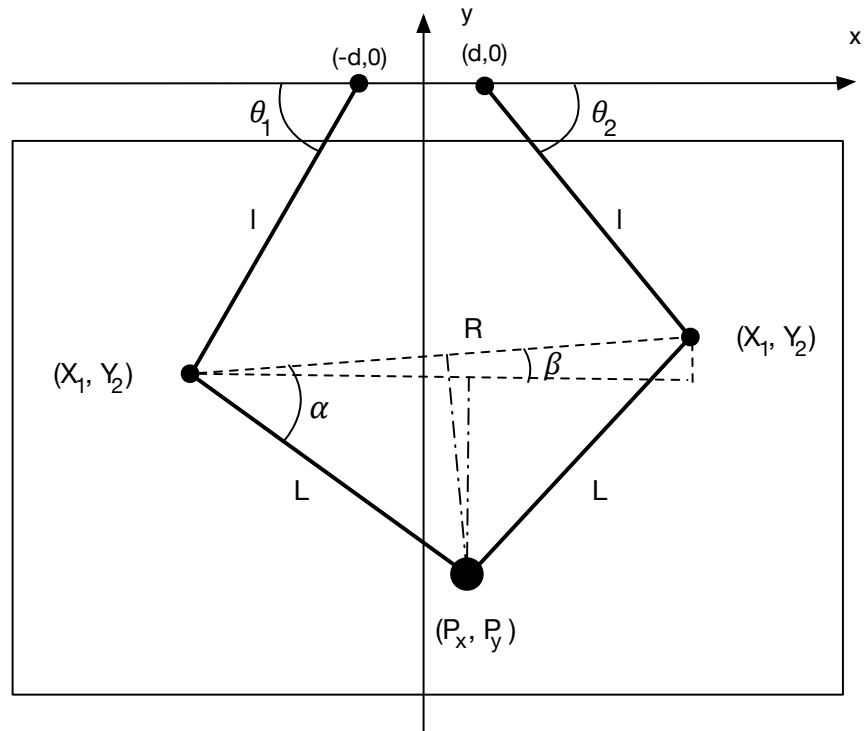


FIGURA 5.3: Representación de las coordenadas y ángulos existentes en el dispositivo.

La parte de la interfaz realiza todos los cálculos pertinentes cada vez que cambia la posición de la articulación central. En particular, el sistema hace uso de los valores dados por el dispositivo mecánico para que cada par de ángulos de entrada θ_1, θ_2 de los motores se pueda traducir a una posición particular $P = (P_x, P_y)$ en el plano, como se muestra en la Figura 5.3. Por lo tanto, se aplica un sistema de ecuaciones trigonométricas, siguiendo el conjunto de triángulos generados por la distancia d desde el centro de los motores a los segmentos L, l y los ángulos α y β . En particular, P se calcula como:

$$P = (P_x, P_y) = (X_1 + L \cdot \cos(\alpha - \beta), Y_1 + L \cdot \sen(\alpha - \beta)) \quad (5.1)$$

donde (X_i, Y_i) son las coordenadas del punto de articulación del brazo, α es el ángulo entre la línea R que vincula (X_1, Y_1) con (X_2, Y_2) y β es el ángulo entre el eje horizontal extraído de (X_1, Y_1) y R .

(X_i, Y_i) se calculan a través de relaciones trigonométricas de acuerdo con Ecuación 5.2.

$$(X_i, Y_i) = (-1)^i (d + l \cdot \cos\theta_i, -l \cdot \sen\theta_i) \quad (5.2)$$

donde θ_i son los ángulos entre los segmentos y el eje horizontal, y l es la longitud del segmento inferior de i . Con estos valores, R se puede calcular fácilmente como la

distancia euclidiana de P_1 y P_2 :

$$R = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \quad (5.3)$$

R permite determinar $\alpha = \cos^{-1}(\frac{R}{2L})$ y $\beta = \tan^{-1}(\frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2})$, que a su vez permite calcular el punto P (Ecuación 5.1).

Una de las ventajas de utilizar este dispositivo es que los motores pueden ejercer una fuerza de retroalimentación que puede ser útil para el usuario en diversas aplicaciones, como en el caso de esta propuesta, para ayudar al usuario en el modo de colaboración. Para aplicar una fuerza de realimentación, el dispositivo determina los valores de ángulo que se envían a los motores para alcanzar la posición deseada P de la articulación central del dispositivo siguiendo los mismos cálculos propuestos anteriormente.

5.2.0.1 Control de la posición

La función esencial del sistema para interactuar con el dispositivo y transmitir las indicaciones del usuario es traducir la posición de la articulación central en una nota y una duración que podría llamarse una nota y duración de “referencia”. Como la posición P se asigna en un espacio bidimensional, se ha decidido que el eje Y representa la nota de referencia, ya que “subir” se asocia intuitivamente con notas más altas y “bajar” con notas más profundas. A su vez, el eje X corresponde a la duración de referencia (ritmo).

Para garantizar el acceso a todos los puntos de referencia mediante el uso del dispositivo, el espacio de coordenadas debe estar delimitado. En el eje X, 0 representa la nota más corta (semicorchea) y 1 representa la nota más larga (redonda). En el eje Y, 0 representa silencio y 1 representa la nota más alta en una octava alta. Aunque los puntos a lo largo del eje Y se enmarcan inicialmente en dos octavas, . A pesar de que podría parecer un registro estrecho, no se contemplan cambios de octava, ya que la mayoría de esta música posee un ámbito muy estrecho, casi nunca de más de una octava.

5.3 Análisis de las fuentes recopiladas para ETHNO-MUSIC

Para la correcta implementación del sistema presentado en esta tesis, es necesario un trabajo exhaustivo de recopilación, análisis y clasificación de fuentes de acuerdo al estilo, género, y otros factores musicales.

Debido a la gran variedad estilística y estructural de las recopilaciones en el territorio nacional, era necesario acotar la búsqueda a un espacio geográfico más reducido. La decisión de elegir la región de Castilla y León como parte del caso de estudio obedece a dos razones principales. Por un lado, esta tesis se enmarca en la ciudad de Salamanca, donde la doctoranda es natural, estudia y trabaja actualmente. El conocimiento de la geografía, las costumbres y también la música tradicional en esta región es más amplia que dentro de cualquier otra. Este factor de conocimiento de la región animó a decantarse por el estudio de la música popular en Castilla y León.

Por otra parte, el número de piezas populares recabadas en la comunidad es mucho mayor que en cualquier otra zona de España. Esto quiere decir que encontraremos una mayor representación de los sistemas modales más característicos de la nación, y que pretendemos recuperar y transmitir a través del diseño de esta herramienta. Puesto que el sistema necesita un número relativamente alto de tonadas en estilos similares para poder funcionar correctamente, era primordial que tuviéramos material suficiente para trabajar. Por tanto, se decidió utilizar las melodías encuadradas en la región de Castilla y León como base de conocimiento para el aprendizaje de la máquina.

Existen muchas obras recopiladas por autores en las diferentes regiones de Castilla y León, pero realizar un análisis exhaustivo de todos ellos, además de cada una de las piezas musicales que recogen, resulta inabarcable, y tampoco contribuye a la consecución de los objetivos de esta tesis. Además, algunos de los cancioneros ya no se han vuelto a editar, y por tanto, el acceso a los mismos es muy difícil, sino imposible. Así pues, se ha seleccionado un cancionero accesible que además, de forma más o menos uniforme, haya recogido melodías de las diferentes regiones que conforman la comunidad de Castilla y León.

Finalmente, se ha decidido utilizar el *Cancionero Básico de Castilla y León* de Miguel Manzano como base para extraer tonadas en los modos más característicos de la música popular española. El estudio llevado a cabo se detalla con más profundidad en el Anexo A, pero en esta sección realizaremos un breve resumen sobre cómo se han analizado las tonadas.

El cancionero está enfocado a sacar lo más representativo: ayuda al aprendizaje. Además, la recogida de tonadas de diferentes regiones de forma uniforme, así como la omisión de la localidad determinada era un factor interesante desde el punto de vista de nuestro trabajo, ya que buscamos las sonoridades más características de la región de Castilla y León sin entrar en detalles o posibles prejuicios acerca de la localidad o provincia en concreto.

Asimismo, parte de los objetivos que persigue la confección de este cancionero son compartidos por esta tesis que se presenta:

- Facilitar la consulta del repertorio popular más representativo de la región.
- Recopilar aquellas canciones representativas, que puedan identificarse como algo propio y cercano. De esta misma manera, en esta tesis buscamos la generación de música que sea representativa de la región de Castilla y León.
- Promover conservación activa mediante un uso pedagógico del repertorio seleccionado. En este trabajo, también pretendemos la preservación del patrimonio musical en la comunidad de Castilla y León a través de este sistema, que pretende dar a conocer las sonoridades a través del uso de la herramienta.

De entre las casi 400 piezas que recoge este cancionero, se han recopilado aquellas tonadas cuyo sistema melódico fuera modal, ya que nuestro objetivo es precisamente promover el conocimiento en estas nuevas sonoridades.

Si bien es cierto que hemos tomado como base este cancionero, para el correcto aprendizaje de la máquina, se han tenido que recurrir a otra recopilación de fuentes, sobre todo en el caso del modo de Sol, ya que en el *Cancionero Básico de Castilla y León* no se han encontrado un número de piezas suficientes. En particular, hemos recurrido a las recopilaciones llevadas a cabo por la Dra. M^a Dolores Pérez Rivera en sus tesis doctoral Pérez Rivera (2016), en gran parte porque estos datos ya estaban digitalizados, y ha sido más fácil extraerlos y almacenarlos en nuestro sistema.

5.4 Análisis de la Recopilación de Datos

Como el objetivo es generar y controlar una melodía variando el tono y el ritmo, se requerían al menos los datos de entrada que representen estas dos características. Actualmente, no existe un formato estándar que solo trate estas dos variables, lo que hace necesario extraer datos de otros tipos de archivos. Se tomó la decisión de utilizar archivos MIDI (Interfaz Digital de Instrumentos Musicales, (Jungleib, 1996)) debido a su disponibilidad en toda la red y su estructura, que permite un fácil acceso a notas y duraciones. Los archivos no contienen los sonidos. En cambio, incluyen instrucciones que permiten la reconstrucción de la canción mediante el uso de un secuenciador y un sintetizador que funcionan con las especificaciones MIDI. Por lo tanto, los archivos son bastante livianos ya que permiten codificar una canción completa en unos cientos de líneas.

Estos archivos MIDI no son más que la digitalización de las partituras recogidas a partir de las fuentes citadas en la sección anterior. Una vez que los archivos MIDI están disponibles, el siguiente paso es analizar la información necesaria para el sistema. En particular, por cada tonada codificada en MIDI, se han analizado las siguientes características:

- Sistema melódico: La primera característica analizada es el sistema modal al que pertenece la pieza. Este análisis se ha realizado de forma manual.
- Ámbito melódico. El ámbito melódico nos indicará la nota más grave y más aguda que incluye la melodía de la pieza, y los grados que aparecen. Este análisis se ha podido hacer de forma automática por el sistema.
- Perfil melódico. El perfil es el desarrollo melódico, es decir, las notas por las que va pasando. La extracción de esta información es fundamental para el entrenamiento del sistema. Este análisis también se ha podido extraer de forma automática
- Género al que pertenece la pieza musical. Analizaremos de forma manual el género para clasificar las tonadas recogidas. Esta información será de utilidad para la última fase del sistema, cuando se le añada la letra a la música.
- Relación texto-música. En este caso, nos referimos a la estructura que posee la pieza musical de acuerdo al texto y a la música. El sistema necesita conocer las frases musicales de las que consta la música, y este procedimiento se ha realizado de forma manual, ya que automáticamente no es capaz de detectarlo. Asimismo, la estructura textual será importante para la generación de las letras añadidas a las melodías generadas.
- Organización rítmica. El compás y las fórmulas rítmicas son fundamentales también para el proceso de aprendizaje, y se han podido extraer de forma automática.

Entre los siete sistemas modales que existen, hemos elegido el modo de Mi, de La y de Sol como los modos aplicables en este caso de estudio para el entrenamiento del sistema. En particular, se han recogido una media de 60 tonadas por cada modo, y se han analizado siguiendo el procedimiento anterior. En el Anexo A se presenta una ejemplificación de este análisis con 10 tonadas de diferentes modalidades y géneros.

Para extraer el perfil melódico y la organización rítmica se han utilizado las características MIDI, ampliamente descritas en el Capítulo 3, y que aquí describiremos brevemente. Cada archivo MIDI representa una secuencia (generalmente correspondiente a una canción o composición), que a su vez consiste en una o más

pistas. Estas pistas se caracterizan por una secuencia de eventos MIDI, es decir, mensajes MIDI asociados con un tiempo en particular. Las diferentes líneas de las secuencias se reproducen simultáneamente, por lo que generalmente cada línea se usa para un instrumento. Dadas estas especificaciones de formato MIDI, solo se necesitan unos pocos pasos para extraer los datos requeridos. Primero, los archivos MIDI se iteran para obtener la secuencia correspondiente. Luego, se repiten a lo largo de las pistas y se realizan búsquedas para diferentes eventos. Como tanto las notas como sus duraciones son necesarias para el presente trabajo, estamos interesados en eventos de tipo NOTE_ON y NOTE_OFF (Huber, 2007). Como su nombre lo indica, estos eventos se utilizan para determinar el inicio y el final de una nota en particular, especificada en el primer byte del mensaje MIDI. El segundo byte del mensaje indica la intensidad de la nota (llamada "velocidad" en mensajes MIDI). Este byte se ignora en este trabajo, excepto en el caso de un mensaje de tipo NOTE_ON con velocidad 0, que es el equivalente a un tipo de mensaje NOTE_OFF (Huber, 2007). También tiene en cuenta eventos del tipo PROGRAM_CHANGE, que indican un cambio de instrumento.

Una vez que las melodías se extraen de los archivos MIDI, y se añaden al trabajo de análisis manual, se almacena todo en una base de datos, que posteriormente será utilizada como el conjunto de entrenamiento para el Modelo de Markov. La siguiente sección detalla el proceso para obtener la nueva melodía que el usuario debe validar.

5.5 Generación de la nueva melodía

Para la generación inteligente y controlada de melodías, se propone un enfoque híbrido en el que el algoritmo que genera la melodía tiene en cuenta tanto el modelo de Markov como la posición del dispositivo. La Figura 5.4 a continuación resume los diferentes pasos relacionados con el algoritmo de control y la generación de melodías detalladas a lo largo de esta sección.

El primer paso en esta etapa es obtener un modelo que represente los datos obtenidos y sirva para la generación de melodías. Los modelos de Markov son una herramienta ampliamente utilizada para modelar las propiedades temporales de varios fenómenos, desde la estructura de un texto hasta las fluctuaciones económicas. Dado que estos modelos son relativamente fáciles de generar, también se usan para aplicaciones de generación de contenido, como la generación de texto o música. Por ello, este tipo de modelo fue elegido para el estudio, aunque sus resultados están adaptados al control interactivo del dispositivo.

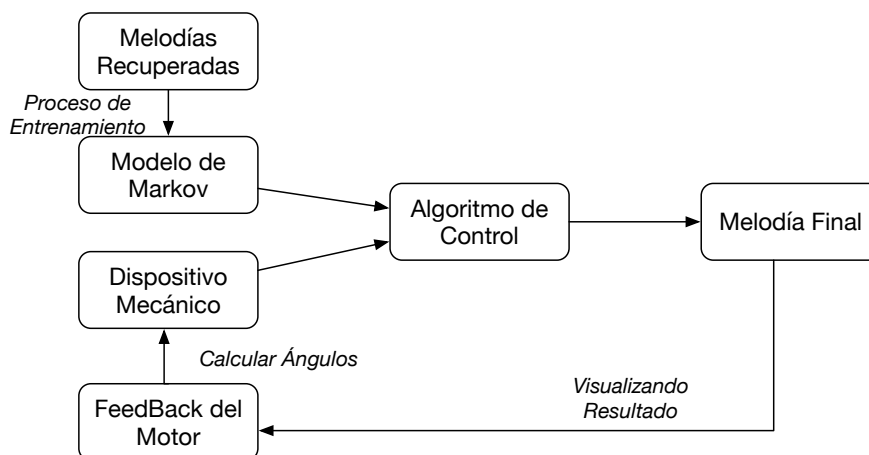


FIGURA 5.4: Esquema con el proceso de adaptación para generar una nueva melodía.

Brevemente, un Modelo de Markov representa un tipo especial de proceso estocástico en el que la probabilidad de que ocurra un evento (en este caso, una nota o silencio con una duración determinada) depende únicamente de los n eventos previos. Esta característica de “memoria limitada” es lo que se conoce como propiedad de Markov.

En nuestro caso, n se estableció empíricamente en 4. Para los propósitos de este trabajo, y con respecto específicamente al dispositivo de control para expresar la duración y el tono de las notas en la melodía, el conjunto de entrenamiento se comprime en dos octavas, parámetro más que suficiente, ya que ninguna de las piezas recogidas ha superado este registro. Además, las duraciones se normalizan a 8 posibles duraciones: semicorchea, corchea, corchea con punto, negra, negra punteada, blanca, blanca punteada y redonda (un punto equivale a multiplicar la longitud de la nota por 1.5). De esta forma, las 8 duraciones posibles expresadas en las semicorcheas son 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 y 16.

El modelo de Markov se construye a través de un proceso de entrenamiento simple. Se itera entre todas las secuencias de notas con la duración extraída para el grupo seleccionado de instrumentos, actualizando constantemente el estado del modelo de Markov, ya que está iterando el algoritmo y agregando progresivamente cada transición a su estado correspondiente. Una vez que el ciclo finaliza, se itera nuevamente desde el comienzo de los datos para asegurar la estabilidad del modelo de Markov (es decir, hay al menos una transición para cada estado), pero esta vez la secuencia de la nota final se considera un estado. Aunque el modelo de Markov determina las posibles transiciones para cada estado y las probabilidades iniciales de cada uno de ellos, la selección de las notas siempre está influenciada por la posición del dispositivo mecánico. Por lo tanto, las probabilidades de cada nota que se selecciona como la siguiente nota en la melodía se ajustan de acuerdo con el control que el usuario puede ejecutar a través del dispositivo. Después de este paso, las probabilidades de las transiciones restantes se tratan como

una distribución estadística y la nota de salida se calcula generando una observación “ aleatoria ” basada en esta distribución. Después de la generación de cada nota, se le da retroalimentación visual al usuario. Para controlar la generación de melodías, la posición del dispositivo debe traducirse en una nota y una duración. El dispositivo funciona con un espacio de 2 dimensiones (ejes X e Y), que se utilizan para controlar los tonos y sus respectivas duraciones en la melodía. El eje Y se configuró para indicar la nota de referencia (tonos más altos o más bajos), ya que asociamos intuitivamente “ escalada ” con notas más altas y “ bajando ” con notas más bajas. Del mismo modo, el eje X indica una duración de referencia. Para que todos los puntos de referencia sean accesibles mediante el uso del dispositivo, el espacio de coordenadas del dispositivo debe reducirse transformándolo en un espacio rectangular. Una vez que las coordenadas que se utilizarán están delimitadas, y para una mayor generalización del algoritmo de control, ambos ejes tienen valores mínimos y máximos. En el eje X, 1 representa la nota más corta (semicorchea) y 16 representa la nota más larga (redonda). En el eje Y, 0 representa silencio; Se representan 2 octavas de referencia, desde la más baja hasta la más alta. Estas delimitaciones del espacio de referencia facilitan el proceso de entrenamiento del modelo. Otra característica añadida es la posibilidad de acortar notas que se consideran demasiado largas desde el punto de vista de los usuarios. La lógica detrás de esto es muy simple: si se ha generado una nota larga y el dispositivo se desplaza hacia la izquierda en el eje X (hacia 0, es decir, hacia notas más cortas), la nota actual es “ cortada ” y el la duración de la próxima se calcula.

Es importante tener en cuenta que el usuario puede controlar la melodía solo de forma parcial. Eso significa que la posición en la que el usuario mueve el dispositivo no corresponde a un tono en particular, sino a una nota de “ referencia ” o punto de referencia y duración t_r . Por lo tanto, es posible que la misma posición pueda dar diferentes notas (aunque similar duración y tono) en diferentes momentos, de acuerdo con el Modelo de Markov que limita qué notas son elegibles para la melodía. En consecuencia, después de traducir la posición del dispositivo en una nota y una duración de referencia, intentamos modificar las probabilidades de las diferentes transiciones posibles del modelo de Markov según estos valores, donde una transición significa una nueva nota añadida a la melodía. Esta modificación se realiza de dos formas complementarias: por un lado, se aumenta la probabilidad de las transiciones más cercanas al valor de referencia t_r y, por el otro, se evitan todas las transiciones que están demasiado lejos de este valor. La probabilidad de las transiciones cercanas al control aumenta en función del parámetro k , que determina el peso de la referencia al calcular la probabilidad de cada transición t_i de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P(t) = k \cdot P_D(t_i, t_r) + (1 - k) * P_M(t_i) \quad (5.4)$$

donde $P_D(t)$ significa la probabilidad de la transición después del dispositivo, y $P_M(t)$ representa la probabilidad de una transición siguiendo el modelo de Markov. k se establece empíricamente en 0.55. Para comenzar, seleccionamos las transiciones más probables t_i que proporcionó el modelo de Markov. $P_D(t)$ se calcula como una función de la distancia entre cada transición t_i y la transición de referencia t_r . Como cada transición se caracteriza por una nota y una duración, hay dos distancias para cada transición t_i : la distancia de la nota y la distancia de la duración. La probabilidad se ha definido como el inverso de la distancia euclidiana normalizada entre el tono de referencia y el tono d_p , y la duración de referencia y la duración de la transición d_d .

$$P_D(t_i, t_r) = \begin{cases} 1 - \|d_p(t_i, t_r) + d_d(t_i, t_r)\| & : d_d < d_{dmax}, d_p < d_{pmax} \\ 0 & : otherwise \end{cases} \quad (5.5)$$

La ecuación 5.5 muestra que la probabilidad de que se seleccione una transición t_i es inversamente proporcional a la distancia entre t_i y la transición de referencia t_r . La distancia d_p se calcula aplicando la distancia euclidiana de la coordenada x de t_r y la coordenada x que correspondería a la transición t_i cuando se representa en el espacio del dispositivo mecánico. La distancia d_d también representa la distancia euclidiana de la coordenada x de t_r y t_i .

También es posible que los Modelos de Markov proporcionen algunas transiciones que deben descartarse porque están demasiado alejadas de la transición de referencia t_r . Esta limitación del rango de salida se realiza mediante dos parámetros ajustables que determinan la distancia máxima de las notas MAX_{DP} y la duración de las transiciones de salida con respecto a los valores de referencia MAX_{DD} . Cuando la duración o la distancia de tono entre t_i y t_r están por encima de estos umbrales, la probabilidad P_D se establece automáticamente en 0, para evitar transiciones demasiado alejadas del control del dispositivo. Los valores de MAX_{DD} y MAX_{DP} son ajustables, y para los fines de nuestro trabajo se han establecido empíricamente en 4.3 y 6.2, respectivamente. En algunas situaciones, el sistema no puede encontrar ninguna transición que esté dentro del rango de control (es decir, todas las transiciones posibles están demasiado lejos del punto de control). Para tales casos, la transición del modelo de Markov con la distancia mínima entre t_i y t_r se selecciona como la siguiente nota en la melodía. La siguiente transición se calcula aplicando las probabilidades del modelo de Markov y la posición del dispositivo. El proceso finaliza cuando el usuario decide hacerlo. Este conjunto de notas se vuelve a reproducir para la evaluación del usuario, que se explica en detalle en la siguiente sección.

5.6 Limitaciones del primer prototipo

Esta propuesta ha presentado un sistema inteligente para componer melodías utilizando un dispositivo mecánico para controlar la duración y el tono de las notas generadas. Como primer paso, el enfoque propuesto recupera un conjunto de archivos MIDI de los cuales se extraen las notas con sus respectivas duraciones. Un modelo de Markov se entrena con los datos del grupo deseado, y las probabilidades de transición de este modelo se modifican de acuerdo con el dispositivo de control para generar una melodía que respete estas probabilidades “controladas”.

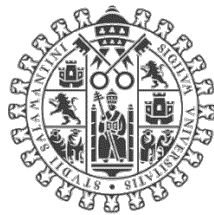
Para implementar el sistema, se ha desarrollado una aplicación que podría describirse como un secuenciador inteligente controlable, ya que, por un lado, aprende a generar secuencias a partir de conjuntos de ejemplos y, por otro, admite la intervención directa del usuario para guiar el proceso de generación de la melodía.

No obstante, el sistema no contiene ninguna arquitectura de aprendizaje, lo que quiere decir es que el usuario no marca ninguna diferencia, y el sistema no aprende de su comportamiento para adaptar las melodías generadas a sus preferencias y predecir cuáles van a ser sus movimientos para optimizar el resultado.

En el siguiente capítulo presentaremos una arquitectura de aprendizaje que permita recoger las experiencias de los usuarios y aprender a partir de la ejecución de estos usuarios y de su opinión final acerca de la melodía para mejorar los resultados.

Capítulo 6

Arquitectura de Aprendizaje Musical



VNiVERSIDAD
DSALAMANCA

Arquitectura de Aprendizaje Musical

A partir del factor de colaboración entre humanos y máquinas detallado en capítulos anteriores, el presente trabajo pretende presentar un prototipo de sistema inteligente que cree música popular siguiendo las pautas dadas por un usuario.

Una de las condiciones principales para una colaboración efectiva es el diseño de una interfaz que permita la interacción de forma transparente y sencilla. Por ese motivo, se ha desarrollado un sistema de interacción a través de un dispositivo mecánico similar a un joystick. Este dispositivo permite que el usuario guíe la creación de la música en cuanto a direccionalidad de la melodía y ritmo a través de sus movimientos, tal y como hemos visto en el capítulo anterior.

El primer prototipo desarrollado presentaba una limitación: el sistema no evolucionaba a partir de las interacciones con el usuario, era un sistema que solo era capaz de generar música a partir de un corpus inicial analizado de antemano. Por ello, se ha ideado un nuevo diseño, de forma que ahora el sistema almacena los diferentes perfiles de usuario para adaptar la composición a cada usuario específico.

Alentados por el éxito en el desempeño del aprendizaje automático en diferentes campos de la ciencia, presentamos el sistema de aprendizaje que rige nuestro sistema. Para mejorar la experiencia de los usuarios, el sistema necesita aprender de sus preferencias y las indicaciones que dan a través del dispositivo mecánico. En consecuencia, el sistema proporciona una arquitectura modelada con una metodología de razonamiento basado en casos (CBR). En él se incluye un mecanismo de entrenamiento para la generación de música popular mediante el uso de una memoria de las melodías anteriores generadas por el usuario y de los archivos MIDI que hemos digitalizado a partir de la recopilación de fuentes que se ha realizado para este trabajo.

Un dispositivo mecánico integrado en el sistema y controlado por el usuario, permite influir en los aspectos tonales y rítmicos de una melodía. El sistema cuenta con un

modelo de Markov, entrenado para extraer la secuencia de notas más probable de acuerdo con los movimientos del dispositivo mecánico y los archivos MIDI recuperados. El resultado musical será calificado por el usuario para expresar su opinión sobre la calidad de la música. La melodía creada puede almacenarse en la memoria para recordar los resultados y poder aprender de los posibles errores cometidos.

Asimismo, en este caso se presentan dos modos de ejecución: un modo supervisado y un modo colaborativo. El primero tiene como objetivo aprender de las indicaciones dadas por el usuario a través del dispositivo mecánico. En el segundo modo, la máquina guía al usuario a través de movimientos automáticos en el dispositivo. En ambos casos, el objetivo es promover la colaboración entre humanos y máquinas para obtener un producto creativo. En el primer caso específicamente, la máquina aprende de las indicaciones de los usuarios a través del dispositivo mecánico, mientras que el usuario puede aprender a componer música en un estilo específico cuando la máquina guía los movimientos del usuario, en el segundo caso.

Señalamos que las nuevas tecnologías se han utilizado en este prototipo como una herramienta eficiente para resolver problemas en una variedad de contextos. En música, se aplican con éxito y generan resultados muy interesantes desde un punto de vista creativo (Macedo & Cardoso, 2004; Martin et al., 2011). En particular, el sistema diseñado es capaz de capturar los datos de salida del proceso en el contexto para realizar diferentes acciones para cambiar algo en el entorno. La organización del sistema permite mejorar la flexibilidad y la eficiencia en la resolución de problemas en entornos diferentes y dinámicos.

Este capítulo detalla todo el proceso de investigación que se ha llevado a cabo. La siguiente sección presenta el sistema de aprendizaje aplicado en este caso de estudio. La Sección 6.1 detalla el núcleo de aprendizaje del sistema, que incluye la descripción completa del ciclo CBR. Por último, presentamos unas pequeñas conclusiones al final del capítulo.

6.1 Proceso de Aprendizaje Basado en Casos

Una de las partes esenciales del sistema aquí descrito es poder aprender del contexto. Para ello, se aplicó una arquitectura CBR integrada en el sistema. En esta sección se hace una descripción teórica del ciclo CBR, esencial para la consecución de nuestro objetivo.

El razonamiento de base de casos (CBR) se fundamenta en la idea de que problemas similares se resuelven a partir de acciones similares, y proporciona al sistema un

mecanismo para aprender de experiencias anteriores y resolver nuevos problemas. Esta arquitectura está basada en un comportamiento muy común en la naturaleza humana: aprender de nuestros errores, pero también de nuestros éxitos. Por tanto, una entidad con una inteligencia desarrollada siguiendo esta arquitectura buscará resolver un problema aplicando una solución lograda en un caso anterior, siempre y cuando esta experiencia pasada posea con características similares al caso presente.

Para entender este concepto, proponemos una analogía. Un niño pequeño se acerca a una cazuela que tenemos colocada en el fuego. Cuando el niño toque la cazuela con las manos, se quemará, y asimilará esto como una experiencia. Al día siguiente colocamos una cazuela, que probablemente no sea exactamente igual ni contendrá los mismos alimentos, pero el niño asociará esta nueva situación con la situación anterior por sus similitudes, y esta vez probablemente ya no acerque la mano.

Si quisiéramos llevar este ejemplo a la inteligencia de una máquina, deberíamos identificar los elementos que rodean a la situación. Nuestra máquina asimilará que estamos en la cocina, que el fuego está encendido y que tenemos un elemento de tipo cazuela colocado sobre el fuego, que hemos acercado la mano para coger la cazuela y que nos hemos quemado. Esta descripción de los elementos que nos permiten abstraernos e identificar dos experiencias distintas como similares, se denomina “caso” en el contexto computacional. Este concepto puede describirse de forma formal como una tupla de 3 elementos $\langle Problema, Solucion, Resultado \rangle$.

En este caso el Problema sería la descripción del entorno (lugar: cocina, elementos y estado: fuego encendido, cazuela encima del fuego). Entendiendo que nuestro objetivo era conseguir la cazuela, la solución sería ejecutar la acción “coger cazuela”. Ya por último, el resultado ha sido un resultado negativo, que es que nos hemos quemado. Esta experiencia se ha almacenado en nuestro sistema como algo negativo, lo que quiere decir que la próxima vez que nos enfrentemos a este problema buscaremos otra solución diferente.

Viendo cómo se ha desarrollado este pequeño ejemplo, ya podemos deducir ciertas limitaciones que pueden derivar de este sistema de aprendizaje. La principal es cómo aprende la máquina en sus fases iniciales, cuando no haya sufrido ninguna experiencia anterior que le pueda guiar en su comportamiento. Por tanto, se recomienda que un CBR implemente un método en su fase inicial, hasta que se hayan almacenado en la memoria soluciones anteriores, para que se puedan proponer buenos resultados. Otro problema es que, de alguna forma, siempre se requiere una evaluación para validar una solución. Esta validación no siempre puede realizarla la máquina por sí sola, sino que muchas veces debe ser llevada a cabo por un experto en el campo para aumentar la confianza en el aprendizaje (Riesbeck & Schank, 2013). En el caso que nos ocupa, suponemos que

este proceso lo está llevando a cabo un robot que por supuesto, no tiene un sentido del tacto como un ser humano. Por tanto, necesita un estímulo externo que le indique que la temperatura es demasiado alta para coger la cazuela y que puede dañar parte de su sistema *hardware*. El tercer problema viene dado por la propia descripción de los casos almacenados. En este sentido, si las experiencias que siempre se han almacenado han sido negativas, el CBR no tiene ninguna guía para poder superar experiencias similares. Por tanto, también es necesaria una guía externa (probablemente humana) para codificar aquellos casos que garanticen una respuesta positiva.

En nuestro caso, estas tres limitaciones se pueden resolver fácilmente. En las etapas iniciales del proceso de aprendizaje ya tenemos casos almacenados, que es el corpus que hemos analizado manualmente y hemos codificado para utilizarlo como parte del entrenamiento del sistema, con lo cual ya hemos resuelto el primer y tercer problema. En cuanto a la segunda limitación, utilizaremos una validación humana para evaluar los resultados musicales.

De forma general, para implementar un CBR, debe seguirse un ciclo de vida con cuatro etapas (Aamodt & Plaza, 1994) que se denominan: Etapa de Recuperación, Etapa de Reutilización, Etapa de Revisión y Etapa de Retención. En la etapa de recuperación, el CBR busca casos con una descripción similar al problema actual que está intentando resolver, comparando sus descripciones. En la etapa de reutilización, el CBR adapta las soluciones recuperadas para así obtener una nueva para el problema actual. El resultado propuesto es evaluado por expertos en la etapa de revisión, para decidir si es lo suficientemente bueno para almacenar la nueva experiencia en la etapa de retención.

La interfaz envía toda la información sobre las preferencias del usuario al CBR. Entonces, comienza con su ciclo. En primer lugar, las melodías generadas previamente que satisfacen los parámetros iniciales del usuario se extraen de la memoria del sistema en la etapa de recuperación. Estas soluciones se utilizan luego para entrenar el Modelo de Markov que se aplicará en la Etapa de Reutilización junto con las indicaciones recopiladas por el dispositivo para generar una nueva melodía. La combinación particular del modelo estadístico y el dispositivo mecánico depende del modo de trabajo del sistema previamente seleccionado. Se desarrollan dos modos diferentes, a saber, el modo supervisado y el modo colaborativo. El modo supervisado le da al usuario un control total del dispositivo mecánico sin ninguna asistencia externa de la máquina. Por otro lado, en el modo de colaboración, el usuario puede experimentar una fuerza de resistencia en el dispositivo mecánico cuando la máquina quiere influir en el resultado melódico. En cualquier caso, el usuario clasifica la melodía completa en la etapa de revisión a través de la interfaz para determinar si el CBR debe almacenarla para ayudar a mejorar la experiencia del usuario o descartarla debido a su baja calidad (siempre de acuerdo con

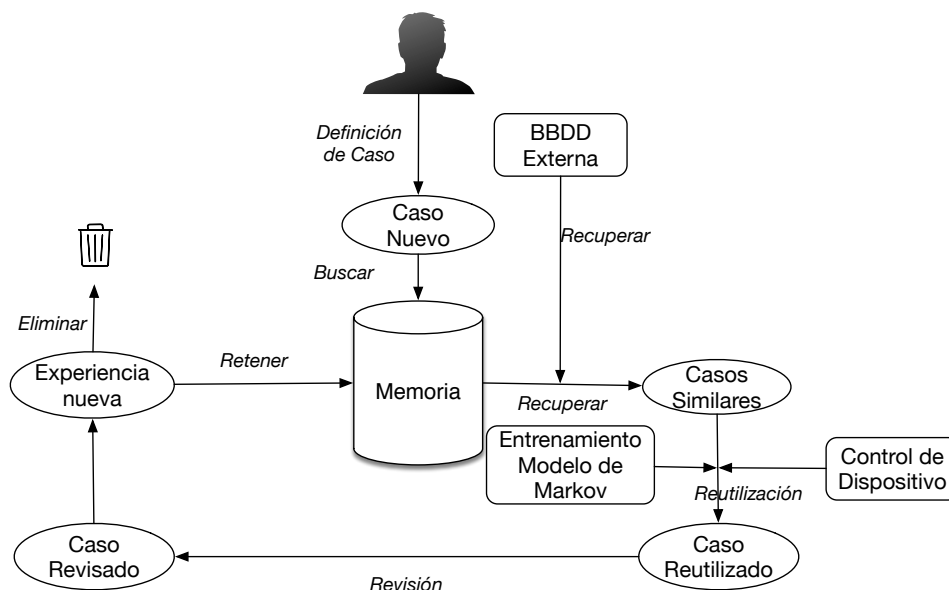


FIGURA 6.1: Esquema con el proceso CBR. El caso representa una formalización de una melodía con los requisitos iniciales presentados por el usuario y la revisión final obtenida.

las preferencias del usuario) en la etapa de retención. La Figura 6.1 ilustra el proceso principal del ciclo de CBR.

Todo el proceso se basa en el concepto de caso, que formalmente se define como una tupla $C = \langle P, S, R \rangle$. En este caso en particular, P es el dominio del problema que representa la información de la composición que queremos crear, esto incluye el estilo y la tonalidad de la música a generar. S es la secuencia de $\langle N, D, X \rangle$ donde N es la nota musical considerada y D corresponde a su duración, y X el resto de parámetros analizados y comentados en el capítulo anterior codificados en un formato estándar. Finalmente, R representa la calificación subjetiva de los usuarios sobre la melodía musical obtenida.

El primer paso es obtener y procesar los datos de entrada detallados en la Sección 6.1.1. El proceso de generar la melodía del modelo de Markov y la posición del dispositivo, como se explica más adelante en la Sección 6.1.2. Finalmente, las Secciones 6.1.3 y 6.1.4 explican el proceso de retroalimentación de los resultados.

6.1.1 Búsqueda de soluciones anteriores (Etapa de Recuperación)

Cada experiencia pasada se almacena como una tupla de tres elementos $C = \langle P, S, R \rangle$ y representa un caso anterior guardado en la memoria del sistema. Cada vez que se

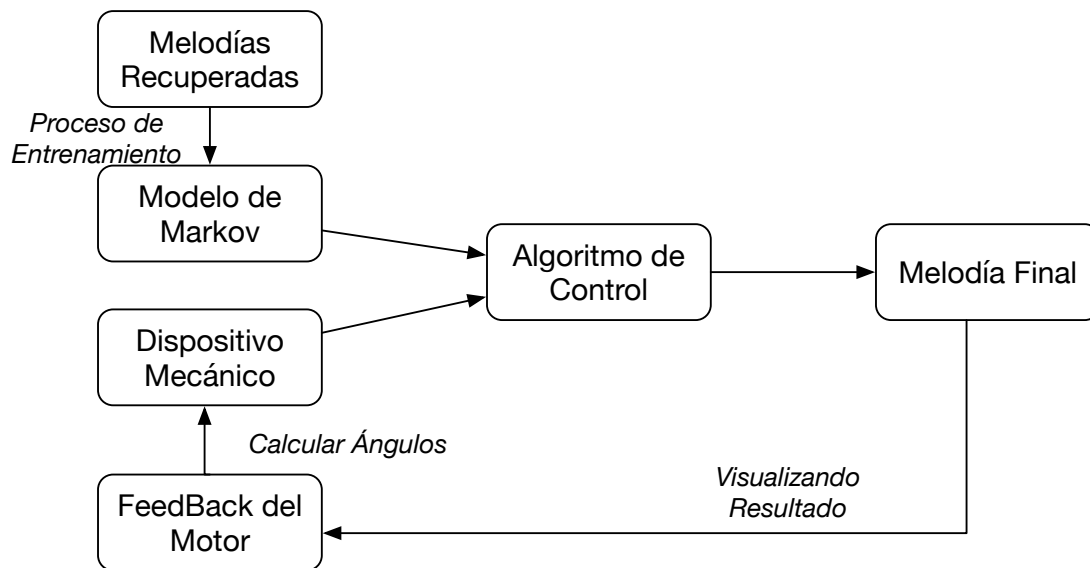


FIGURA 6.2: Esquema con el proceso de adaptación para generar una nueva melodía.

necesita generar una melodía, se recupera de la memoria un conjunto de casos anteriores con propiedades similares. Para medir la similitud entre la experiencia pasada y la actual, el sistema compara el componente P con la descripción de entrada, ambos contienen un conjunto de etiquetas L_i con el estilo musical o las características del género, incluida la tonalidad principal de la composición. El sistema recupera los casos similares C para resolver el problema actual.

Cada caso C recuperado del rastreador o de la memoria presenta una solución S que contiene una melodía. Esta melodía debe codificarse en un formato estándar, ya sea que la música haya sido extraída de Internet o extraída de la memoria. Para evitar traducciones difíciles cuando la música se recupera de la web, se utiliza formato numérico, y para las notas y las duraciones, el formato MIDI (Jungleib, 1996), cuya estructura está completamente estandarizada para permitir un fácil acceso a la información sobre lanzamientos y duraciones.

Las propiedades de la melodía extraída se codifica como una lista $\langle N_i, D_i, S_i \rangle$ basada en el formato MIDI y se usa como el conjunto de entrenamiento para los Modelos de Markov en la Etapa de Reutilización.

6.1.2 Generación de la nueva melodía (Etapa de Reutilización)

El sistema tiene como objetivo generar una melodía que aplique no solo el modelo estadístico sino también la interacción del usuario con el dispositivo mecánico. Por lo tanto, se propone y se diseña un enfoque híbrido según la Figura 6.2.

Para explorar la colaboración entre el usuario y el sistema, se desarrollan dos modos diferentes, a saber, el modo supervisado y el modo colaborativo. En el modo supervisado, el usuario controla el dispositivo mecánico sin ayuda externa de la máquina. En este modo, la melodía generada sigue las indicaciones de los usuarios. Por el contrario, en el modo de colaboración, el dispositivo mecánico puede presentar una resistencia contra los movimientos de los usuarios para que la melodía también sea parcialmente controlada por el sistema. En este modo, la máquina sugiere nuevos movimientos aprendidos de experiencias previas a través del dispositivo mecánico. En consecuencia, la modificación de las probabilidades del modelo de Markov depende del modo de trabajo del sistema. En consecuencia, la modificación de las notas de acuerdo al dispositivo está influenciada por los modos de funcionamiento del sistema (Figura 6.2).

En el modo supervisado, el sistema sigue el funcionamiento que hemos descrito en el Capítulo 5. Por tanto, no reincidiremos con la misma información en esta sección, centrándonos en el comportamiento del modo de colaboración, que es similar al modo supervisado, pero con algunas modificaciones en la ecuación.

En el modo de colaboración, k de la Ecuación 5.5 se establece en 0, lo que significa que la probabilidad de una nota seleccionándose solamente depende del modelo de Markov ($P_M(t_i)$). Sin embargo, con el fin de preservar algunos resultados coherentes y evitar algunos saltos bruscos que puedan dañar el dispositivo, las notas que se pueden considerar como opciones deben aparecer dentro de los valores de d_{dmax} y d_{pmax} donde el centro es la posición actual de la articulación central. Eso significa que el sistema busca las notas y duraciones más probables (transición t_i) que se seleccionarán para formar parte de la melodía que se incluyen en este radio propuesto. Sin embargo, el movimiento automático podría corregirse parcialmente por el usuario, generando una fuerza de resistencia. Esta corrección se traduce en una nueva nota, calculada por el Modelo de Markov siguiendo las ecuaciones dadas en el modo supervisado (Figura 6.2). El usuario decide finalizar el proceso y el conjunto de notas se puede volver a reproducir para la evaluación del usuario, esto se explica en detalle en la siguiente sección.

6.1.3 Validación de la melodía final (Etapa de Revisión)

El resultado musical final de la interacción hombre-máquina debe calificarse para medir el nivel de satisfacción del usuario. El producto creativo obtenido depende del rendimiento del usuario y sus preferencias, por lo que es esencial validar la melodía en función de su opinión. En consecuencia, el sistema presenta la melodía al usuario y recaba su opinión a través de la interfaz. Claramente, la melodía debe ser evaluada por el usuario de acuerdo a las preferencias con las que se haya compuesto, ya que la misma melodía puede no

ser adecuada para las preferencias musicales de otro usuario. La interfaz reproduce la melodía creada para el usuario; el reproductor permite al usuario escuchar la melodía varias veces. Luego se le pide al usuario que califique la melodía de acuerdo con su grado de satisfacción, es decir, el grado en que la melodía se ha adaptado a sus requisitos, que se manifiesta con el dispositivo mecánico. La satisfacción del usuario se representa en una escala categórica de 0 (totalmente insatisfecho) a 10 (totalmente satisfecho). La opinión del usuario se envía al sistema, que decide si la melodía debe almacenarse.

6.1.4 Almacenamiento de un nuevo caso (Etapa de Retención)

El sistema considera la calificación del usuario y determina si la nueva melodía (caso) tiene la calidad suficiente para ser almacenada para su uso futuro. De ahora en adelante, se establece un umbral dinámico, que depende de los casos almacenados previamente. Por ejemplo, si un usuario otorga una calificación baja a las melodías generadas, un caso con una puntuación global de 6 puede considerarse muy alto. Por el contrario, en situaciones donde los casos generalmente reciben altas calificaciones, una puntuación de 6 se consideraría de bajo valor. El umbral se establece a partir del cálculo de la media de todas las clasificaciones globales de las composiciones. Si no hay suficientes datos almacenados en la memoria, el umbral se establece en 4. Consideramos que dicho valor puede capturar trabajos no muy relevantes pero con la calidad suficiente para obtener un punto de partida para generar música en función de la experiencia del usuario. Asimismo, podríamos analizar como un trabajo futuro, una visualización de la melodía generada en línea, para obtener calificaciones de otros usuarios y estudiar la aceptación social de la música creada con el sistema.

En resumen, se ha desarrollado un sistema para la generación de música a través de la colaboración humano-máquina. La interacción se logra de dos formas paralelas. Por un lado, la interfaz recoge las preferencias del usuario para adaptar las melodías generadas a sus gustos musicales. Por otro lado, el dispositivo mecánico diseñado puede adaptarse al sistema con dos modos diferentes. En el modo supervisado, el usuario puede dirigir la construcción de la melodía moviendo este dispositivo. En el modo colaborativo, el usuario puede dejar que la fuerza producida en el control del dispositivo guíe sus movimientos. En consecuencia, se ha diseñado una arquitectura CBR que equipa al sistema con la capacidad de aprender de experiencias anteriores, mejorando el rendimiento del sistema.

El usuario solo tiene acceso a la interfaz, que recopila los datos de entrada necesarios para generar una pieza musical y muestra los datos de salida, como la propia melodía. Con esta información, el sistema entrena un Modelo de Markov que se usa para calcular

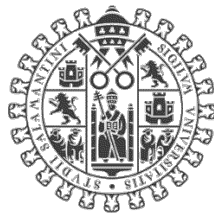
la probabilidad de que una nota sea seleccionada como la siguiente en la secuencia de notas que crean la melodía. En el modo supervisado, la selección de notas también está influenciada por el dispositivo, mientras que en el modo colaborativo, el Modelo de Markov permite al sistema una fuerza expresada a través del dispositivo para guiar los movimientos del usuario. Se les pide a los usuarios que califiquen la melodía final generada, de acuerdo con su grado general de satisfacción. Esta evaluación se usa para decidir si la solución musical debe almacenarse en la memoria, o debe eliminarse debido a su baja calidad.

La evaluación tiene como objetivo analizar la utilidad del CBR en el sistema, la capacidad de la aplicación general para generar buenos resultados musicales y fomentar la colaboración entre humanos y máquinas en ambos modos. La información recabada indica un alto grado de satisfacción cuando el sistema integra las preferencias del usuario en la generación de melodías. Los resultados del sistema con el CBR implementado tienden a mejorar con el tiempo, cuando el número de ejecuciones aumenta constantemente. Además, las clasificaciones generales muestran que el dispositivo captura muy bien las preferencias del usuario y de la máquina (según el modo) a través del dispositivo mecánico. Asimismo, las evaluaciones de los usuarios son positivas en relación con la facilidad de uso del sistema y útiles para generar música adaptada a las preferencias personales.

El siguiente capítulo abordará la inserción de letra una vez generada la música, que debe ser elegida según el género de la melodía, la estructura de la frase y las fórmulas rítmicas.

Capítulo 7

Un sistema generador de melodías vocales



VNiVERSiDAD
D SALAMANCA

Un sistema generador de melodías vocales

Como ya hemos visto en capítulos anteriores, hoy en día, la Creatividad Computacional (Colton & Wiggins, 2012) es un subcampo establecido de la Inteligencia Artificial. Uno que ha atraído a investigadores con múltiples orígenes y motivaciones, y donde se han desarrollado una variedad de sistemas inteligentes para la generación de una amplia gama de artefactos con un valor creativo, como música (Pachet, 2003; Pachet & Roy, 2011; Papadopoulos et al., 2016) o poesía (Gervás, 2000; Gonçalo Oliveira, 2012; Manurung, 2003).

Sin embargo, pocos sistemas creativos han abordado los dos al mismo tiempo, hacia la producción de música y texto. La principal contribución en este capítulo es presentar un compositor automatizado, en este caso centrado en canciones populares en español. El sistema compositor se basa en la integración de dos sistemas existentes: ETHNO-MUSIC, el cual hemos descrito en anteriores capítulos para generar melodías; y Tra-la-Lyrics (Gonçalo Oliveira, 2015), que genera letras para un ritmo determinado. Esta propuesta sigue la misma línea de colaboraciones recientes entre diferentes sistemas creativos (por ejemplo, (Concepción, Gervás, & Méndez, 2018; Znidarsic et al., 2016)) y muestra que, con el panorama actual de los sistemas creativos, no es siempre necesario desarrollar nuevos sistemas desde cero.

Sobre los detalles de este nuevo sistema, la mayoría de las iniciativas sobre la generación de música se han centrado en la música con un carácter bastante tonal y, hasta la fecha, no ha habido ningún estudio que aborde la generación de la música popular española. Este género difiere de la música clásica en muchos aspectos, incluida la sonoridad, la disposición del sonido o las fórmulas rítmicas utilizadas. Además, a diferencia de la música clásica, la música popular española siempre está vinculada a una funcionalidad. En este sentido, las letras son esenciales para identificar el propósito para el que se concibió la música, es decir, si es una canción de trabajo o una canción de amor.

La generación de letras comienza una vez que la melodía está lista. Se aplican heurísticas simples para dividir la melodía en partes, y luego se generan líneas de texto para cada parte, mientras se intenta maximizar dos restricciones principales: (i) una sílaba por nota; (ii) sílabas acentuadas que combinan ritmos fuertes de la melodía. La versión actual de Tra-la-Lyrics está construida sobre PoeTryMe (Gonçalo Oliveira, 2012), una plataforma para la generación de poesía. En este caso, la generación se basa en la adaptación española de PoeTryMe (Gonçalo Oliveira, Hervás, Díaz, & Gervás, 2014), aunque con una red semántica aumentada y nuevas plantillas de líneas, adquiridas automáticamente a partir de canciones populares en español. Con el fin de establecer el dominio de generación y, conectar las letras y los temas que normalmente se tratan en las canciones populares en español, las palabras iniciales se seleccionaron cuidadosamente.

Al final, el proceso resultante es análogo a tener dos personas diferentes componiendo una canción: una que compone la melodía y otra la letra. En este caso, la melodía se compone primero, a diferencia de otros sistemas creativos, que generan música de letras existentes (por ejemplo, (Ackerman & Loker, 2017; Toivanen et al., 2013)), o para crear música y letras al mismo tiempo (Toivanen et al., 2013).

La integración de los dos sistemas dio como resultado la generación automática de varias melodías, en el estilo de las canciones populares españolas, y varias letras para cada melodía. De ellos, algunos fueron seleccionados para su validación por usuarios humanos. En general, los aspectos más positivos fueron que las melodías eran agradables y tenían un sonido y un ritmo que daban una sensación de las canciones populares españolas, y que el texto de las letras estaba dentro de los dominios objetivos. Los aspectos menos positivos, pero todavía promedio, fueron el ritmo y, sobre todo, la semántica de las letras.

El resto de este capítulo comienza con una breve descripción del trabajo relacionado sobre la generación de música y letras. El esfuerzo de integración se describe a continuación y se ilustra con ejemplos de canciones generadas.

7.1 Modelo de generación de letras

La generación de populares canciones españolas resulta de la integración de dos sistemas creativos: ETHNO-MUSIC, que crea la melodía, y Tra-la-Lyrics (Gonçalo Oliveira, 2015), que genera las letras. La Figura 7.1 proporciona una visión general de este esfuerzo de integración y, en consecuencia, del flujo de generación.

En el trabajo actual, la música se genera en base a las características de la música popular española, que incluyen el ritmo o la sonoridad.

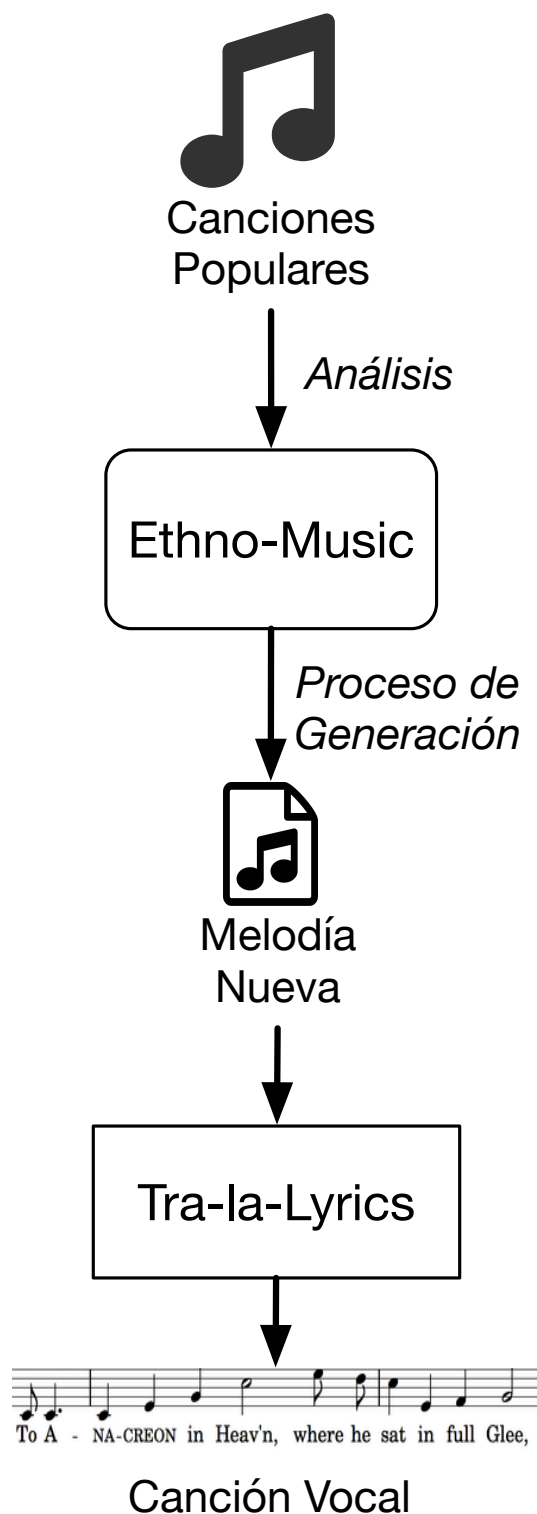


FIGURA 7.1: Descripción general del flujo de generación musical.

Cuando cantamos un texto o escuchamos una pieza vocal, la música y las palabras aparecen unidas de forma inseparable, percibidos, ambos elementos como un todo. Generalmente, en la música más bien académica, la melodía se genera a partir de un texto ya determinado. Sin ir más lejos, en la ópera, cuando el *libretto* está terminado es

cuando el compositor comienza a ponerle música. De la misma manera, muchos *lieder* se han generado a partir de poesías escritas por personajes relevantes como Goethe.

Sin embargo, la música popular no sigue el mismo camino. Por un lado, algunas de las melodías nacieron a partir de poner música a unos textos ya conocidos. Pero, por otro lado, muchas melodías han perdido el texto original, viéndose sustituido por otro diferente que se podía incluso improvisar sobre la marcha, o intercambiándose por otro texto de una canción diferente pero con fórmulas rítmicas similares. Por lo tanto, se ha seguido una metodología de generación textual a partir de una melodía ya creada anteriormente, tal y como también ha ocurrido en la literatura musical popular.

Asimismo, una de las claves de la música popular es su funcionalidad, es decir, el contexto en el que se ha concebido la música. En este sentido, podemos clasificar la música en diferentes géneros, donde cada uno representa sus propias características musicales, como la sonoridad, la letra y el ritmo. En consecuencia, la música popular podría clasificarse como canciones de trabajo, canciones de amor, canciones de cuna, canciones de bodas, canciones sagradas, música de baile, etc. Esto es fundamental a la hora de generar la letra, ya que cada género tiene una serie de temáticas y palabras claves asociados que conviene tener en cuenta.

7.1.1 Generación de Letra

Tra-la-Lyrics (Gonçalo Oliveira, 2015) es un sistema que genera texto basado en el ritmo, actualmente construido sobre PoeTryMe (Gonçalo Oliveira, 2012), una versátil plataforma de generación de poesía. Tra-la-Lyrics se puede ver como instanciación de este último. Es el que comparte la mayoría de los componentes de PoeTryMe, incluido el módulo de generación de estrofas, que produce versos semánticamente coherentes, con la ayuda de una red semántica y una gramática con plantillas de textos. Además, Tra-la-Lyrics tiene un analizador de partes, que divide la melodía; un analizador de ritmo, que extrae el ritmo de la melodía; y una estrategia de generación que considera la posición de las sílabas acentuadas. Las siguientes secciones describen los módulos anteriores y terminan con una descripción de los recursos utilizados para generar poesías, teniendo en cuenta el dominio de las canciones populares en español. En pocas palabras, las letras se producen después de analizar la melodía para dividirla en partes más pequeñas y obtener una representación del ritmo como una secuencia de ritmos fuertes y débiles. La estrategia de generación selecciona las mejores líneas para cada parte, a partir de las generadas por el módulo de generación de poesías.

7.1.1.1 Análisis de la Estructura

El analizador de melodías tiene dos funciones principales:

1. Identificar límites adecuados de frases musicales, que corresponderán a los límites de las líneas textuales.
2. Extraer una representación del ritmo de la melodía, para que coincida con el texto generado.

En PoeTryMe, una estrategia de generación selecciona y organiza los versos, producidas por el generador, de acuerdo a una forma o mensura determinada. Al final de un verso es donde se suele dar la ocurrencia de rimas. Para los poemas, la forma viene dada por el número de estrofas, líneas y sus longitudes de objetivo. Pero dada una melodía, los límites de las líneas deben identificarse automáticamente. En este trabajo, establecimos empíricamente heurísticas simples para dividir melodías en partes, a través del análisis manual que hemos visto en el Anexo A.

7.1.1.2 Análisis del Ritmo

El módulo de análisis de ritmo es el mismo que en la versión original de Tra-la-Lyrics (Gonçalo Oliveira et al., 2007). Se basa en el sistema de puntos, descrito por (Lerdahl & Jackendoff, 1983), que establece los acentos métricos de cada latido dentro de una barra, y por lo tanto las intensidades de cada nota, de acuerdo con su posición. El primer tiempo de cada compás es siempre el más fuerte. Los acentos métricos se distribuyen de acuerdo con los tiempos fuertes y los tiempos débiles, dependiendo del compás. Tra-la-Lyrics solo considera aquellos que son sustancialmente más fuertes, en comparación con el resto. Por ejemplo, en un 4/4, esas serán el primer y el tercer pulso, y en un 3/4, solo se usará la primera negra como el único pulso fuerte.

7.1.1.3 Generación de Versos

PoeTryMe tiene módulos de generación de versos para producir fragmentos de texto en portugués, inglés y español, con la ayuda de una red semántica y una gramática con plantillas, estrechamente relacionadas con las relaciones disponibles en la primera. Hacia la generación dentro de un dominio semántico, la red se limita primero por un conjunto proporcionado de palabras clave, de acuerdo a esa semántica. Por ejemplo, si son canciones de trabajo, suelen aparecer palabras relacionadas con la siega, la siembra, el sol, el agua, etc.

La generación de un verso implica seleccionar dos conceptos dentro de un mismo campo semántico, y establecer una relación adecuada. Por ejemplo, podemos seleccionar pala y trabajo, y establecer una relación de utilidad. En ese caso, escribiríamos “'pala' utilizada para 'trabajo' ”. De la misma manera, podemos coger dos conceptos como guitarra y música y establecer la misma relación (“la guitarra se utiliza para la música”).

Posteriormente, se seleccionaría una frase predeterminada a la que habría que asociarle ciertos conceptos que están indicados mediante huecos. Por ejemplo, una frase podría ser “Sea yo [arg1], seré tu [arg2]”. En los casos anteriores, esta frase se podría rellenar así: “Sea yo pala, seré tu trabajo”. En este caso, el significado semántico es un poco extraño. En el segundo ejemplo “Sea yo guitarra, seré tu música”, podríamos decir que es más poético, y la semántica juega a nuestro favor.

Dado el tipo de texto a generar, tiene sentido usar el vocabulario y la gramática españolas (Gonçalo Oliveira et al., 2014), aunque con algunas adiciones, para permitir la generación de versos más variados. Las relaciones semánticas utilizadas en la adaptación española se adquirieron originalmente del *wordnet* español, en el Repositorio Central Multilingüe (Gonzalez-Agirre, Laparra, & Rigau, 2012), que abarca principalmente las relaciones de sinonimia e hipernimia. Las líneas de la gramática de la generación habían sido extraídas de una antología de unos 400 poemas de la tradición española, sacado principalmente del Cancionero Básico de Castilla y León. Para este trabajo, la red semántica se enriqueció con las relaciones entre dos palabras en español en la versión más reciente de ConceptNet (Speer, Chin, & Havasi, 2017). Para completar la adaptación, las letras tuvieron que ser generadas con palabras clave relacionadas con los conceptos típicamente invocados en letras populares en español.

7.1.1.4 Estrategia de Generación

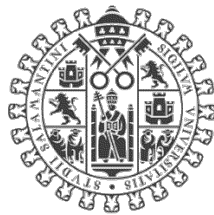
De forma similar a otras instancias de PoeTryMe, los versos se seleccionan siguiendo la estrategia de ensayo y error. En resumen, para cada verso en la estructura del poema, los fragmentos textuales se recuperan del módulo de generación de versos que acabamos de ver anteriormente. La estrategia de generar y probar es responsable de seleccionar los fragmentos más aptos para cada línea, desde un máximo de n fragmentos recuperados por línea. La función de aptitud de cada verso, está basada en características que son relevantes para el ritmo. Para asegurar la calidad de las líneas textuales, el sistema establece una serie de penalizaciones para: la diferencia entre el número de sílabas en una línea textual y el número de notas en la parte musical (α); sílabas átonas en tiempos fuertes (β); sílabas acentuadas en tiempos débiles (γ); y palabras interrumpidas por una pausa (δ). Para aumentar la posibilidad de rimas, hay una bonificación para cada par

de líneas cercanas con la misma terminación (ϵ), a menos que terminen con la misma palabra, lo que resulta en otra penalización (ζ).

A continuación, presentaremos los experimentos realizados para validar el sistema como una forma viable de generar música y, de esta forma, preservar nuestro patrimonio musical en la región de Castilla y León.

Capítulo 8

Caso de Estudio: Un Sistema Colaborativo de Composición



VNiVERSIDAD
DSALAMANCA

Caso de Estudio: Un Sistema Colaborativo de Composición

El objetivo principal de este prototipo es construir un sistema que integre diferentes mecanismos, sistemas, arquitecturas y modelos para que agentes virtuales y humanos colaboren y generen música. A partir de una motivación sugerida por el usuario, y que en este caso consiste en una serie de parámetros de preferencia, el sistema es capaz de generar una composición musical que se ajuste a estos datos de entrada, y a las indicaciones del usuario, que siempre guía el proceso creativo. Por tanto, los resultados finales dependerán del contexto en el que han sido generados, entendiendo como contexto los parámetros de entrada, el entrenamiento del sistema y la interacción con el usuario.

Nuestro prototipo se implementó como una aplicación de escritorio que detecta el dispositivo mecánico y es capaz de interpretar sus órdenes. Con el fin de preservar los diferentes estilos y preferencias del usuario al componer las melodías, cada usuario tiene un perfil con las diferentes melodías generadas por él. Cada vez que el usuario crea una nueva melodía, puede seleccionar un estilo musical general o un modo o tono específico en el que debe basarse la música.

Para este experimento, damos una lista de modos y estilos para los usuarios, que pueden seleccionar la música de las modalidades Tonalidad Mayor, Tonalidad Menor, Modo de Mi, Modo de La y Modo de Sol. Esta lista se podría extender en un estudio futuro, añadiendo más modalidades y añadiendo un filtrado por géneros musicales.

Cuando el CBR comienza a crear música, el usuario puede guiar la melodía generada a través del dispositivo mecánico en el modo supervisado, o la máquina puede guiar al usuario a través de la fuerza generada en el dispositivo siguiendo el modelo de Markov en el modo colaboración. Es importante tener en cuenta que el dispositivo no está destinado a seleccionar una nota específica que se agregará a la melodía generada, sino que persigue que el usuario pueda proporcionar una guía orientativa de las notas y duración para adaptar la creación a un determinado contexto.

Para mostrar este problema, las transiciones entre notas se registran y representan en la interfaz en tiempo real, como se muestra en la Figura 8.1. En el gráfico, la línea roja representa los cambios de notas, mientras que la línea azul representa los cambios de ritmo experimentados por el dispositivo. Los cuadros amarillos son las notas finales de la última melodía interpretada por el sistema, de acuerdo con los Modelos de Markov y la posición de la articulación central. Cuando el usuario finaliza su proceso creativo, la melodía puede volver a reproducirse o descargarse en formato MIDI. Además, la interfaz presenta al usuario un breve cuestionario que evalúa su satisfacción con el resultado musical. Una vez que el usuario responde, el proceso puede iniciarse nuevamente.

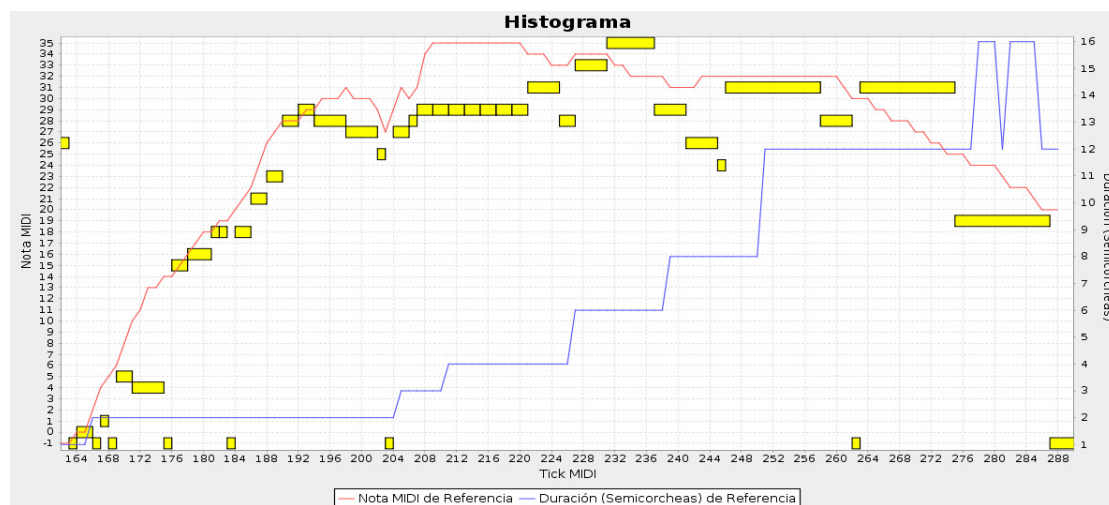


FIGURA 8.1: Captura de la pantalla mientras el usuario está creando una melodía.

La propuesta pretende utilizar la motivación que el ser humano proporcione al sistema para iniciar un proceso creativo y transformarla en un resultado musical de acuerdo a las preferencias de los distintos usuarios que participan en el proceso. Es importante destacar que la generación de contenido creativo como la música es un problema desafiante debido al dinamismo del contexto, ya que los usuarios pueden cambiar su motivación en cualquier momento y esperan resultados valiosos según sus criterios, lo cual es también muy subjetivo y puede depender de factores como su cultura o su estado de ánimo.

Para comprender la complejidad de este trabajo, en capítulos anteriores se ha descrito en profundidad cada parte de nuestro sistema. En este capítulo, describiremos cómo se ha llevado a cabo una evaluación de cada una de las partes de forma individual, para analizar la calidad de los resultados en cada uno de los componentes. Finalmente, se ha realizado un estudio del sistema total para estudiar la tasa de éxito o de fracaso a la hora de interactuar con el sistema global.

8.1 Descripción de los Experimentos para la Evaluación del Sistema de Generación Musical

La evaluación del sistema es triple. En primer lugar, el sistema debe aprender de las preferencias del usuario para mejorar los resultados musicales. Por lo tanto, se realiza un estudio comparativo para mostrar la evolución de las calificaciones generales de diferentes melodías cuando el número de ejecuciones aumenta gradualmente con un CBR o sin él. En segundo lugar, el sistema debería permitir a los usuarios generar sus propias melodías. Por lo tanto, se les entrega un cuestionario a los usuarios para recabar sus opiniones sobre la eficacia del sistema en la generación de melodías que se adecuen a las preferencias del usuario. Finalmente, la interacción entre humanos y máquinas debería implementarse correctamente para generar melodías con éxito tanto en modo supervisado como colaborativo. Por lo tanto, se llevaron a cabo dos tipos de experimentos, analizando el éxito de los dos modos y el nivel de interacción entre el usuario y la máquina. Principalmente, el diseño de la arquitectura CBR le proporciona al sistema una funcionalidad que permite componer diferentes tipos de melodías y agregar un componente de aprendizaje basado en las opiniones de los usuarios.

A los efectos de todos los experimentos, se han seleccionado 37 usuarios con y sin formación musical para probar el sistema durante un mes. Se creó una media de 250 melodías por usuario aplicando nuestro CBR para conocer los deseos de los usuarios según el contexto. Los usuarios eran voluntarios de diferentes campos. En particular, involucramos 9 usuarios con entrenamiento musical y 28 usuarios sin ningún entrenamiento musical.

Aunque el sistema se puede usar en diferentes lugares, para la conveniencia de los usuarios, durante este mes llegaron al laboratorio en el que el sistema se había instalado inicialmente. Previamente a la prueba, tenían dos sesiones de ensayo de diez minutos cada una para comprender el flujo de trabajo del sistema y estar familiarizados con el dispositivo. Durante este mes, hicieron entre 13 y 17 sesiones, donde cada sesión toma entre 15 y 20 minutos. El número de melodías generadas en cada sesión depende de los usuarios, ya que pueden crear melodías de diferente duración y seleccionar aquellas que deben almacenarse en la memoria, pero la media de las melodías generadas en cada sesión fue generalmente de alrededor de 15 pequeñas melodías.

La primera parte de la evaluación tuvo como objetivo analizar si las melodías generadas en las iteraciones finales del sistema se consideraban como mejores melodías que las generadas en las ejecuciones iniciales de la aplicación de acuerdo con la opinión de los usuarios. Para este propósito, en diez sesiones de las que se realizaron inicialmente, se crearon algunas melodías con la arquitectura CBR, mientras que otras se generaron

sin la arquitectura de aprendizaje aplicada dentro de la misma sesión. Este hecho era desconocido para los usuarios mientras estaban probando el sistema.

Después del mes de prueba, consideramos que los usuarios estaban lo suficientemente familiarizados para evaluar todo el sistema. Para validar la utilidad de la herramienta a la hora de generar melodías adaptadas, se les solicitó que respondan un cuestionario en el que se evalúan cuatro ítems: la experiencia en el uso de todo el sistema, la interfaz, la calidad del sistema para controlar la melodía y la adaptación del sistema a las preferencias iniciales del usuario. Finalmente, solicitamos una calificación general para todo el sistema.

Es importante destacar que el sistema está pensado principalmente para usuarios potenciales con o sin formación musical que buscan música adaptada a sus preferencias y situaciones (es decir, su objetivo es crear música tranquila para ayudar a los niños a dormir, su objetivo es crear música específica para terapia, etc.) Por lo tanto, es muy importante saber si los usuarios se sienten cómodos cuando utilizan el sistema para generar música. Para el mismo propósito, la interfaz debe interpretarse fácilmente y reflejar los cambios del sistema.

Como herramienta interactiva, el dispositivo también es esencial para la colaboración entre el sistema y los usuarios. Además, el dispositivo debe reflejar fielmente las intenciones de los usuarios a través del movimiento. En consecuencia, debemos evaluar si los usuarios sienten que el dispositivo captura sus preferencias a través del dispositivo.

El sistema también se considera como un medio para guiar la generación de la melodía según los parámetros del usuario. Por ejemplo, si el usuario necesita bastante música siguiendo los estándares en un contexto concreto, el sistema debería adaptarse a sus preferencias y no solo crear una melodía general. Por lo tanto, el grado de adaptación es esencial para el logro de este objetivo, ya que nuestro objetivo no es solo crear una melodía, sino que esa melodía se puede adaptar a las necesidades de los usuarios (preferencias, estado de ánimo, ...). En consecuencia, a los usuarios también se les pide el grado de adaptación del sistema. Eso significa que deben evaluar si el resultado respeta las etiquetas iniciales (estilo y / o tonalidad) que seleccionaron para generar la melodía.

La tercera parte de la prueba tenía como objetivo medir si el sistema es capaz de recoger los movimientos reales del dispositivo en el modo supervisado y si se traduce en una melodía aceptable de acuerdo con el estilo y las preferencias del usuario. En este caso, cada usuario que participó dedicó dos de las sesiones en ese mes de práctica para probar el sistema y generar al menos 20 melodías para tres valores diferentes del parámetro k , que ajustaba la importancia del dispositivo a la hora de generar la música.

8.1.1 Resultados y Discusión

En primer lugar, nuestro objetivo es analizar si las melodías generadas en las iteraciones finales del sistema se consideraron como mejores melodías que las generadas en las ejecuciones iniciales de la aplicación. Por lo tanto, se realizó un estudio comparativo entre el sistema cuando implementa el ciclo CBR y el mismo sistema cuando no ejecuta el CBR. La primera situación permite que el sistema aprenda de melodías anteriores, mientras que en la segunda situación, el sistema no puede aprender de casos anteriores para mejorar las nuevas melodías. Las opiniones de los usuarios se recopilaban cada cinco iteraciones del sistema, los resultados se presentan en la Figura 8.2, donde el eje X representa el número de melodías generadas y el eje Y muestra las calificaciones subjetivas medias de las melodías.

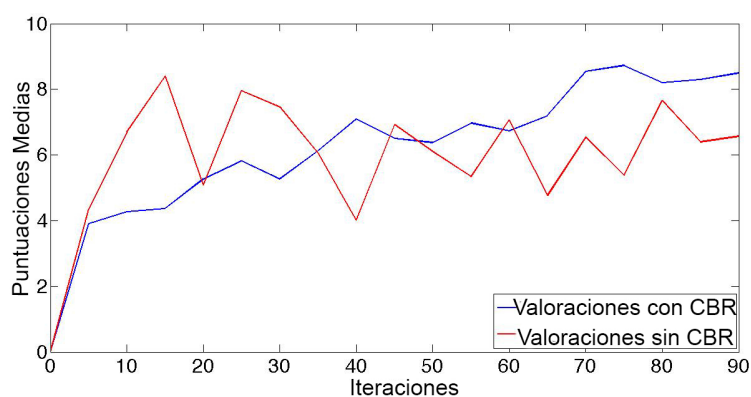


FIGURA 8.2: Resultados de evaluación para cada fragmento extraído.

La línea azul representa las calificaciones generales cuando el CBR está integrado en el sistema. Como podemos ver, el gráfico muestra un aumento general cuando aumenta la cantidad de iteraciones, lo que demuestra que el sistema aprende de las preferencias del usuario para mejorar los resultados. Por otro lado, la línea roja traza las calificaciones generales cuando el CBR no está presente en el sistema.

En la figura podemos observar que el gráfico rojo no muestra ninguna evolución, ya que las calificaciones de los usuarios solo dependen del éxito del Modelo de Markov para generar la melodía en una ejecución concreta. Eso significa que la arquitectura CBR es una herramienta esencial para aprender de las indicaciones de los usuarios y mejorar los resultados futuros, pero respetando los estándares dados por los parámetros iniciales.

En segundo lugar, y para validar la eficacia del sistema para los usuarios, les preguntamos sobre sus experiencias después de un mes de prueba. De acuerdo con los ítems que intentamos evaluar descritos en la sección anterior, las preguntas a responder fueron:

	Valoración general	Fácil de usar	Interfaz	Calidad	grado de adaptación
Calificaciones	2.47	2.35	1.93	2.21	2.18

TABLA 8.1: Muestra las estadísticas finales cuando los usuarios terminaron de probar el sistema.

- ¿El sistema es una herramienta funcional para generar melodías incluso cuando el usuario no es un experto musical?
- ¿La interfaz muestra correctamente los cambios experimentados por el sistema mientras se usa el dispositivo?
- ¿El dispositivo captura las intenciones de los usuarios para controlar las notas y el ritmo?
- En su opinión, ¿el resultado respeta las etiquetas iniciales (estilo y / o tonalidad) seleccionadas de antemano para generar la melodía?
- En su opinión, ¿cuál es la evaluación general que el sistema merece?
- ¿Tiene alguna sugerencia para la mejora del sistema?

Los usuarios clasificaron los artículos anteriores de 0 (Completamente en desacuerdo) a 3 (Completamente de acuerdo), excepto la pregunta final, que es un campo de texto para dar alguna sugerencia si la tuvieran. La Tabla 8.1 muestra la media de las evaluaciones.

La calificación de satisfacción general es bastante alta (2.47). Los usuarios consideran que el sistema es fácil de usar para personas sin formación musical (2.35). Eso significa que los usuarios están principalmente satisfechos con su interacción con el sistema en términos de usabilidad y resultados.

Sin embargo, en el cuestionario de evaluación, algunos usuarios sugirieron agregar un pentagrama completo para representar la melodía generada en lugar de una línea melódica. Por ello, los usuarios le dieron una calificación de 1.93 a la interfaz, lo que indica que podría mejorarse.

El sistema no solo proporciona una melodía agradable, sino también una melodía que sigue el estilo seleccionado por el usuario. Los usuarios valoraron altamente este parámetro (2,18), lo que demuestra que les gustó esta característica particular del sistema. Esto indica que los usuarios están satisfechos sobre cómo el sistema considera las etiquetas para generar una nueva melodía que sigue los estándares dados por las etiquetas.

La parte final de la prueba tuvo como objetivo medir si el sistema puede recoger los movimientos reales del dispositivo en el modo supervisado y si se traduce en una melodía

	$k = 0.15$	$k = 0.55$	$k = 0.85$
Media Rates	3.20	3.45	2.01

TABLA 8.2: Muestra las estadísticas finales cuando los usuarios terminaron de probar el sistema.

agradable de acuerdo con el estilo y las preferencias del usuario. En este caso, cada usuario que participó dedicó dos de las sesiones en ese mes de práctica para hacer uso del sistema cuando la constante k era muy baja (0.15) y luego aumentaba progresivamente hasta 0.55 y 0.85. Probaron el sistema y generaron al menos 20 melodías por cada valor de k . Posteriormente, seleccionamos las cinco melodías con las calificaciones más altas. Finalmente, se presentó un total de 15 melodías a cada usuario para evaluar cuáles creían que representaban mejor su estilo de creación de melodías.

Los usuarios pueden calificar las melodías en una escala de 1 (que no representa su estilo) a 5 (la melodía representa completamente su estilo). Esperamos que las melodías con $k = 0.55$ sean seleccionadas como las mejores. Los resultados se muestran en la Tabla 8.2.

La tabla muestra las calificaciones promedio dadas por los usuarios para los diferentes valores de k analizados. Como podemos ver, la media más alta corresponde al valor 0.55 por k . Cuando k es muy alto, los modelos de Markov son casi ignorados y el movimiento del dispositivo es completamente libre, dando lugar a una melodía aleatoria que solo sigue las indicaciones de los usuarios pero sin ninguna regla estilística. Los usuarios otorgaron una calificación baja a las melodías generadas debido a su baja calidad musical. Por el contrario, cuando k es muy bajo, las melodías ignoran las indicaciones de los usuarios a través de la articulación central del dispositivo. Por lo tanto, los usuarios sienten que sus preferencias no son consideradas y, por lo tanto, califican estas melodías de manera deficiente. Sin embargo, aunque a los participantes les gustaron las melodías guiadas por ellos sobre esos medios autogenerados, eso no significa que las melodías fueran mejores en términos de calidad musical. El sistema se propone para adaptarse a las indicaciones de los usuarios pero también respeta los estándares populares dados por un estilo seleccionado de antemano. Por lo tanto, se les pide a los usuarios que evalúen si el sistema puede equilibrar estos dos elementos correctamente para generar música.

De acuerdo con la Tabla 8.1, los usuarios obtienen una puntuación relativamente alta de cómo el sistema recopila los movimientos a través del dispositivo mecánico, lo que significa que los usuarios están satisfechos con el dispositivo. Pero finalmente, para validar el modo de colaboración, verificamos si la interacción del usuario con la máquina le enseña al usuario cómo generar una buena melodía. Realizamos un nuevo experimento en el que se crearon un total de 25 melodías dos veces. La primera vez, a 15 usuarios sin formación musical seleccionados al azar se les pidió que siguieran las instrucciones

de la máquina en el proceso de composición durante una de sus sesiones. Luego, los usuarios repitieron el mismo proceso, pero se les permitió hacer algunas correcciones en la melodía siempre que lo consideraran apropiado. Finalmente, se les pidió a los usuarios elegir la melodía que preferían mantener. Entre los usuarios, un 82,3 % de los usuarios seleccionaron las melodías que se crearon a través de su participación.

Sobre la base de los resultados, podemos afirmar que se requiere colaboración para obtener un producto más satisfactorio. Es importante señalar que el sistema tiene como objetivo hacer que la colaboración entre el usuario y la IA sea fructífera, ya que proporcionan habilidades complementarias para lograr la generación de música. Por un lado, el CBR es esencial para sugerir próximas notas plausibles que cumplan con las características musicales del estilo o de tonalidad indicado. Como los usuarios tendrían muy difícil producir una música agradable que siguiera los estándares dados por sus preferencias, la aplicación de los Modelos de Markov es crucial para lograr una “buena” melodía que sigue algunas reglas musicales. Por otro lado, los modelos de Markov no tienen sentido de la estructura o evolución global. Por lo tanto, los usuarios pueden definir frases o una estructura jerárquica, esencial en cada estilo de música, o adaptar la creación a un determinado contexto o situación. En este sentido, el dispositivo permite a los usuarios dar un control global sobre la estructura principal.

En consecuencia, el sistema logra generar una melodía con éxito a través de la “colaboración” hombre-máquina. Aunque es cierto que en el modo guiado el usuario se ve privado de un dispositivo de entrada que puede controlar la construcción de la melodía y, por lo tanto, el sistema se ve privado de las pautas para crear una estructura a largo plazo, intentamos experimentar con este modo para analizar el grado de adaptación de la generación de melodías, una vez que varias melodías generadas por el usuario se han incorporado a la memoria. Finalmente, debemos tener en cuenta que las evaluaciones hechas por los usuarios son puntuaciones subjetivas, por lo que los resultados pueden diferir de algunos usuarios a otros. Sin embargo, podemos concluir que el sistema creado puede hacer composiciones melódicas que se adapten a las preferencias del usuario, el estado de ánimo o el contexto en el que se utiliza el sistema. Entre las mejoras que podrían agregarse a esta propuesta en el trabajo futuro, está la capacidad del usuario para elegir libremente la tonalidad y el estilo de la composición y también para mejorar la interfaz.

8.2 Sistema generador de letras

La integración de los dos sistemas da como resultado un nuevo sistema para la generación de canciones, que abarca la melodía y la letra. Esta sección describe la configuración

utilizada para la generación de varias canciones populares en español y analiza algunos ejemplos generados.

Para los experimentos, se generaron un total de 40 melodías con ETHNO-MUSIC, de las cuales cinco fueron seleccionadas para la generación de letras por Tra-la-lyrics. Todas las melodías seleccionadas estaban en modo de Mi y tenían al menos cuatro frases, lo que permitió la generación de letras más largas.

Para dividir la melodía en partes, establecemos empíricamente el número mínimo de palabras en 4 y el máximo en 18. Para cada una de las cinco melodías, las letras se generaron con grupos de palabras que establecen dos dominios de generación, comunes en las canciones populares en español:

- Trabajo: *trabajo, siega, tierra, sembrar, semillas, trigo, cereales, campo, sol, paja, cosecha, cosechar*
- Amor: *amor, novia, moza, mozo, bella, belleza, feliz, alcoba, morena, guapa, sonrisa, ojos, bonito, bonita*

Para cada par de dominio de melodía, se generaron diez letras. De cada diez, solo el que tiene la mejor puntuación basado en el ritmo, calculado automáticamente, fue seleccionado para la validación humana, lo que hace un total de diez canciones.

Para cada línea, establecemos empíricamente el número de generaciones a $n = 1750$. Para hacer coincidir el ritmo objetivo, los parámetros de la función de aptitud comentados en el Capítulo 7 fueron: $\alpha = 1$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 0.1$, $\delta = 0.3$, $\epsilon = 2$, $\zeta = 1$.

8.2.1 Ejemplos

Las figuras 8.3, 8.4 y 8.5 muestran ejemplos de tres canciones generadas, seleccionadas de la muestra de validación. Para cada ejemplo, presentamos la puntuación y las letras en español asignadas a las notas correspondientes. Para este experimento, que podemos considerar como preliminar, y para evitar posible sesgos por considerar piezas musicales en diferente sonoridad, todas las melodías están en modo de Mi, la sonoridad más común dentro de los sistemas modales en la música popular española, y exhiben otras características representativas, como la repetición constante de tonos y la tesitura limitada. Hasta cierto punto, las letras coinciden con el ritmo y usan una variedad de palabras relacionadas con los temas seleccionados.

En la melodía de la Figura 8.3, la tesitura limitada es clara, ya que las notas van de Mi a Si, estableciéndose un ámbito de quinta. Las fórmulas rítmicas son muy repetitivas y

se centran en el texto silábico que acompaña a la melodía, en lugar de mostrar un ritmo con figuras complejas. La melodía descansa en la nota mi y el tercer grado, que es típico de la música modal, a diferencia del tonal, donde se prefieren tensiones en el quinto o cuarto grados.

Las letras de esta canción se generaron con las semillas relacionadas con el trabajo, lo que es claro por la presencia de palabras como *trabajo* o *campo*, y también otras palabras relacionadas, como *recoger*. En el ritmo, una minoría de sílabas no acentuadas está en ritmos fuertes, es decir, la primera sílaba de *fin-gi-dos* y la última de *en-tor-no*, pero esto de alguna manera se compensa con la presencia de dos rimas, *nidos/fingidos* y *color/mejor*.

re - co - ger con - mi - go es - ta no - che pa - ra reu - nir ni - dos y fal - tan es - ta - dos
 y so - bran ni - ve - les fin - gi - dos tra - ba - - jo - sa tra - ba - jo co - - lor a - ra
 ñán - do - le al en - tor - - no el cam - po me - jor

FIGURA 8.3: Canción en modo de Mi, con letras en español sobre el dominio ‘trabajo’.

En la melodía de la Figura 8.4, además del ritmo repetitivo, hay silencios musicales, otra característica deseada. El uso de frases musicales cortas es muy típico en las canciones populares españolas porque están pensadas para frases cortas y líricas que la gente puede recordar.

Las letras de esta canción se generaron con las semillas relacionadas con el amor, lo que da como resultado la presencia de palabras como *amor* y *mozo*, así como palabras indirectamente relacionadas como *maravillosa barbilla*. En el ritmo, identificamos dos sílabas acentuadas en tiempos fuertes, a saber, la primera sílaba de *bar-bi-lla* y la primera de *al-guien*. Esto se compensa de nuevo con la presencia de dos rimas, *vulgaridad/enfermedad*, *amor/interior*.

La melodía de la Figura 8.5 es más larga, pero exhibe características similares a la anterior. Las letras se generaron con las semillas relacionadas con el amor y, por lo tanto, utilizan palabras como *amor*, *feliz*, *morena* y *mozo*, presente en el conjunto de semillas, así como palabras relacionadas, tales como *cariñosa*, *simpatía*, *alegría*, *dulce*, o incluso *triste*. Curiosamente, las letras también tocan el tema de trabajo, lo que sucede porque *mozo* también puede indicar un trabajador. En el ritmo, cuatro sílabas acentuadas aparecen en tiempos fuertes: la primera sílaba de *ca-ri-ño-sa*, también la primera de

bus-cas tu a-pa-rien-cia en for-ma de vul-ga-ri - dad por u-na ma-ra-vi - llo-sa y cau-ti-va
 do - ra en - fer - me - dad bar - bi - lla y faz mi dul - ce a - mor
 al - guien e - - fe - bo la lla - ve de mi mo - zo in - terior

FIGURA 8.4: Canción en modo frigio, con letras en español sobre el dominio ‘amor’.

las letras; la segunda sílaba de *a-le-grí-a*; la primera sílaba de *in-sis-te*; y la última sílaba de *a-ni-ma-les*. Sin embargo, hay cuatro rimas en estas letras, *trabajador/amor*, *simpatía/alegría*, *triste/insiste*, *paleadores/menores*. Otro problema con el ritmo de estas letras es el número de sílabas de la última línea, que es una menos que la cantidad de notas. Para arreglar esto, el cantante tendría que vincular la última nota con la anterior, o repetir la última sílaba de la última palabra (*me-no-res*).

ca-ri-ño-sa que-da sim-pa-tí-a cuan-tas ba-rren-de-ras al tra-ba-ja-dor dul-ce a tu a-mor
 de fe - liz te ha-brás de a - rre-pen - tir a - - le - grí - a que mo - re - na la mo - re
 nez e - le - gia - co y tris-te pe - ro el me - nor mo - zo in - sis - te no pa
 re - cen tra - ba - ja - - dor pa - le - a - do - res mi - les de a - ni - ma - les son las ni - ñas me
 no - res -

FIGURA 8.5: Canción en modo de Mi, con letras en español sobre el dominio ‘amor’.

8.2.2 Evaluación y Discusión

Una vez diseñado e implementado, es necesario obtener información sobre la validez del sistema. Debido a la subjetividad inherente de los oyentes humanos, este tipo de evaluación sigue siendo un desafío para la música que se compone automáticamente (M. Pearce, Meredith, & Wiggins, 2002). Lo mismo ocurre con el texto creativo.

Siguiendo otros ejemplos de evaluación subjetiva de un grupo de oyentes humanos, como los trabajos presentados por Delgado et al. (2009), M. T. Pearce and Wiggins (2007) o Collins, Laney, Willis, and Garthwaite (2016), que realizan pruebas de escucha, seguimos un enfoque similar para evaluar los resultados musicales y las letras del sistema.

Las diez canciones generadas (cinco melodías con dos letras para cada una) fueron presentadas a 7 usuarios, expertos en música popular. Para cada canción, preguntamos su opinión sobre los aspectos musicales, el texto de las letras y su conexión, con las siguientes preguntas, para que se califiquen entre 1 (pobre) y 5 (muy bien):

1. Melodía: ¿Cómo es de agradable la melodía?
2. Sonido: ¿La melodía, de alguna manera, da una sensación del estilo popular de las canciones?
3. Ritmo musical: ¿Cómo se adapta el ritmo al estilo musical popular?
4. Ritmo de las letras: ¿Cómo se adapta el texto al ritmo de la melodía original?
5. Relación texto y semántica: ¿Cómo se relaciona el texto con alguno de los siguientes temas: trabajo, amor?
6. Significado: ¿Tiene sentido el texto de las letras? ¿Es posible, de alguna manera, interpretarlo?
7. Calidad general: En general, ¿cuál es la calidad de la melodía más la letra?

Algunas de las preguntas implican una apreciación de la música y el texto como un todo (Ritmo de la letra, evaluación general) y otros están más centrados en solo uno de los anteriores. Sin embargo, aunque cada uno de los sistemas ha sido validado de alguna manera por sí mismo, tener música y letras puede influir en la forma en que los humanos perciben los resultados. Además, esta instanciación de PoeTryMe/Tra-la-Lyrics tiene diferencias significativas con las anteriores (por ejemplo, la música se divide automáticamente en partes, las letras se generan en español, se explota el texto de las letras populares en español y ConceptNet para obtener más información).

Esperamos que el sistema refleje la calidad perceptual de las melodías de acuerdo con el estilo de las canciones populares. Del mismo modo, queríamos verificar la calidad de las letras de acuerdo con las calificaciones positivas otorgadas por los oyentes. La Tabla 8.3 presenta la puntuación obtenida para la moda (M_o) y la mediana (M_d) en cada ítem evaluado.

Item	Evaluación					M_o	M_d
	1	2	3	4	5		
Melodía	0	3	21	36	10	4	4
Sonido	1	4	22	39	4	4	4
Ritmo Sonoro	2	9	23	34	2	4	4
Rítmica	3	13	27	25	1	3	3
Temática	2	12	23	25	8	4	3
Semántica	7	17	28	15	3	3	3
Calidad General	3	5	36	24	2	3	3

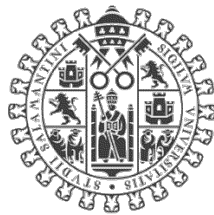
TABLA 8.3: Resultados generales de validación para las diez canciones evaluadas.

Para cada elemento evaluado, la mayoría de las clasificaciones obtienen una puntuación de entre 3 y 4. Sin embargo, la proporción de “cuatros” es más alta para los aspectos relacionados con la melodía que para los relacionados con el texto, donde la proporción de 3 es más alta. Esto sugiere que la melodía es agradable, y el sonido sigue bastante bien los estándares de la música popular española, al igual que el ritmo. El peor elemento de puntuación es el significado del texto, que muestra que la generación de texto sobre un tema no es significativamente relevante. Por otro lado, aunque la calidad de la letra es más baja, los resultados entran dentro de lo previsto. La calidad general de la música y las letras en general es positiva, lo que significa que la percepción de la música con la letra en general se percibe bien.

Podemos decir por tanto que hemos construido un sistema que, utilizando la colaboración entre humano y máquina, es capaz de generar música siguiendo el estilo de la música popular de la región de Castilla y León. Asimismo, posteriormente se ha integrado un sistema generador de letras para crear una música vocal que puede ser cantada e interpretada con cierta facilidad. En el capítulo siguiente describiremos con mayor detalle las implicaciones de esta tesis y lo que aporta al campo de la etnomusicología.

Capítulo 9

Conclusiones



VNiVERSIDAD
D SALAMANCA

Conclusiones

La comunicación es una característica innata a la existencia del ser humano. Acciones como el intercambio de información o la expresión de ideas y emociones, son factores que han propiciado la aparición de diferentes formas de comunicación. La comunicación es el proceso que representa la expresión más compleja de las relaciones humanas, a través de ella el hombre sintetiza, organiza y elabora toda la experiencia y conocimiento humano, luego lo trasmite de individuo a individuo utilizando como vía el lenguaje.

Las formas de comunicación han ido evolucionando con el tiempo, no solo para la transmisión de ideas de forma intrageneracional, sino también de forma intergeneracional. Dentro de todas las ideas o conceptos que se pueden transmitir, en este trabajo es de especial interés la transmisión de los eventos musicales.

A lo largo de la historia, la literatura ha demostrado la gran cantidad de codificaciones que han existido para plasmar eventos musicales como notas o ritmos de forma que puedan ser interpretables posteriormente de la forma más fiable posible. A partir del siglo XX han existido una gran cantidad de innovaciones para transcribir nuevos eventos musicales. Con la aparición de la informática, estas técnicas evolucionaron no solo para plasmar eventos musicales, sino para facilitar su posterior estudio y análisis. De entre los muchos modelos analizados, hemos destacado los modelos geométricos y los semánticos. Los modelos geométricos son capaces de representar acordes, notas o escalas. Estos modelos permiten representar de forma fiel parámetros relativos a la sonoridad, aunque existen ciertas limitaciones para representar otro tipo de eventos como el ritmo o el volumen. Esta codificación permite asociar propiedades matemáticas como el cálculo de la distancia euclídea con propiedades musicales como la consonancia.

Las representaciones semánticas incluyen una codificación que asocia escalas numéricas a eventos sonoros como tempo, duración, notas o volumen. A diferencia de la representación anterior, esta no asocia las operaciones matemáticas como el cálculo de la distancia entre valores o el ángulo, con propiedades musicales. No obstante, es muy útil para la recogida detallada de los parámetros que designan un evento musical. Entre

ellas, la más destacada ha sido la codificación MIDI, ampliamente utilizada en el entorno digital para la producción de sonido a través de instrumentos digitales o sintetizadores. La información que proporciona un fichero MIDI es esencial, aunque no suficiente, para analizar el estilo musical de un determinado autor.

Actualmente, el campo de la tecnología nos permite simular inteligencia humana para realizar diferentes operaciones que, de otra manera, no podrían llevarse a cabo. El desarrollo de la Inteligencia Artificial ha atraído a muchos campos transversales entre los que se puede encontrar la Música y el Arte en general. Esta unión del campo artístico y computacional nos lleva a una nueva ciencia que se conoce con el nombre de Creatividad Computacional.

La recreación del comportamiento creativo, es decir, la generación automática de música a través de una máquina supone un gran desafío en el campo de la Inteligencia Artificial, debido a la complejidad de la gran cantidad de factores que juegan un papel en el proceso de composición. Se han propuesto soluciones tecnológicas recientes para generar automáticamente música, que solo debe capturar las idiosincrasias técnicas del sistema musical, pero también ofrecer libertad creativa y expresión personal. Todas las propuestas se basan en técnicas concretas de IA. En este trabajo hemos presentado de forma breve alguno de los procedimientos los más utilizados: el aprendizaje estadístico, las gramáticas y la aplicación de algoritmos y principios biológicos. En cualquier caso, para desarrollar plenamente el modelo de aprendizaje de la máquina a través de la música, se ha presentado una codificación denominada “viewpoints”, los cuales pretenden añadir nuevos parámetros musicales además de los ya dados por los ficheros MIDI para representar la complejidad de los eventos musicales y crear un modelo de generación automática de música que sea capaz de recrear el estilo musical de forma más fiel.

El estado de la técnica sobre la Creatividad Computacional demuestra que la generación de música puede ser vista como un problema de colaboración. En particular, hemos demostrado que las tendencias recientes, no solo en las artes musicales sino también en la sociedad en general, dan paso a nuevos modelos de colaboración hombre-máquina a través de la interacción entre usuario y ordenador. En este contexto, la facilidad y corrección en la comunicación se hace imprescindible para la consecución de un objetivo que suele ser común entre hombre y máquina.

Este paradigma de colaboración no se ha aplicado a un contexto creativo como la composición musical de forma relevante, lo que nos ha alentado a experimentar con una nueva forma de generar arte musical agregando un componente humano. La novedad del enfoque que proponemos y que se ha detallado en los últimos capítulos radica en

combinar la colaboración y la inteligencia humana con con inteligencia artificial para generar un sistema de generación de música.

En particular, se ha presentado el desarrollo de un sistema para la generación de música popular a través de la colaboración humano-máquina. La interacción se logra de dos formas paralelas. Por un lado, la interfaz recoge las preferencias del usuario para adaptar las melodías generadas a sus gustos musicales. Por otro lado, se ha diseñado un dispositivo mecánico conectado al sistema. Este dispositivo tiene movimientos en dos dimensiones, y pretende recoger las indicaciones de los usuarios, que pueden dirigir la dirección de la melodía en cuanto a notas musicales y ritmo. Además, el dispositivo puede adaptarse al sistema con dos modos diferentes. En el modo supervisado, el usuario puede dirigir la construcción de la melodía moviendo este dispositivo. En el modo colaborativo, el usuario puede dejar que la fuerza producida en el control del dispositivo guíe sus movimientos. En consecuencia, se desarrolló una arquitectura CBR que equipa al sistema con la capacidad de aprender de experiencias anteriores, mejorando el rendimiento del sistema.

Específicamente, la interfaz recopila los datos de entrada necesarios para generar una melodía y muestra los datos de salida, como la melodía. Se han recopilado soluciones previas a través de archivos MIDI externos que coinciden con las preferencias de los usuarios que se muestran en la interfaz. Con esta información, el CBR entrena un Modelo de Markov que se usa para calcular la probabilidad de que una nota sea seleccionada como la siguiente en la secuencia de notas que crean la melodía. En el modo supervisado, la selección de notas también está influenciada por el dispositivo, mientras que en el modo colaborativo, el Modelo de Markov permite al sistema una fuerza expresada a través del dispositivo para guiar los movimientos del usuario.

Recordemos que la generación de un resultado musical supone un desafío debido a la naturaleza de la música, un producto creativo que depende de factores subjetivos como son la cultura o el estado de ánimo de los usuarios, entre otros. El primer prototipo se despliega como una aplicación de escritorio con usuarios que proporcionan las preferencias iniciales, controlan el proceso de generación y evalúan los resultados musicales.

Hemos construido un sistema colaborativo humano-máquina, ya que el ser humano no solo proporciona al sistema la entrada de datos necesaria para la generación musical, sino que es un colaborador activo capaz de influir en el resultado final mediante el guiado del proceso y la evaluación. El desafío de incluir la inteligencia humana en el proceso de creación fue parte del detonante para añadir un componente humano y a experimentar con una nueva forma de generar música basada en música popular.

El sistema recoge las valoraciones de los usuarios para mejorar los resultados musicales finales. Para ello, se desarrolla e integra en nuestro sistema una arquitectura de Razonamiento Basado en Casos (CBR).

Para ello, se sigue un flujo de trabajo de cuatro etapas. El primer paso consiste en la extracción de datos de entrada que el usuario proporciona, que son el estilo de la música popular, refiriéndonos al género, y la tonalidad o el modo en el que se desea componer. Estos datos se comparan con melodías que se han generado anteriormente y están almacenadas en la memoria. Aquellas melodías que poseen características similares a las que busca el usuario se utilizan como melodías de entrenamiento de un modelo de Markov. A través de este modelo estadístico y la posición del dispositivo conectado al sistema, somos capaces de generar una nueva melodía que respeta las características iniciales. Finalmente, se les pide a los usuarios que califiquen la melodía final generada, de acuerdo con su grado general de satisfacción. Esta evaluación se usa para decidir si la solución musical (caso) debe almacenarse en la memoria o debe eliminarse debido a su baja calidad.

Asimismo, al resultado de todo nuestro sistema ETHNO-MUSIC se le ha integrado un sistema generador de letras, que ha permitido el desarrollo de un sistema inteligente que crea canciones populares en español con letra, de forma automática.

En particular, el generador de letras produce fragmentos textuales que coinciden con un ritmo dado, con una coherencia sintáctica manejada por una gramática y una semántica controladas por la combinación de la gramática previa con una red semántica.

Para evaluar nuestro sistema, se han seguido varias fases, primero evaluando el sistema generador de música, y posteriormente todo el conjunto, incluido el generador de texto.

Para evaluar únicamente el sistema de generación de música, se realizaron tres experimentos diferentes. En primer lugar, se pretendía comprobar si el sistema era capaz de aprender de las preferencias del usuario para mejorar los resultados musicales. Por lo tanto, se realizó un estudio comparativo para mostrar la evolución de las evaluaciones de los usuarios a diferentes melodías cuando el número de ejecuciones aumenta gradualmente. Los usuarios probaron un sistema con un CBR y otro sistema idéntico pero sin el CBR implementado.

En segundo lugar, había que comprobar si, de acuerdo a los usuarios, el sistema permitía generar sus propias melodías. Por lo tanto, se les entregó un cuestionario a los usuarios para recabar sus opiniones sobre la eficacia del sistema en la generación de melodías que se adecuen a las preferencias del usuario.

Por último, la interacción entre humanos y máquinas debía implementarse correctamente para generar melodías con éxito tanto en modo supervisado como colaborativo. Por lo tanto, se llevaron a cabo dos tipos de experimentos, analizando el éxito de los dos modos y el nivel de interacción entre el usuario y la máquina. Principalmente, queríamos demostrar que el diseño de la arquitectura CBR le proporciona al sistema una funcionalidad que permite componer diferentes tipos de melodías y agregar un componente de aprendizaje basado en las opiniones de los usuarios.

Los resultados indican un alto grado de satisfacción cuando el sistema integra las preferencias del usuario en la generación de melodías. Los resultados del sistema con el CBR implementado tienden a mejorar con el tiempo, cuando el número de ejecuciones aumenta constantemente. Además, las calificaciones medias muestran que el agente del dispositivo captura muy bien las preferencias del usuario y de la máquina (según el modo) a través del dispositivo mecánico. Asimismo, los resultados son positivos en relación con la facilidad de uso del sistema y útiles para generar música adaptada a las preferencias personales.

Para validar la creación de una música vocal, mediante la incorporación del texto, se realizó un test de escucha y una posterior encuesta para conocer la opinión de los oyentes. De acuerdo a la opinión general, el sistema resultante genera melodías que siguen los estándares de las canciones en español, con letras en español sobre temas típicamente relacionados con las canciones populares. No obstante, la evaluación humana también reveló que algunos aspectos no fueron tan positivos (aunque tampoco han sido negativos) obteniendo valores medios dentro de la escala categórica. Estas propiedades tienen que ver con el ritmo de las letras y, especialmente, su significado (la semántica). Este último parámetro es especialmente desafiante, y todavía no existen programas que sean capaces de analizar los significados completamente y poder actuar en consecuencia.

Además del éxito de integrar dos sistemas diferentes desarrollados independientemente, podemos decir que estamos contentos con nuestros resultados, que podrían considerarse como preliminares.

Sin embargo, durante este trabajo, identificamos limitaciones, algunas con la ayuda de la validación humana, que se abordarán en el futuro, para una nueva versión del sistema construido.

A continuación, se describirán en mayor detalle las contribuciones principales al campo de la investigación que nos ocupa.

En este trabajo se ha propuesto un sistema que integra nuevas tecnologías relacionadas con la comunicación, la colaboración, la inteligencia artificial y la creatividad para generar resultados musicales, utilizando la interacción humano-máquina. Por tanto, este

trabajo realiza algunas contribuciones en el ámbito de la computación, la etnomusicología y en la generación automática de música. Las aportaciones principales se resumen como sigue:

- **Generación de música a través de mecanismos estadísticos.** El comportamiento del sistema se ha adaptado a las características de la música popular para componer música. En particular, los encargados de la composición musical han requerido la especificación de modelos de representación para definir elementos de forma que la máquina sea capaz de interpretarlos en tiempo de ejecución. En este caso, la representación utilizada para evaluar las características de una composición musical, ha sido la semántica del MIDI. Este espacio se ha adaptado fácilmente a los algoritmos estadísticos, lo cual ha permitido la elaboración de un modelo capaz de generar nuevas melodías. En concreto, las contribuciones han sido:
 - Revisión y estudio de diferentes modelos y sistemas de composición utilizando sistemas estadísticos.
 - Adaptación de un sistema estadístico (modelo de Markov) a la generación musical de música popular.
 - Adaptación del sistema generativo para la inclusión de un dispositivo de interacción.
 - Recopilación y codificación de canciones populares, extraídas del cancionero popular de Castilla y León, consideradas como “experiencias previas” para el sistema compositivo.

- **Técnicas para el aprendizaje.** La definición de un entorno colaborativo humano-máquina requiere mecanismos que faciliten el aprendizaje de los comportamientos humanos para reproducirlos mediante la generación de nuevas melodías. Las contribuciones en este campo han sido:
 - Revisión del estado del arte de las técnicas que permiten un enlace entre los estímulos y las respuestas hechas por los seres humanos, así como el uso de la interacción entre usuario y ordenador dentro del proceso de composición musical.
 - Aplicación de una arquitectura CBR para almacenar y reutilizar composiciones musicales con el fin de mejorar los resultados de nuestra propuesta.
 - Incorporación del comportamiento humano en nuestro sistema mediante la interacción con un dispositivo y la valoración de los resultados para mejorar

posteriores composiciones musicales. En nuestra propuesta, el usuario es un colaborador activo, sin él es imposible producir un resultado musical.

- **Descripción e implementación de la simulación.** Se ha generado una simulación donde los usuarios (el componente humano) han interactuado y evaluado el conjunto de nuestro sistema. Este primer prototipo era una aplicación de escritorio en la que los usuarios colaboraban con la máquina para crear y evaluar una composición musical. Se ha utilizado un sistema CBR para extraer información y patrones de comportamiento. Este conocimiento puede ser útil para futuras decisiones de generación musical. En concreto, se ha contribuido de la siguiente manera:

- Se ha dotado al sistema compositor de cierto comportamiento humano creativo, esencial para la generación de música.
- Se ha realizado una evaluación exhaustiva del sistema basándonos en la experiencia humana y en la evaluación de los resultados por parte de los expertos.
- Se ha modelado un sistema automático de extracción de información y mecanismos de análisis para mejorar las generaciones musicales.

Finalmente, cabe destacar que se ha realizado un estudio del estado del arte en sistemas creativos capaces de generar música siguiendo diversas técnicas, pero profundizando en aquellos que empleaban los sistemas estadísticos y la colaboración como pieza clave del proceso generativo.

Se ha hecho especial hincapié en el nuevo concepto de colaboración creativa, esencial para la definición y diseño de una interacción humano-máquina como la desarrollada en este trabajo. A partir de estos estudios, se ha procedido a construir un sistema basado en la interacción con los usuarios que incorpora modelos de aprendizaje para generar música colaborando con los humanos, que son los usuarios.

Debido a la multidisciplinariedad de esta monografía, existen una gran cantidad de puertas que dan pie a un análisis y trabajo futuros.

Nuestro sistema generador de melodías es capaz de crear música aceptable para los usuarios. Sin embargo, el número de melodías utilizados en nuestro análisis podría incrementarse para extraer conclusiones aún más sólidas. Asimismo, las percepciones de la correlación entre las preferencias y las indicaciones del usuario, y las melodías producidas deben investigarse más a fondo con factores psicológicos para demostrar que la interacción es efectiva desde un punto de vista social. Por tanto, se pretende

ampliar nuestro análisis a un amplio contexto social con personas con diferente formación musical, para analizar la aceptación social de nuestros resultados musicales.

La transformación de indicaciones tan orientativas en notas musicales es algo ciertamente polémico y subjetivo, que depende no sólo del manejo del dispositivo por parte del individuo, sino también de su estado de ánimo, su cultura y otros factores de índole similar. En un estudio futuro, desarrollaremos una nueva prueba para mejorar cómo se recoge la percepción de la correlación entre la música y el dispositivo.

Otro problema detectado es que el número de archivos de la memoria determina el estilo que se utilizará en la composición. Cuando la memoria contiene música muy uniforme, la melodía contiene una baja diversidad de notas. Para trabajos futuros, proponemos extraer un mayor número de piezas musicales de diferentes cancioneros, y utilizarlas como base para una composición musical teniendo en cuenta además otros parámetros como el fraseo, la estructura estrófica o las fórmulas rítmicas.

Sería también interesante probar otro tipo de algoritmos, como las redes neuronales o los algoritmos genéticos, para hacer nuevos casos de los anteriores usando operadores de cruce y mutación.

Hasta ahora, todos los usuarios son considerados como iguales dentro de nuestro sistema, y su opinión es válida por igual, independientemente del rol que desempeñe en cuanto a formación musical o fiabilidad de las valoraciones. Podría darse el caso que un usuario fuera especialmente exigente o bien especialmente laxo. En ambos casos, sus valoraciones deben estudiarse de forma diferente a la de un usuario medio. Un futuro análisis pretende incorporar mecanismos de reputación, muy utilizados en computación social para medir el alcance que tiene un usuario y su fiabilidad en la evaluación.

Una mejora en el proceso de integración de letras y música, sería hacer que el sistema de generación de música proporcione la división de partes musicales directamente al sistema de generación de letras, junto con la melodía. Esto posiblemente evitaría la heurística aplicada para este propósito.

Para mejorar la generación automática de música, se podrían utilizar más características de las melodías, incluida una vista más general de la composición. También sería interesante probar el *software* de síntesis de voz humana para cantar las canciones generadas, lo que posiblemente podría hacer que la validación sea más clara.

En cuanto a las letras, a pesar de la utilización de un sistema maduro para la generación, se pueden diseñar y probar nuevas estrategias alternativas para mejorar la rítmica de los textos. Aunque las instancias de PoeTryMe a menudo usan un enfoque de generar y

probar, una estrategia evolutiva, disponible en la misma plataforma, podría tener más sentido para las letras, donde la función de aptitud tiene más parámetros.

Generar letras significativas siempre es una tarea desafiante y conocemos las limitaciones de PoeTryMe en este tema (Gonçalo Oliveira, Mendes, & Boavida, 2017), deficiencias que será necesario investigar en mayor profundidad. No obstante, las mejoras naturales estarían utilizando un corpus más grande para extraer las gramáticas o, para el caso específico de este trabajo, usar un corpus más grande de letras de canciones populares españolas, que lleva un gran trabajo, puesto que la mayoría no están digitalizadas, sino en formato en papel y es necesario llevarlo a un computador. Dada la importancia de las letras en la música popular para los estudios de etnomusicología, un análisis más profundo de las canciones populares y sus letras debe abordarse hacia la generación de mejores letras de este tipo.

Apéndice A

Análisis del Repertorio Popular de Castilla y León



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

Análisis del Repertorio Popular de Castilla y León

Para la correcta implementación del sistema presentado en esta tesis, es necesario un trabajo exhaustivo de recopilación, análisis y clasificación de fuentes de acuerdo al estilo, género, y otros factores musicales.

La región de Castilla y León tiene una gran cantidad de recopilaciones llevadas a cabo en diferentes regiones, sobre todo en Burgos, León, Zamora y Salamanca, a través de autores como F. Olmeda, García-Matos o M. Manzano. Por tanto, no se ha considerado necesario ni objeto principal de esta tesis realizar un trabajo de campo para recopilar nuevas tonadas, sino que nuestro trabajo se basa en el estudio de los aspectos musicales y etnomusicológicos de las obras ya recogidas en otros cancioneros.

Existe diferentes cancioneros con obras recogidas de las regiones que comprenden Castilla y León. Algunos de ellos los nombramos aquí:

- *Cancionero Popular de Burgos*, de Federico Olmeda
- *Cancionero Salmantino*, Dámaso Ledesma
- *El Folklore Leonés*, Manuel Fernández Núñez
- *Cancionero Segoviano*, Agapito Marazuela
- *Colección de cantos populares burgaleses*, Antonio José Martínez Palacios
- Recopilaciones por Kurt Schindler
- *El Nuevo Cancionero Salmantino*, Aníbal Sánchez Fraile
- Las páginas inéditas del cancionero de Salamanca, Aníbal Sánchez Fraile y Manuel García Matos

- *Catálogo Folklórico de Valladolid*, Joaquín Díaz, José Delfín Val y Díaz Viana
- *Cancionero de Folklore Zamorano*, Miguel Manzano
- *Cancionero Leones*, Miguel Manzano
- *Cancionero Popular de Priorio: Canciones Danzas y Romances del Alto Cea*, Marcelino Díez Martínez
- *Cancionero Popular de Burgos*, Miguel Manzano
- *Cancionero Abulense*
- Trabajos de Recopilación en Palencia
- *Cancionero Popular de Castilla y León: Romances, Canciones y Danzas de Tradición Oral*
- *Cancionero Básico de Castilla y León*, Miguel Manzano

Cada uno de ellos aporta ciertamente una serie de tonadas inéditas, beneficiosas para el conocimiento de la tradición oral en las diferentes regiones. No obstante, cabe destacar que muchas se centran exclusivamente en algunas provincias de Castilla y León, dejando a un lado el resto de regiones.

Si nos centramos en los cancioneros que realizan un barrido más general por la comunidad de Castilla y León, nos encontramos con varios ejemplares, entre los que destacamos *Cancionero Popular de Castilla y León: Romances, Canciones y Danzas de Tradición Oral* y el *Cancionero Básico de Castilla y León*. Debido al interés de este último por realizar una selección de las obras más representativas de la comunidad, y por su enfoque pedagógico, se le ha seleccionado como cancionero objetivo de estudio.

Es fundamental a la hora de abordar el análisis de las piezas de un cancionero, estudiar el entorno en el que fue concebido, incluido el autor, los criterios de confección o la época de recopilación. El seguimiento de una metodología nos ayudará a entender el proceso de recopilación, clasificación y ordenación de piezas musicales, facilitando el análisis de los factores musicales.

En este anexo, se presenta una metodología para analizar profundamente el repertorio de este cancionero y los factores musicales que pueden afectar al proceso de aprendizaje del sistema presentado.

A.1 Autor de la Recopilación

Miguel Manzano fue compositor, investigador de música popular tradicional y catedrático superior de Música y Artes Escénicas en la especialidad de etnomusicología. nació en Villamor de Cadozos, en la provincia de Zamora, en 1934, y ha desarrollado casi toda su trayectoria en el ámbito nacional, centrándose sobre todo en la región de Castilla y León.

Fue niño cantor en la catedral de Zamora, donde además estudió Solfeo, Piano, Órgano y *Armonium* con el maestro Arabaolaza, Maestro de Capilla de la Catedral de Zamora. Posteriormente, cursó estudios musicales de Solfeo, Canto Coral y Guitarra en el Conservatorio Profesional de Valladolid, para después desplazarse al Real Conservatorio Superior de Madrid, donde se graduó en Musicología. Paralelamente, a partir de 1946 cursó los 12 años de estudios eclesiásticos en los seminarios diocesanos de Salamanca y Zamora.

En 1957 ganó por oposición el cargo de organista de la catedral de Zamora, que desempeñó, junto con el oficio de maestro coral hasta su renuncia en 1968 en el Seminario Mayor de Zamora.

Durante dos cursos a partir del año 1964, Manzano realizó la licenciatura universitaria en Liturgia en el Instituto Católico de París, asistiendo además a cursos especializados sobre Lenguaje y Ritmo musical con maestros destacables como J. Gelineau. L. Deiss y D. Julien.

A partir de entonces comienza un nuevo estilo en sus composiciones, con la musicalización de textos sobre la base del carácter y colorido de la música modal. En el año 1968 publica *Salmos para el Pueblo*, obra ampliamente difundida y cantada por todos los países de habla hispana, y traducida a varios idiomas.

En 1972 crea y dirige el grupo Voces de la Tierra, cuyos arreglos corales e instrumentales prepara íntegramente. Durante los años 70, imparte clases en el Colegio Corazón de María de Zamora.

La enseñanza musical en varios centros y a niveles distintos ha llenado la mayor parte de su vida profesional, finalizando con doce cursos como catedrático de Etnomusicología en el Conservatorio Superior de Salamanca (1990-2002), fecha de su jubilación y retiro de la vida profesional, aunque no de su trayectoria como músico y etnomusicólogo.

Desde sus primeros años de actividad, Manzano ha sido requerido por diversas instituciones para ejercer una serie de cargos de responsabilidad relacionados con la música, como Consultor del Episcopado Español, en la especialidad de música popular

religiosa, en la etapa de la aplicación de la reforma del Concilio Vaticano II (1968-1972), Miembro del Consejo Asesor de Cultura Tradicional de la Junta de Castilla y León, desde 1986 hasta su renuncia en 1988, Vocal de la Junta Directiva de la Sociedad Española de Musicología (1987-1987), Miembro del Consejo de Redacción de la Revista de Musicología Nassarre (desde el 3 de enero de 1997), y Consejero miembro del Consejo de Música, nombrado por el Director General del INAEM (BOE del 27 de octubre de 2001).

A.1.1 Trayectoria Profesional como Músico

El trabajo musical de Miguel Manzano se ha desarrollado en varios campos muy diversos que incluyen la enseñanza musical, como hemos visto anteriormente, la actividad coral, la recopilación de música popular y la composición musical.

Su experiencia en el canto coral comenzó ya cuando era estudiante, y posteriormente a través de su oficio como maestro coral y, posteriormente, mediante la creación del grupo “Voces de la Tierra” y “Alollano”, con este último ha grabado 8 discos CD y ha dirigido más de un centenar de conciertos.

La composición ha sido otro de los campos más constantes en la actividad de Miguel Manzano. Su obra consta de más de 200 obras, muchas de ellas enfocadas a coro mixto y conjunto instrumental. Una buena parte de ellas han sido publicadas en una amplia colección de discos LP y CD que le han sido solicitados por diferentes sellos discográficos.

La difusión de la canción popular tradicional a partir de los conciertos en directo y el soporte discográfico responde por parte de Manzano a una intención bien definida por él mismo en múltiples ocasiones: recuperar para la memoria colectiva (tanto para el disfrute como para el reaprendizaje) una pequeñísima parte de la tradición, la más bella y representativa, en un tiempo en que decenas de miles de canciones tradicionales no volverán a sonar nunca más donde se han cantado y escuchado durante siglos enteros. Una amplia selección de canciones armonizadas para coro han sido publicadas en la obra que lleva por título “24 Canciones Zamoranas para coro a cuatro y cinco voces mixtas”.

Además de estas obras Miguel Manzano ha compuesto otras obras corales, casi siempre por encargo, como son las que llevan por título *Reflexión primera* (sobre un texto del poeta Ángel González), *Manifiesto* (texto de Jesús Munárriz), *La vi llorando* (tradicional del repertorio cántabro), *Donam la má* (texto de J. Salvat Papasseit) y *Assaig de càntic en el temple* (texto de Salvador Espriu). Del mismo modo, Miguel Manzano compuso en 1981 dos obras corales para 2 y 3 voces masculinas, el himno *Crua Fidelis* y el motete *Christus factus est*, todos a petición del director del coro de la Hermandad del

Santísimo Cristo del Espíritu Santo, que abre los desfiles procesionales de la Semana Santa de Zamora. Dos años después, por encargo de la Cofradía del Cristo de la Buena Muerte, compuso otra obra coral para dos voces graves titulada *Jerusalem, Jerusalem*, que se canta en la noche del Martes Santo en la procesión del mismo nombre. Estas tres obras han llegado a adquirir, con el tiempo, el valor de un símbolo de identidad sonora de la Semana Santa de Zamora.

Con la conmemoración del quingentésimo aniversario del comienzo de la construcción de la Catedral Nueva de Salamanca, Miguel Manzano compuso en 2013 su obra “Lucernario”, compuesto para un coro a 4 voces mixtas, y órgano. Un año después del estreno, la obra fue completada con un total de 11 himnos compuestos con el mismo formato, cuyo estreno tuvo lugar en diciembre de 2014 con los mismos intérpretes que la obra inicial. Las dos últimas obras corales de Miguel Manzano datan del mes de marzo de 2015. Son otras dos composiciones con texto en latín y a dos voces graves, escritas a petición del Director y el Coro de la Hermandad del Santísimo Cristo del Espíritu Santo, para completar el repertorio de cánticos para la procesión de dicha Cofradía. Sus títulos son *Adoramus te, Christe* y *De lamentatione Jeremiae Prophetae*.

Por otro lado, Miguel Manzano también generó diferentes piezas para música instrumental. Una de sus obras más relevantes es *More Hispano*, una serie de composiciones para piano en las que desarrolla las posibilidades de la armonía modal a partir de las tonadas tradicionales más arcaicas recogidas en sus cancioneros. Parte de esta colección ha sido publicada por la editora multinacional Boosey & Hawkes, con sede en Londres, bajo el título genérico *Spanish Preludes* (1989).

En 1994 y 1995 estrenó dos obras dirigidas para órgano: *Cinco glosas a una loa y Careo de nazardos contra lengüetas*. Para la inauguración del órgano restaurado de la iglesia de San Eutropio, de El Espinar (Segovia), Manzano compuso *Letanía*. Con motivo de la celebración conmemorativa ‘Salamanca 2005, Plaza Mayor de Europa’, recibió, junto con el compositor Jesús Legido, el encargo de componer una obra sinfónico-coral, a la que se le dio el título de *Ágora 2005*.

En noviembre de 2007 tuvo lugar el estreno de su obra para dos pianos *Ludendo in rhythmis modulatis*, compuesta por encargo para conmemorar el 400 aniversario de la fundación del Teatro Principal de Zamora.

A.1.2 Especialización en música popular

Desde el año 1972, gran parte del esfuerzo profesional se ha dedicado a la recopilación de música tradicional en el ámbito nacional. Como resultado, se han editado diferentes

cancioneros, sobre todo centrados en la región de Castilla y León. Podemos nombrar el *Cancionero de Folklore Musical Zamorano*, con más de 1.100 documentos musicales, el *Cancionero Leonés*, en 6 volúmenes, que recopila 2.240 piezas musicales, o el Cancionero de Burgos, en 7 volúmenes, con casi 3.200 recopilaciones.

Tan importante como su labor de recopilación ha sido la metodología de ordenación, clasificación y análisis de los documentos recogidos. El procedimiento analítico que aplica a los documentos recogidos en sus cancioneros, y los estudios teóricos puntuales que viene realizando en decenas de conferencias, artículos y libros le han convertido en uno de los especialistas más renombrados en el campo de la Etnomusicología.

En razón de esta larga trayectoria, Miguel Manzano fue galardonado en el año 2009 con el Premio Castilla y León de Conservación y Restauración del Patrimonio, que otorga la Consejería de Cultura de la Junta, “por su ingente aportación al estudio de la cultura tradicional de los pueblos de Castilla y León, rescatando su patrimonio inmaterial e intangible, específicamente el musical en todos los ámbitos de su conservación, como la investigación, la difusión y la educación”, según consta en la comunicación del jurado.

Aquí nombramos algunas de sus obras más relevantes en este contexto:

- ***Cancionero de folklore musical zamorano***, Madrid, Editorial Alpuerto, 1982. Trabajo de recopilación que contiene 1085 transcripciones musicales recogidas directamente en la provincia de Zamora, desde 1971.
- ***Cancionero popular de Castilla y León***, Centro de Cultura Tradicional de la Diputación de Salamanca, Salamanca, 1989. Recopilación de 107 canciones de las nueve provincias de Castilla y León realizada por un colectivo y transcrita por Miguel Manzano.
- ***Cancionero Leonés***, Diputación Provincial, León, 1988-1991. Obra en 6 tomos que contiene un total de 2162 documentos musicales recogidos por Miguel Manzano en la provincia de León.
- ***Música y poesía popular de España y Portugal***. Centro de Cultura Tradicional de la Diputación de Salamanca, Salamanca, 1991. Reedición facsimilar de la obra *Folk Music and Poetry of Spain and Portugal*, recogida por Kurt Schindler por la década de 1930 y publicada en Nueva York en 1941.
- ***Páginas inéditas del Cancionero de Salamanca***, Centro de Cultura Tradicional de la Diputación de Salamanca, Salamanca, 1996. Edición facsimilar del fondo documental recogido por Aníbal Sánchez Fraile y Manuel García Matos por las décadas 1940-1950 en misiones encomendadas por el Instituto Español de Musicología.

- **La jota como género musical: un estudio musicológico acerca del género más difundido en el repertorio tradicional español de la música popular.** Editorial Alpuerto, Madrid, 1995.
- **El folklore musical de Aragón. El Folklore musical de Castilla y León. El folklore musical de Extremadura.** Amplias visiones de conjunto de la música tradicional de las tierras que indican los títulos, publicadas en el Diccionario de la Música Española e Hispanoamericana, Madrid, SGAE, 1999-2002.
- ***Cancionero popular de Burgos***, Diputación Provincia de Burgos, Burgos, 2001–2006. La más amplia obra de recopilación, transcripción, ordenación y estudio musicológico entre todas las realizadas por Miguel Manzano, sobre un total de 3.200 documentos musicales recogidos directamente de la tradición oral por un equipo de trabajo de campo coordinado por Gonzalo Pérez Trascasa. La obra consta de 7 volúmenes.
- ***La misa solemne popular en latín en la tradición salmantina.*** Centro de Cultura Tradicional “Ángel Carril”, de la Diputación de Salamanca, 2008. Publicación colectiva que reúne las ponencias de varios especialistas, sobre el tema que expresa el título, pronunciadas con motivo del XI Seminario de de Folklore y Cultura Tradicional.
- **Escritos dispersos sobre música popular de tradición oral.** Publicaciones de CIOFF España, Ciudad Real, 2010, 903 pp. y ejemplos musicales ilustrativos de los temas estudiados. En esta obra reúne Miguel Manzano una serie de escritos, dispersos unos en revistas y publicaciones varias y otros, inéditos, leídos en congresos o reuniones de estudio para las que se le ha pedido una colaboración en la especialidad a la que se dedica preferentemente.
- ***Cancionero Básico de Castilla y León.*** Esta obra voluminosa recoge un total de 365 canciones de todos los géneros del cancionero tradicional de las tierras que señala su título.

A.2 Características del Cancionero

La Conserjería de Cultura y Turismo tiene como objetivo documentar y catalogar manifestaciones culturales con participación humana. La elaboración de este cancionero se enmarca dentro de estos objetivos, a través del Plan Sectorial del Patrimonio Etnológico e Inmaterial (dentro del plan PAHIS 2004-2012 del patrimonio histórico de Castilla y León). En particular, existe un proyecto específico dentro de este plan sobre

la música popular transmitida oralmente, que contiene una propuesta de investigación y desarrollo para la elaboración de la Carta de Patrimonio Oral e Inmaterial en Castilla y León.

Por otro lado, el ámbito rural ha estado hasta hace algunas décadas bastante poblado, y la música popular se ha ido transmitiendo por tradición oral. Sin embargo, desde hace más de cincuenta años, ha sufrido un proceso de despoblamiento paulatino, debido a múltiples causas sociales, laborales, etc. La tradición, que antes era muy rica en cuanto a variedad y calidad musical, está empobrecida o en vías de desaparición. No podemos buscar que la gente de este ámbito sigan cantando todo el repertorio de la región. Pero sí podemos intentar conservar y salvaguardar un bloque de canciones que de alguna forma representen un repertorio característico de Castilla y León. Así pues, el cancionero pretende que la memoria no se rompa del todo, que la costumbre de cantar no desaparezca completamente, que nuestras canciones sigan siendo nuestras y dejar al menos un soporte gráfico que permita poderla revivir.

Este cancionero se ha elaborado para la recogida y preservación del repertorio musical popular, siguiendo los objetivos planteados por el plan PAHIS y en el entorno social que se plantea. Con ello, se pretende:

- Seleccionar aquellas obras que sean fáciles de cantar
- Facilitar la consulta del repertorio popular más representativo de la región.
- Identificar de las melodías por su representatividad y como algo propio y cercano, y por su facilidad de ser aprendidas y recordadas.
- Promover conservación activa mediante un uso pedagógico del repertorio seleccionado.

Se ha considerado un número abarcable de tonadas para facilitar el uso del cancionero no solo con fines investigadores, sino también para pedagogía, divertimento o de materia temática para todo tipo de creaciones musicales a partir de lo recogido, como ocurre en el caso que nos ocupa. Pero sobre todo el cancionero está enfocado para que el éxodo del campo a la ciudad no acabe con el patrimonio inmaterial y musical de Castilla y León.

Los materiales utilizados para la recopilación de estas canciones han permitido una gran calidad, al poder grabar las intervenciones de los intérpretes y escucharlas las veces necesarias para plasmar de forma fiel el repertorio popular. Asimismo, el documento refleja una intención de acompañar el material escrito con un soporte digital donde se almacenan las interpretaciones de cada pieza musical incluida en el repertorio.

El Cancionero Básico de Castilla y León que aquí se analiza recoge un total de 365 canciones de todos los géneros del cancionero tradicional de la región castellana, seleccionadas de entre las más representativas de la tradición popular. Esto es de especial interés para el desarrollo de esta tesis, ya que se buscan aquellas tonadas que representaran el estilo de la música popular.

La selección de estas tonadas se ha realizado partir de los tres grandes cancioneros recogidos por el mismo autor (Cancionero de Burgos, Cancionero de Zamora y Cancionero de León). Para completar la obra, se han considerado algunas aportaciones de cancioneros anteriores, como los de Olmeda, Ledesma, Marazuela, Sánchez Fraile, De Ricis, Fernández Núñez y otros. En cualquier caso, el cancionero afirma que el número de piezas recogidas representan a todas las provincias en una proporción igual. Lo mismo ocurre con otras características, se ha intentado que todos los géneros, tipos de canción, sonoridades, funcionalidades y la variedad literaria estén representados en la medida de lo posible.

Aunque realiza una recopilación más pequeña que otros cancioneros, alguno de los cuales llegan a recopilar más 3000 tonadas musicales, como el cancionero de Burgos de Miguel Manzano, las tonadas recogidas pretenden ser representativas de la zona de Castilla y León.

Asimismo, la metodología seguida pretende ser una metodología científica, basada en la fiel transcripción y en los criterios de clasificación, ordenación y edición siguiendo unos criterios objetivos y basados sobre todo en elementos musicales. Aquí radica la diferencia con cancioneros anteriores, como el cancionero de Olmeda o el de Salamanca de Ledesma, cuya riqueza en recopilaciones es muy amplia, pero los criterios de creación del cancionero no responden a ningún método objetivo, muchas veces ordenando las tonadas según criterios más bien subjetivos en cuanto a sonoridad o supuesta "antigüedad".

Para Miguel Manzano en este cancionero refleja que existen tres factores fundamentales en la música popular: melodía, ritmo y texto. Los tres factores, aunque inseparables en la interpretación de una pieza popular, merece la pena dedicar un capítulo a cada uno de ellos en el contexto de este cancionero.

Para Miguel Manzano, la melodía es el elemento más importante y definitorio de la canción, a diferencia del texto, que puede declamarse o incluso intercambiarse, o el ritmo (sin restar importancia al resto de elementos). Estudia tres características básicas de la melodía popular: los sistemas melódicos, el estilo melódico y las variantes.

Los sistemas melódicos son la base fundamental para la construcción de melodías, y el autor realiza dos distinciones entre la tonalidad y la modalidad. Da unas breves directrices de cómo reconocer cada una, deteniéndose también en sus diferencias, y se

centra especialmente en la modalidad, por su dificultad para oídos no educados en estos sistemas, siempre con ejemplos de algunas tonadas que se incluyen en el cancionero para ilustrar la teoría.

El estilo melódico también caracteriza a las melodías, y se estudia a través del análisis del perfil, la interválica y el ámbito. El perfil melódico es el arco musical que describe el desarrollo de una melodía. El movimiento más común de este tipo de música consiste en intervalos conjuntos e intervalos no muy amplios, por tanto, la dirección melódica más común son movimientos de ascenso y/o descenso más bien suave, cuyo desarrollo puede ser generalmente visto como ascendente, descendente u ondulante, en este último caso que es el más común, oscilando hacia la nota básica. Los intervalos más comunes en este tipo de música son los más naturales, los grados conjuntos y los saltos de tercera, cuarta y quinta justa, que pueden aparecer con más o menos frecuencia dependiendo del momento del desarrollo melódico. Además, existen ciertos giros interválicos que no son propios de esta música y no suelen aparecer, como la segunda o la cuarta aumentada, la sucesión de tres o más cromatismos o la sexta mayor. Por último, Manzano analiza las variantes de un mismo tipo melódico como un elemento más de la caracterización de la música popular.

El ritmo es el segundo elemento que se analiza en profundidad, primero dando nociones básicas de pulso, ritmo y plantillas rítmicas, para después centrarse en los compases más comunes que representan a la música popular. Se destaca la importancia de los ritmos binarios, ternarios y quinaros para la regularidad del ritmo sobre todo en bailes y danzas, y de posibles combinaciones de estos mismos para aplicación de algunos géneros de importancia. Por último, se hace una mención especial al polirritmo o al ritmo libre, característicos de géneros como por ejemplo los cantos de trabajo.

Por último, el texto para Manzano es un elemento fundamental que acompaña a toda música popular de carácter vocal, y que suele estar formado por versos con diferentes características. En este caso también se analizan tres elementos fundamentales: la relación entre texto y música, el papel sintáctico del texto y la estructura melódica.

Cuando se estudia la relación entre el texto y música, se pueden dar dos fenómenos principales en la música popular: la isorritmia y la anisorritmia. La primera ocurre cuando los acentos textuales coinciden con los acentos del texto. Por su parte, la anisorritmia se da cuando existe algún acento musical que no coincide con el texto, o viceversa. Este último suele ocurrir cuando el texto original que acompañaba la melodía se ha visto sustituido posteriormente por otro diferente, cuya mensura no tiene por qué coincidir con los acentos propios del compás en el que se encuentra la melodía.

Otro elemento fundamental es el papel de la sintaxis como un elemento que puede alterarse para darle otro aire a la melodía popular. Algunos recursos muy utilizados son las repeticiones de palabras o de versos, el uso de muletillas, el cambio de orden sintáctico o juego de palabras.

Por último, se estudia la estructura melódica de acuerdo al análisis del texto, con el objetivo de conocer la capacidad inventiva, la inspiración y la variedad de soluciones para abordar un texto y darle sentido musical. Existen varias estructuras que se repiten habitualmente en la música popular, como son las estructuras circulares, protomelódicas, en ostinato, litánica o responsorial.

Como vemos, Manzano realiza un análisis exhaustivo de todos los elementos que considera como importantes a la hora de abarcar el estudio del repertorio popular. Eleva el estudio del texto a la altura de los elementos musicales del ritmo y la melodía, por tanto, le da casi la misma importancia al texto que a la música, y su trabajo refleja este balance, ya que recoge las letras de forma cuidadosa y ordenada, cuidando tanto la forma como el contenido.

A.3 Contenido y criterios de confección

El repertorio, revisado y completado en sus melodías y textos para la utilidad práctica del aprendizaje e interpretación vocal de las canciones, va precedido de una amplia introducción en la que se estudian en forma resumida.

El proceso que se ha seguido en este cancionero para la recopilación, clasificación y edición de sus contenidos ha sido el siguiente:

1. Proceso de selección de cerca de 400 tonadas de entre las más de 10000 recogidas en la región desde hace 100 años.
2. Restauración de las canciones en su formato original en caso necesario.
3. Elección del formato del cancionero.
4. Clasificación en secciones y división en apartados impuesta por el género y especie.
5. Elección de la autografía de los originales en una escritura musical diáfana y atractiva.
6. Elección del diseño de cada documento en el formato que ha requerido su melodía y texto.

7. Redacción del estudio preliminar y las introducciones a cada una de las secciones.

La selección del contenido de este cancionero se ha realizado sobre un criterio bastante claro: escoger lo mejor de la tradición, refiriéndonos a lo más representativo, más fácil de cantar y lo que más fácilmente pueda retenerse en la memoria de la gente. Para ello, se acudió a los cancioneros y recopilaciones anteriores. En estos archivos, de acuerdo al autor, se encuentran un gran número de obras de gran calidad musical, pero también contienen una gran cantidad de muestras representativas de muy diversos géneros que merece la pena considerar. Se pretende buscar aquellas músicas que representen estos géneros y de calidad musical alta.

Debido también a este objetivo, algunas tonadas se han vuelto a transcribir en alturas medias y buscando armaduras sencillas, de manera que cualquier persona con conocimientos mínimos sea capaz de cantarlo. La transcripción siempre atiende a la teoría de la modalidad y la tonalidad de la música popular, colocando la armadura correctamente de acuerdo al sistema modal, indicando las cromatizaciones, sonidos neutros o inestabilidades mediante alteraciones accidentales, indicando los ritmos mediante el compás en caso necesario, o indicando los estribillos imbricados siguiendo la notación estándar.

Algunas canciones han sido “restauradas” tanto en la melodía como el texto. Esto significa que alguno de sus elementos han sido ligeramente modificados de acuerdo a los criterios propios etnomusicológicos que describen la tradición musical de esta región, para corregir esos posibles errores o modificaciones indeseables de los intérpretes a la hora de cantar o tocar la melodía.

Por otro lado, la selección de géneros también atiende a los mismos objetivos de cantabilidad y representatividad. Por ello, se ha organizado el cancionero como sigue: canciones rondeñas y cantos líricos, muy ricas y cantables, que conforman el primer bloque del cancionero. El segundo bloque está formado por las canciones de baile, representativas de la región, y posteriormente por las canciones narrativas, en las que también predomina el aspecto melódico, aunque cumplan una funcionalidad.

El resto de secciones se han formado a partir de los cantos de trabajo, el ciclo vital, ciclo festivo anual, las de la rueda del año y las tonadas de pasatiempo y diversión. Estas están representadas por un menor número de piezas, debido que, a juicio de Manzano, tienen un carácter más bien funcional, y están más limitadas en sus aspectos musicales, con lo que no cumplen del todo con los objetivos de esta recopilación. Las secciones contienen apartados por subgéneros. Dentro de cada apartado se han ordenado las piezas musicales siguiendo el orden alfabético de los títulos, para evitar posibles prejuicios sobre el valor de las canciones debido a su orden.

La maquetación contiene una selección de caligrafías que el autor considera elegante, y que busca la claridad para facilitar la estructura y el orden de las canciones y las estrofas. Se ha procurado que las canciones se coloquen en una sola página para facilitar la lectura. Cuando no ha sido así, se ha intentado que la melodía empiece en la parte izquierda, colocando el texto en la derecha, para poder leer más fácilmente estas tonadas.

La disposición del texto sigue los estándares, las estrofas van con texto en tipografía recta, y los estribillos van en letra cursiva, para hacer saber qué parte de la canción es del solista, y qué parte puede hacer el resto de participantes o el coro.

Por último, cabe destacar que no se ha transcrito ningún acompañamiento armónico ni rítmico. El primero, por su dificultad, ya que requiere un estudio profundo sobre las sonoridades y los posibles acordes utilizables para no perder el sentido del sistema tonal o modal, y el segundo porque se asume que, entre los presentes que puedan cantar las tonadas, habrá alguien que pueda acompañar rítmicamente con algún instrumento.

A.4 Análisis musical

La recopilación de fuentes para esta tesis se ha realizado a partir de este cancionero, si bien es verdad que, en algunas ocasiones, se ha acudido a otros cancioneros del mismo autor para recoger alguna otra canción de características similares a las aquí recopiladas para enriquecer nuestra base de conocimiento.

Para cada una de ellas, se ha realizado un análisis profundo con el fin de incorporar estas características a nuestra base de conocimiento, imprescindible para el proceso de aprendizaje del sistema desarrollado. En particular, se han analizado estos elementos musicales:

- Sistema melódico. En este apartado indicaremos el sistema modal o tonal al que pertenece la pieza.
- Ámbito melódico. El ámbito melódico nos indicará la nota más grave y más aguda que incluye la melodía de la pieza.
- Perfil melódico. El perfil es el desarrollo melódico que dibuja esta pieza cuando se ejecuta
- Género al que pertenece la pieza musical.
- Relación texto-música. En este caso, nos referimos a la estructura que posee la pieza musical de acuerdo al texto y a la música. Para analizarlo, utilizaremos la

notación de laRUE (Bardoux Lovén, 2015). Se utilizarán letras en mayúsculas para indicar frases musicales, y letras en minúsculas para indicar frases textuales.

- Organización rítmica. Para la organización rítmica indicaremos el tipo de estrofa, el compás y las fórmulas rítmicas que se incluyen en el primer inciso de la tonada.

Para no alargarnos en exceso, y puesto que el objetivo de este trabajo está centrado en la descripción técnica del sistema de inteligencia artificial, se presentan aquí una muestra representativa de las sonoridades utilizadas para entrenar a la máquina: modo de Mi, modo de La y modo de Sol. En particular, se analizarán diez piezas musicales de estas sonoridades, para comprender el proceso de codificación de datos que alimentan nuestra base de conocimiento. Para abreviar el estudio, el análisis rítmico se presentará en bloque, después de presentar las diez tonadas de muestra.

Tonada 1 (nº12-III del Cancionero)

232 CANTOS DE RINDEVA

CANCIONERO BÁSICO DE CASTILLA Y LEÓN

III. El pequeño romance

♩ = 112 Recitado libre, con apoyo en los acentos

El pe-que-ñi-to ro-mán-ce ex-pli-car-te, ni-ña, quie-ro, blan-ca
 fres-ca co-mo nie-ve, tan du-ra co-mo el ci-mien-to. A-re-nas lle-va la
 mar, es-tre-las el al-to cie-lo, tú e-res la rei-na es-co-gi-da, dos tren-
 zas son tus ca-be-llos. Yo te pro-me-to de dar, si se lo-gra lo que in-
 ten-to, un ra-mi-lle-te de flo-res an-tes que pa-se el in-vier-no. Si se
 cum-ple mi pa-la-bra, yo de rey y tú de rei-na y si no tie-nes co-
 ro-na muy bien tie-nes dón-de ha-cer-la: de e-sa ma-de-ja de pe-lo que por
 los hom-bros te cuel-ga.

REPERTORIO MUSICAL DE RONDAS Y CANCIONES

233 CANTOS DE RINDEVA

El pequeño romance
 explicarte, niña, quiero,
 blanca y fresca como nieve
 tan dura como el cimientto.

Arenas lleva la mar
 y estrellas el alto cielo,
 tú eres la rosa escogida,
 dos trenzas son tus cabellos.

Yo te prometo de dar,
 si se logra lo que intento,
 un ramillete de flores
 antes de salir de invierno.

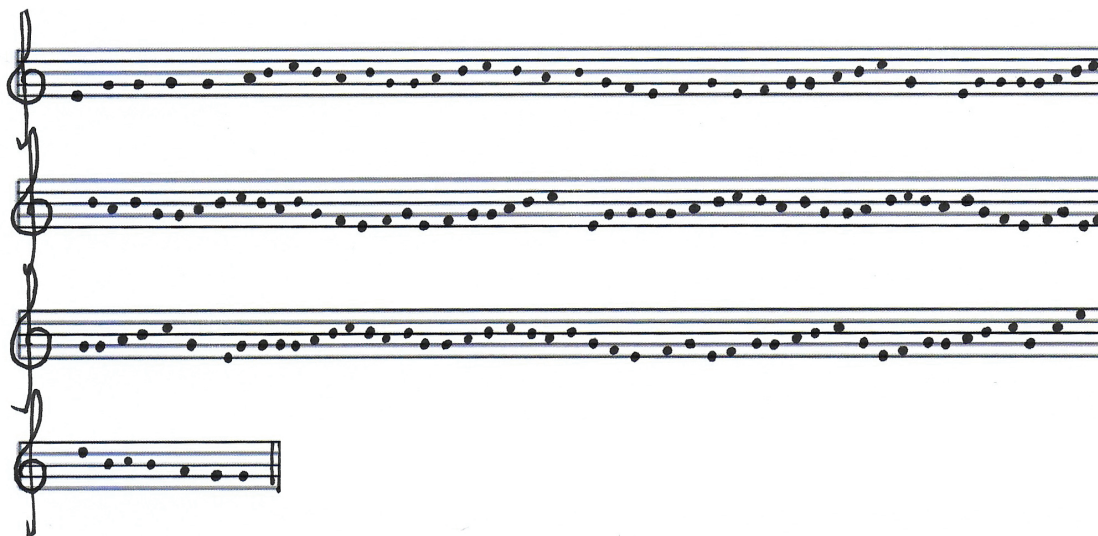
Si se cumple mi palabra,
 yo de rey y tú de reina
 y si no tienes corona
 muy bien tienes dónde hacerla:
 de esa madeja de pelo
 que por los hombros te cuelga.

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de Sol, transcrito en su altura (nota final sol). Esto queda reflejado en la sonoridad más bien mayor, pero la falta de la sensible (el fa siempre aparece natural) y la constante aparición del cuarto grado, caracterizan a esta pieza con la sonoridad de modo de Sol.

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal se encuadra dentro de las canciones de ronda, dentro del género lírico.

Estructura: Simple, ya que no existe ningún estribillo que se repita. La estructura de la tonada es la siguiente:


<u>ABCD</u>	<u>ABCD</u>	<u>ABCD</u>	<u>ABCD'EF</u>
abcd	efgh	ijkl	mnopqrs

Tonada 2 (nº105 del Cancionero)

REPERTORIO MUSICAL DE RONDAS Y CANCIONES 339

105

Vida mía, si vas a lavar



Vi-da mí-a, si vas a la-var, no lle-ves
a-gua que a-llí la ha-brá; vi-da mí-a, si vas a la
mar, no lle-ves a-gua, que a-llí la ha-brá;
lle-va-rás sal y sa-le-ro y el la-va-de-ro pa-ra la-
var; lle-va-rás sal y sa-le-ro y el la-va-
de-ro pa-ra la-var.

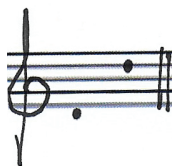
Vida mía, si vas a lavar
no lleves agua,
que allí la habrá;
llevarás sal y salero
y el lavadero
para lavar;
llevarás sal y salero
y el lavadero
para lavar.

Vida mía, si vas al jardín,
no vayas sola,
llévame a mí,
y entre los dos cogeremos
la hierbabuena
y el perejil;
y entre los dos cogeremos
la hierbabuena
y el perejil.

CANCIONES LÍRICAS

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de Mi, transcrito en su altura (nota final Mi), con el segundo y el tercer grado inestables.

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal se encuadra dentro de las canciones de género lírico.

Estructura: Simple, ya que no existe ningún estribillo que se repita. La estructura de la tonada es la siguiente:

ABAB CDCD
abcd efgh

Tonada 3 (nº142 del Cancionero)

REPERTORIO MUSICAL DE TONADAS DE BAILE 395

El rosario de micos y monas

CON RITMO DE JOTA

♩. = 66

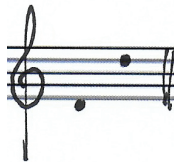
Un ga-to fue a por sar-di-nas y le fal-ta-ba un o-
 cha-vo, y a la sar-di-ne-ra di-jo:
 si no me las das te a-ra-ño. U-na vie-ja de To-ro te-
 ní-a, te-ní-a un ro-sa-rio de mi-cos y mo-nas; mien-tras la
 vie-ja el ro-sa-rio re-za-ba, los mi-cos y mo-nas la jo-ta bai-
 la-ban.

<p>Un gato fue a por sardinas y le faltaba un ochavo, y a la sardinera dijo: –Si no me las das te araña.</p> <p>Eso de pelar la pava tiene poco de entender: unos la pelan sentados y otros la pelan de pie.</p> <p>Los amantes y la luna son en todo semejantes: entran en cuarto creciente, salen en cuarto menguante.</p>	<p>Nuevo gobierno tenemos, pero lo mismo nos da: todos son los mismos perros con diferente collar.</p> <p>Una vez que yo te quise y se lo dije a mi abuela, estaba comiendo sopas: mi tiró con la cazuela.</p> <p>Yo me enamoré de noche y la luna me engañó; otra vez que me enamore, será de día y con sol.</p>
---	--

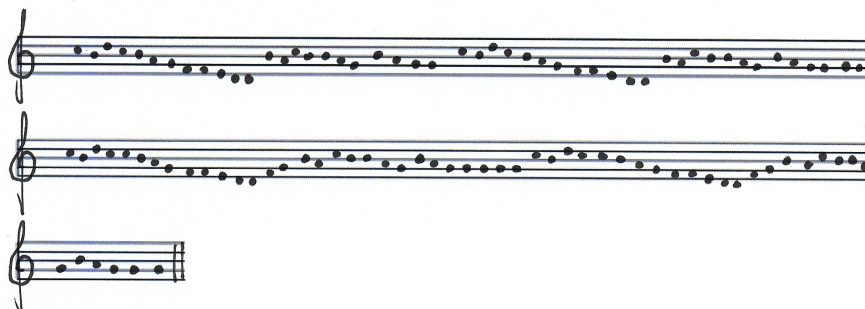
*Una vieja de Toro tenía,
 tenía un rosario de micos y monas;
 mientras la vieja el rosario rezaba,
 los micos y monas la jota bailaban.*

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de Sol, transcrito en su altura (nota final sol).

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal se encuadra dentro de las canciones de baile, en particular, una jota.

Estructura: Compuesta, ya que existen diferentes estrofas que se van alternando con estribillo que aparece en cursiva. La estructura de la tonada es la siguiente:

$$\begin{array}{l}
 \text{ABAB} \quad \leftarrow \quad \boxed{\text{A}'\text{B}'\text{A}'\text{B}'} \\
 \text{abcd} \quad \quad \quad \text{efgh}
 \end{array}$$

Tonada 4 (nº196 del Cancionero)

CON RITMO DE BAILE 'Á LO ALTO' O 'ÁL AGUDO'

458

CANCIONERO BÁSICO DE CASTILLA Y LEÓN

De ti me enamoré (*baile encruciao*)

196 $\text{♩} = 108$



Si su-pie-ra cuán-do e-ra la tu ve-ni-da, no sin-tie-ra yo
tan-to la des-pe-di-da. A-cué-r-da-te, ma-da-ma, cuán-do te re-ga-
lé la cin-ta pa-ra el pe-lo, la he-bi-lla pa-ra el pie, o-lé, o-lé, ma-
da-ma, de ti me e-na-mo-ré.

Si supiera cuándo era
la tu venida,
no sintiera yo tanto
la despedida.

A tu puerta me tienes
una hora y dos,
no me des calabazas,
por amor de Dios.

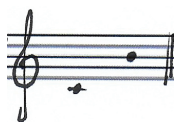
Ay de mí, que no puedo,
que si pudiera,
a la *discolorida*
colores diera.

Debajo de la puente
retumba el agua:
es una lavandera
que paños lava.

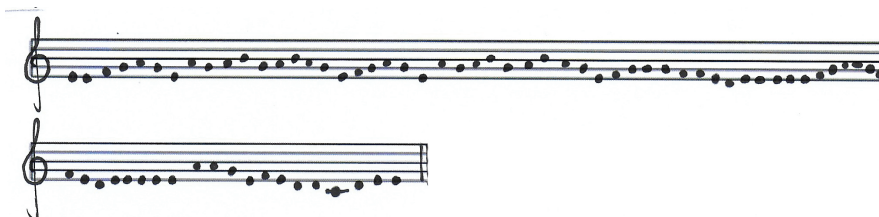
*Acuérdate, madama,
cuando te regalé
la cinta para el pelo,
la hebilla para el pie,
olé, olé, madama,
de ti me enamoré.*

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de Mi, transcrito en su altura (nota final Mi), con todos los grados naturales, sin ninguna cromatización ni inestabilidad.

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal se encuadra dentro de las canciones de baile, en concreto, es una pieza representativa del canción a lo agudo.

Estructura: Compuesta, ya que existen diferentes estrofas que se van alternando con estribillo que aparece en cursiva. La estructura de la tonada es la siguiente:

$$\begin{array}{ccc} \underline{ABAB'} & \leftarrow & \boxed{BCB'CDE} \\ abcd & & cdefgh \end{array}$$

Tonada 5 (nº251 del Cancionero)

ROMANCES

544

CANCIONERO BÁSICO DE CASTILLA Y LEÓN

El prisionero

251 

Que por ma-yo e-ra, por ma-yo, vi-tor vi-
tan-da, dí-as de mu-cho ca-lor, vi-tan-da vi-
tó; cuan-do las ce-ba-das gra-nan, vi-tor vi-
tan-da, y los tri-gos e-chan flor, vi-tan-da vi-tó.

*Que por mayo era por mayo, / vitor vitanda,
días de mucho calor, / vitanda vitó;
cuando las cebadas granan, / vitor vitanda,
y los trigos echan flor, / vitanda vitó.*

(igual)

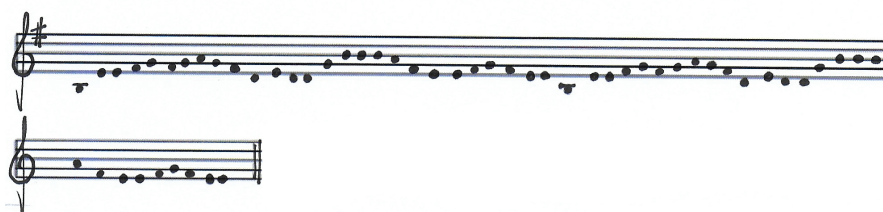
Que por mayo era por mayo, / días de mucho calor,
cuando las cebadas granan, / y los trigos echan flor.
Cuando los enamorados / andan en busca de amor;
las mozas andan de gala / los mocitos sin jubón.
Menos yo, triste y cuitado, / que me veo en esta prisión,
sin saber cuando es de día / ni cuando las noches son,
sino por un pajarillo / que me despierta al albor;
me lo mató un ballestero / de la raya de Aragón.
¡Malhaya sea la ballesta, / malhaya sea el cazador!
si lo mató por la pluma, / mejor se la daba yo.
Si lo mató por la carne, / no pesaba un cuarterón,
si lo mató por venganza: / ¡mala dicha de le Dios!

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de La, transcrito en altura Mi, sin cromatizaciones ni inestabilidades en ningún grado.

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal se encuadra dentro de las canciones de género narrativo, ya que es un romance.

Estructura: La estructura de esta melodía es simple, ya que no existe ningún estribillo que se repite.

$\overline{ABCD} \quad \overline{ABCD}$
abcd ebfd

Tonada 6 (nº261 del Cancionero)

REPERTORIO MUSICAL DE CANTOS NARRATIVOS

557

✿

COPLAS

Juanillo, atropellado por el tren

261 $\text{♩} = 60$

Pri - me - ra es - ta - ción del Nor - te, ¡qué ma - la
suer - te ha te - ni - do! la ma - qui - na ba - lles - te - ra al
guar - da - trén ha co - gi - do.

Primera estación del Norte, / ¡qué mala suerte ha tenido!
la máquina ballestera / al guardatrén ha cogido.

Juanillo salió a la vía / por ver si venía el tren:
venía con violencia, / Juanillo vino a caer.

El maquinista que vio / la vía llena de sangre,
mandó parte a la estación: / Que venga el señor Alcalde.

Ya viene el señor Alcalde / con toda su policía,
jueces y municipales, / a reconocer la vía.

Lo suben a la camilla, / lo llevan al hospital,
y los médicos le dicen: / No te podemos curar.

Si no me pueden curar, / que me peguen cuatro tiros,
que yo no puedo vivir / con los dos brazos partidos.

Escriben a Carbonera, / que Carbonera es su pueblo:
Que vengan su padre y madre, / que tienen al hijo enfermo.

Ya vienen su padre y madre, / su novia y demás familia;
al llegar al hospital, / estas palabras decía:

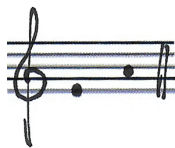
—Hijo mío de mi alma, / hijo mío de mi vida,
¡quién me habría de decir / que en el hospital morías!

La novia que estaba allí, / al oír estas palabras
desmayada cayó al suelo / y no pueden consolarla.

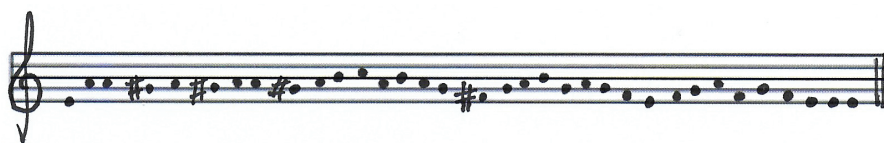
—No llores, paloma mía, / no llores, cariño, no,
que aunque me falten los brazos / te queda mi corazón.

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de Mi, transcrito en su altura (nota final Mi), con el segundo y el tercer grado inestables.

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal pertenece al género de las coplas.

Estructura: Simple, ya que no existe ningún estribillo que se repita. La estructura de la tonada es la siguiente:

ABCD
abcd

Tonada 7 (nº272 del Cancionero)

DE ARADA

576

CANCIONERO BÁSICO DE CASTILLA Y LEÓN

Al paso de los bueyes (*arada floreada*)

272 $\text{♩} = 72$ (*)

Van los ga - ña nes... Al pa - so
 de los bue - yes van los ga - ña
 nes; mi - ra qué pa - so...
 mi - ra qué pa - so lle - van,
 los hol - ga - zas nes.

Van los gañanes...
 Al paso de los bueyes
 van los gañanes;
 mira qué paso...,
 mira qué paso llevan,
 los holgazanes.

Y yo con vacas...
 Todos aran con bueyes
 y yo con vacas;
 cogerán trigo...,
 ellos cogerán trigo
 y yo alverjacas.

Ara tendido...
 Aradora bonita,
 ara tendido,
 desde el camino...,
 que se vea la arada
 desde el camino.

Van los gañanes...
 Al paso de los bueyes
 van los gañanes;
 los sacristanes...,
 y al paso de los curas,
 los sacristanes.

Dijo la grama...
 Aradita de burro,
 —dijo la grama—
 qué triste estaba...,
 qué alegre me has dejado,
 qué triste estaba.

Que vas tan triste...
 ¿Dónde vas a arar, majo,
 que vas tan triste?
 Que tú me diste...,
 a sembrar calabazas
 que tú me diste.

(*) Medida aproximada para una declamación libre.

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de Mi, transcrito en altura Sol, con el segundo grado inestable.

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal pertenece al género de canciones de trabajo, puesto que es una canción de arada.

Estructura: Simple, ya que no existe ningún estribillo que se repita. La estructura de la tonada es la siguiente:

ABC ABC
abc def

Tonada 8 (nº302 del Cancionero)

REPERTORIO MUSICAL DEL CICLO VITAL 617

Salada prenda, no llores, no

DE QUINTOS, SOLDADOS Y MILITARES

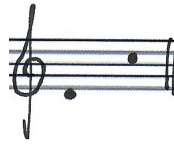
302 $\text{♩} = 66$

A - díos, que me voy ma - ña - na a la gue - rra de Me -
 li - lla a pe - le - ar con los ne - gros, a per -
 der a - lí la vi - da. Sa - la - da pren - da, no llo - res, no.
 No llo - res, pren - da del al - ma, no llo - res por - que yo
 llo - ro, aun - que a Me - li - lla me lle - ven a pe -
 le - ar con el mo - ro. Sa - la - da pren - da, no llo - res, no.

<p>Adiós, que me voy mañana a la guerra de Melilla a pelear con los negros, a perder allí la vida.</p> <p><i>Salada prenda, no llores no. No llores, prenda del alma, no llores porque yo lloro, aunque a Melilla me lleven a pelear con el moro. Salada prenda, no llores, no.</i></p>	<p>Tengo de ponerte un ramo de rosas y de claveles; cuando venga de Melilla te lo pondré de laureles.</p> <p>Clavel y rosa encarnada, yo por eso no te olvido; tú no me olvides a mí, morena, es lo que te pido.</p>
---	--

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de La, transcrito en altura Mi, con inestabilidad en el tercer grado.

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal se encuadra dentro de las canciones correspondiente al ciclo vital, en particular, una canción de quintos.

Estructura: Compuesta, ya que existen diferentes estrofas que se van alternando con estribillo que aparece en cursiva. La estructura de la tonada es la siguiente:

$$\begin{array}{c} \overline{\underline{ABAB}} \\ abcd \end{array} \leftarrow \begin{array}{c} \overline{\underline{CAB'AB'C}} \\ efg hij \end{array}$$

Tonada 9 (nº307 del Cancionero)

622 CANCIONERO BÁSICO DE CASTILLA Y LEÓN

A la gala de la rosa bella

307 $\text{♩} = 88$

Re - vo - la - ba la pa - lo - ma por em -
 ci - ma de u - na es - co - ba y en su len - gua - je de -
 cí - a ¡Que vi - va el no - vio y la no - via! A la
 ga - la de la ro - sa be - lla, a la ga - la del ga - lán que
 lle - va; a la ga - la de la be - lla ro - sa, a la
 ga - la del ga - lán que la go - za. És - ta sí que
 no - via que no la pa - sa - da, és - ta sí que no - via que lle - va
 ga - la. És - ta sí que no - via, la pa - sa - da no,
 és - ta sí que no - via que lle - va la flor.

REPERTORIO MUSICAL DEL CICLO VITAL 623

Revolaba la paloma
 por encima de una escoba
 y en su lenguaje decía:
 ¡Que viva el novio y la novia!

Toma, niña, esta manzana,
 repártela por la mesa,
 da primero a tu marido,
 que así lo manda la Iglesia.

Mira, novio, por la mesa
 y allí verás una rosa
 que a la puerta de la iglesia
 te la dieron por esposa.

Por esta sala cuadrada
 volarcea una paloma:
 esta noche pega un vuelo
 y deja a su madre sola.

Aquel pajarito, madre,
 que cantaba encima el puente,
 en su lenguaje decía:
 ¡Que vivan los asistentes!

Qué bonita está la parra
 con los racimos colgando:
 más bonita es una noche
 para los recién casados.

Al levantar de la mesa
 y al doblar de los manteles,
 si han comido los señores,
 buen provecho le haga a ustedes.

A la gala de la rosa bella,
 a la gala del galán que la lleva;
 a la gala de la bella rosa,
 a la gala del galán que la geza.

OTROS FINALES

Ésta sí que es novia, / que no la pasada,
 ésta sí que es novia / que lleva la gala.
 Ésta sí que es novia, / la pasada no,
 ésta sí que es novia / que lleva la flor.

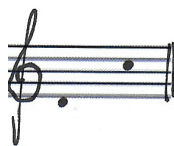
De la buena parra / sale el buen racimo,
 de buena familia / llevas el marido.
 De la buena parra / sale el moscatel,
 de buena familia / llevas la mujer.

Cuatro toledanas / vienen de Logroño
 a servir la mesa / a los señores novios.
 Cuatro toledanas / y una cerdobosa,
 cuatro toledanas / les sirven la mesa.

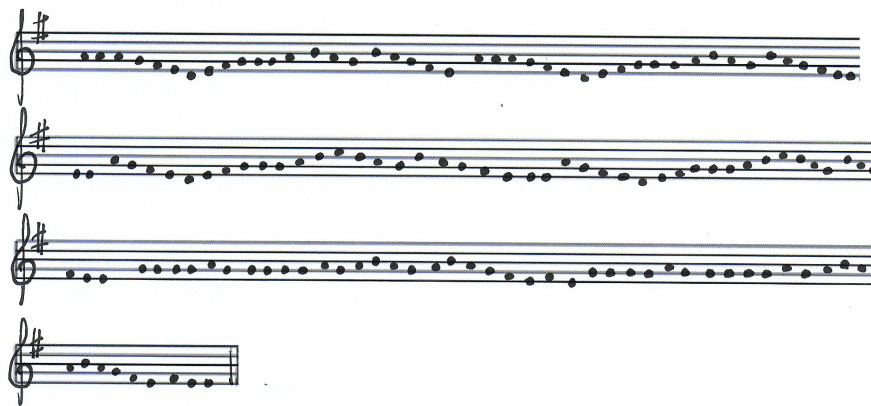
La novia está mala, / está triste y llena
 y el novio le dice: / ¿Qué tienes, paloma?
 -Yo no tengo nada / ni nada me duele,
 sólo estoy sintiendo / la noche que viene.

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de La, transcrito en altura Mi, sin cromatizaciones ni inestabilidades en ningún grado.

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal se encuadra dentro de las canciones correspondiente al ciclo vital, en particular, una canción de boda.

Estructura: Compuesta, ya que existen diferentes estrofas que se van alternando con estribillo que aparece en cursiva. La estructura de la tonada es la siguiente:

$$\begin{array}{ccc} \underline{\underline{ABAB}} & \underline{\underline{A'B'A'B'}} & CDCD \\ abcd & efgh & ijkl \end{array}$$

Tonada 10 (nº316 del Cancionero)

REPERTORIO MUSICAL DE LA RUEDA DEL AÑO

641

ÁGUEDAS

Las Águedas revoltosas

316 

Por es - ta ca - lle que va - mos ti - ran a - gua y sa - len
ro - sas, por es - ta ca - lle que va - mos
ti - ran a - gua y sa - len ro - sas y por e - so a - quí ve -
ni - mos las Á - gue - das ro - vol - to - sas,
y por e - so a - quí ve - ni - mos las Á - gue - das re - vol -
to - sas.

Por esta calle que vamos
tiran agua y salen rosas, (bis)
y por eso aquí venimos
las Águedas revoltosas. (bis)

Hilo, hilo, hilo, hilo,
lana, lana, lana, lana,
a Santa Águeda bendita
la sacamos las hermanas.

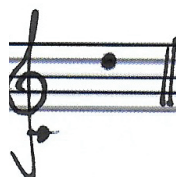
Dame de fumar si quieres,
que yo no voy al estanco:
hay una perra que muerde
cuando a la estanquera llamo.

Aunque no comamos pan,
todo el año hemos comido;
la cuestión es divertirnos,
que nos sirvan los maridos.

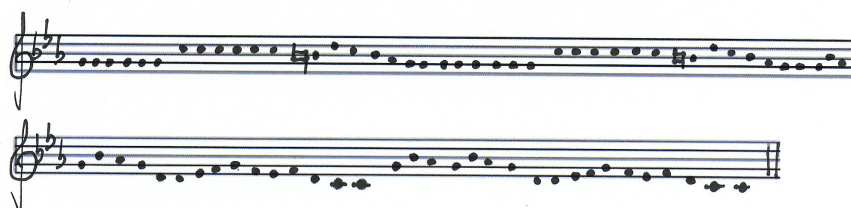
Los zapatos tengo rotos,
¿con qué los remendaré?
Con algunas malas lenguas
que dicen lo que no es.

Sistema melódico: Esta melodía está escrita siguiendo el modo de La, transcrito en altura Mi, sin cromatizaciones ni inestabilidades en ningún grado.

Ámbito Melódico:



Perfil Melódico:



Género: Esta pieza de carácter vocal se encuadra dentro de las canciones correspondiente al ciclo anual, en particular, una canción de Águedas.

Estructura: Compuesta, ya que existen diferentes estrofas que se van alternando con varios estribillos que aparecen en cursiva. La estructura de la tonada es la siguiente:

ABAB CDCD
abab cdc

Análisis Rítmico de las tonadas

Presentamos una tabla con las estructuras rítmicas en cuanto a tipo de estrofa, compás y tipo de incisos:

CUARTETAS OCTOSILÁBICAS

Fórmulas Ternarias

de incisos sueltos

de valores divididos

Nº

Tonada

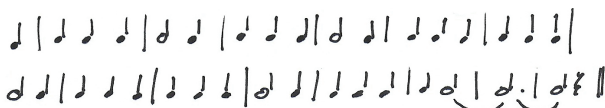
10



316

de incisos unidos

de valores simples

6  261

Fórmulas Binarias

de incisos unidos

de valores divididos

8  302

9 307

Fórmulas Binario-compuestas

de incisos sueltos

de valores divididos

3  142

Ritmo Libre

1 12-III

SEGUIDILLAS

Fórmulas Binarias

de incisos unidos

de valores divididos

4  196

Otras Mensuras

Fórmulas Binario-compuestas

de incisos unidos

de valores divididos

2  105

Cuarteta de 10 + 10 + 8+ 10

de incisos unidos

de valores divididos

5  251

Cuarteta 8+5+8+6

Ritmo Libre

7 Sixtilla 5+7+5+5+7+5 272

References

Debido a la reciente aparición de este campo de investigación que combina la musicología con la informática, la mayor parte de la bibliografía aquí referenciada corresponde a artículos de investigación publicados en revistas online o en conferencias de reciente aparición. Así pues, la existencia de documentos de divulgación y monografías es bastante escasa.

Por este motivo, se ha decidido ordenar la bibliografía alfabéticamente, evitando realizar agrupaciones por tipo de publicación para evitar que queden grupos muy descompensados.

- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI communications*, 7(1), 39–59.
- Abe, C., & Ito, A. (2012). A Japanese lyrics writing support system for amateur songwriters. In *Proceedings of 4th asia-pacific signal and information processing association annual summit and conference*. Hollywood, CA, USA.
- Ackerman, M., & Loker, D. (2017). Algorithmic songwriting with ALYSIA. In *Computational intelligence in music, sound, art and design - 6th international conference, evomusart 2017, amsterdam, the netherlands, april 19-21, 2017, proceedings* (pp. 1–16). Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-55750-2_1 doi: 10.1007/978-3-319-55750-2_1
- Allan, M., & Williams, C. (2005). Harmonising chorales by probabilistic inference. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 25–32).
- Anderson, W. D. (1994). Music and musicians in ancient greece.
- Barbieri, G., Pachet, F., Roy, P., & Esposti, M. D. (2012). Markov constraints for generating lyrics with style. In *Proceedings of 20th european conference on artificial intelligence* (pp. 115–120). Montpellier, France: IOS Press.
- Bardoux Lovén, C. (2015). Disjunct intervals within melody: Meanings and functions through schenkerian and post-schenkerian theories. In *15th international music theory conference, principles of music composing: Phenomenon of melody, vilnius, lithuania, october 14-16, 2015* (pp. 27–35).

- Berdahl, E., Holmes, D., & Sheffield, E. (2016). Wireless vibrotactile tokens for audio-haptic interaction with touchscreen interfaces. In *Proceedings of the international conference on new interfaces for musical expression* (Vol. 16, pp. 5–6). Brisbane, Australia: Queensland Conservatorium Griffith University.
- Bergsland, A., & Wechsler, R. (2015). Composing interactive dance pieces for the motioncomposer, a device for persons with disabilities. In *Proceedings of the international conference on new interfaces for musical expression* (pp. 20–23).
- Bernardes, G., Cocharro, D., Caetano, M., Guedes, C., & Davies, M. E. (2016). A multi-level tonal interval space for modelling pitch relatedness and musical consonance. *Journal of New Music Research*, 45(4), 281–294.
- Boden, M. (1987). *Artificial intelligence and natural man*. Cambridge: MIT Press.
- Bown, O. (2011). Experiments in modular design for the creative composition of live algorithms. *Computer Music Journal*, 35.
- Casella, P., & Paiva, A. (2001). Magenta: An architecture for real time automatic composition of background music. In *Intelligent virtual agents* (pp. 224–232). Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/89ea28gq2pcbmylp.pdf> doi: 10.1007/3-540-44812-8_18
- Chalmers, J. H. (1993). *Divisions of the tetrachord: a prolegomenon to the construction of musical scales*. Frog Peak Music.
- Chew, E. (2007). Out of the grid and into the spiral: Geometric interpretations of and comparisons with the spiral-array model. *Computing in Musicology*, 15, 51–72.
- Cohen, H. (1995). The further exploits of aaron, painter. *Stanford Humanities Review*, 4(2), 141–158.
- Cohn, R. (1997). Neo-riemannian operations, parsimonious trichords, and their “tonnetz” representations. *Journal of Music Theory*, 1–66.
- Collins, T., Laney, R., Willis, A., & Garthwaite, P. H. (2016). Developing and evaluating computational models of musical style. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 30(1), 16–43.
- Colton, S., & Wiggins, G. A. (2012). Computational creativity: The final frontier? In *Frontiers in artificial intelligence and applications* (Vol. 242, pp. 21–26). doi: 10.3233/978-1-61499-098-7-21
- Comotti, G., Tarazona, A. R., & Piccardo, R. F. (1986). *Historia de la música: La música en la cultura griega y romana*. Turner.
- Concepción, E., Gervás, P., & Méndez, G. (2018). Afanasyev: A collaborative architectural model for automatic story generation. In *Proceedings of the 5th aish symposium on computational creativity*. University of Liverpool, UK.
- Conklin, D. (1990). Prediction and entropy of music.
- Cope, D. (1987). An expert system for computer-assisted composition. *Computer Music Journal*, 11(4), 30–46.

- Csikszentmihalyi, M. (1997). *Flow and the psychology of discovery and invention*.
- Dartnall, T. (2013). *Artificial intelligence and creativity: An interdisciplinary approach* (Vol. 17). Springer Science & Business Media.
- de Colonia, F., Reaney, G., & Gilles, A. (1974). *Ars cantus mensurabilis*. American Institute of Musicology.
- de Laborde, M. (1780). *Essai sur la musique ancienne et moderne* (Vol. 3). de l'imprimerie de Ph.-D. Pierres... et se vend chez Eugene Onfroy.
- Delgado, M., Fajardo, W., & Molina-Solana, M. (2009). Inmamusys: Intelligent multiagent music system. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4574–4580.
- Desmond, K. (2015). Did vitry write an ars vetus et nova? *The Journal of Musicology*, 32(4), 441–493.
- Dias, R., Marques, T., Sioros, G., & Guedes, C. (2012). Gimmedablues: an intelligent jazz/blues player and comping generator for ios devices. In *Proc. conf. computer music and music retrieval (cmmr 2012)*. london.
- Díaz Viana, L., & Manzano Alonso, M. (1989). Cancionero popular de castilla y león.
- Dubnov, S., & Assayag, G. (2013). Memex and composer duets: computer-aided composition using style mixing. *Open Music Composers Book*, 2.
- Ebcioğlu, K. (1988). An expert system for harmonizing four-part chorales. *Computer Music Journal*, 12, 43-51.
- Ebcioğlu, K. (1990). An expert system for harmonizing chorales in the style of j.s. bach. *The Journal of Logic Programming*, 8(1), 145–185.
- Eigenfeldt, A., Bown, O., & Carey, B. (2015). Collaborative composition with creative systems: Reflections on the first musebot ensemble. In *Proceedings of the sixth international conference on computational creativity june* (p. 134).
- Eigenfeldt, A., & Pasquier, P. (2013). Considering vertical and horizontal context in corpus-based generative electronic dance music. In *Proceedings of the fourth international conference on computational creativity* (p. 72).
- Fukumoto, M. (2014). Creation of music chord progression suited for user's feelings based on interactive genetic algorithm. In *3rd international conference on advanced applied informatics (iaiaai)* (p. 757-762).
- Gervás, P. (2000). WASP: Evaluation of different strategies for the automatic generation of spanish verse. In *Proceedings of aish'00 symposium on creative & cultural aspects and applications of ai & cognitive science* (pp. 93–100). Birmingham, UK.
- Glareanus, H. L. (1965). *Dodekachordon*. Heinrich Petri.
- Gonçalo Oliveira, H., Hervás, R., Díaz, A., & Gervás, P. (2014, June). Adapting a generic platform for poetry generation to produce spanish poems. In *Proceedings of 5th international conference on computational creativity*. Ljubljana, Slovenia.
- González, J. Á. G., & Martín, A. P. (1996). La educación estética en la institución libre de enseñanza. *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*(27),

- 151–166.
- Gonzalez-Agirre, A., Laparra, E., & Rigau, G. (2012, LREC'12). Multilingual Central Repository version 3.0. In *Proceedings of the 8th international conference on language resources and evaluation* (pp. 2525–9). ELRA.
- Gonçalo Oliveira, H. (2012, August). PoeTryMe: a versatile platform for poetry generation. In *Proceedings of the ecai 2012 workshop on computational creativity, concept invention, and general intelligence (c3gi at ecai 2012)*. Montpellier, France. Retrieved from http://eden.dei.uc.pt/~hroliv/pubs/GoncaloOliveira2012_c3gi_CRC.pdf
- Gonçalo Oliveira, H. (2015, December). Tra-la-lyrics 2.0: Automatic generation of song lyrics on a semantic domain. *Journal of Artificial General Intelligence*, 6(1), 87–110. (Special Issue: Computational Creativity, Concept Invention, and General Intelligence)
- Gonçalo Oliveira, H. (2017). A survey on intelligent poetry generation: Languages, features, techniques, reutilisation and evaluation. In *Proceedings of 10th international conference on natural language generation* (pp. 11–20). Santiago de Compostela, Spain: ACL Press. Retrieved from <http://www.aclweb.org/anthology/W17-3502>
- Gonçalo Oliveira, H., Mendes, T., & Boavida, A. (2017, July). Towards finer-grained interaction with a Poetry Generator. In *Proceedings of prosocrates 2017: Symposium on problem-solving, creativity and spatial reasoning in cognitive systems* (pp. 1–10). Delmenhorst, Germany: CEUR-WS.org. Retrieved from <http://ceur-ws.org/Vol-1869/paper-1.pdf>
- Gonçalo Oliveira, H. R., Cardoso, F. A., & Pereira, F. C. (2007, June). Tra-la-Lyrics: an approach to generate text based on rhythm. In *Proceedings of the 4th international joint workshop on computational creativity* (pp. 47–55). London, UK: IJWCC 2007. Retrieved from <http://eden.dei.uc.pt/~hroliv/pubs/GoncaloOliveiraetalIJWCC2007-reformatted.pdf>
- Google Inc. (n.d.-a). *DeepDream Project*. <https://github.com/google/deepdream>. (Online; accessed 9 March 2017)
- Google Inc. (n.d.-b). *Magenta Music Project*. <https://github.com/tensorflow/magenta>. (Online; accessed 9 March 2017)
- Harbinson, D. (1971). The hymn 'ut queant laxis'. *Music & Letters*, 52(1), 55–58.
- Harte, C., Sandler, M., & Gasser, M. (2006). Detecting harmonic change in musical audio. In *Proceedings of the 1st acm workshop on audio and music computing multimedia* (pp. 21–26).
- Hashimoto, W., Nakao, Y., Nakaizumi, F., Inoue, Y., & Oshuga, M. (2007). Implementation of a drafting-type force display. In *The proceedings of the japan virtual reality society conference* (Vol. 12).

- Holtzman, S. (1981). Using generative grammars for music composition. *Computer Music Journal*, 5(1), 51–64.
- Hoover, A. K., Szerlip, P. A., & Stanley, K. O. (2011). Interactively evolving harmonies through functional scaffolding. In *Proceedings of the 13th annual conference on genetic and evolutionary computation* (pp. 387–394).
- Huber, D. M. (2007). *The MIDI manual: a practical guide to MIDI in the project studio*. Taylor & Francis.
- Huron, D. (1994). Interval-class content in equally tempered pitch-class sets: Common scales exhibit optimum tonal consonance. *Music Perception*, 289–305.
- Jungleib, S. (1996). *General Midi*. AR Editions, Inc.
- Kirke, A., & Miranda, E. (2015). A multi-agent emotional society whose melodies represent its emergent social hierarchy and are generated by agent communications. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(2), 16.
- Krumhansl, C. L. (1990). *Cognitive foundations of musical pitch*. Oxford University Press.
- Lacomme, L., Demazeau, Y., & Dugdale, J. (2010). Clic: an agent-based interactive and autonomous piece of art. In *Advances in practical applications of agents and multiagent systems* (pp. 25–34). Springer.
- Lamb, C., Brown, D. G., & Clarke, C. L. (2017). A taxonomy of generative poetry techniques. *Journal of Mathematics and the Arts*, 11(3), 159–179. doi: 10.1080/17513472.2017.1373561
- Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). *A generative theory of tonal music*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- López-Ortega, O., & López-Popa, S. I. (2012). Fractals, fuzzy logic and expert systems to assist in the construction of musical pieces. *Expert Systems with Applications*, 39(15), 11911–11923.
- Lösch, U., Dugdale, J., & Demazeau, Y. (2009). Requirements for supporting individual human creativity in the design domain. In *Entertainment computing–icec 2009* (pp. 210–215). Springer.
- Macedo, L., & Cardoso, A. (2001). Sc-eune-surprise/curiosity-based exploration of uncertain and unknown environments. In *Proceedings of the aisb'01 symposium on emotion, cognition and affective computing* (pp. 73–81).
- Macedo, L., & Cardoso, A. (2004). Exploration of unknown environments with motivational agents. In *Proceedings of the third international joint conference on autonomous agents and multiagent systems-volume 1* (pp. 328–335).
- Machado, P., Romero, J., Santos, M. L., Cardoso, A., & Manaris, B. (2004). Adaptive critics for evolutionary artists. In *Applications of evolutionary computing* (pp. 437–446). Springer.
- Macías, C. (2016). La música de los clásicos. versiones de la poesía antigua, de la edad

- media al renacimiento tardío. *Cuadernos de Filología Clásica. Estudios Griegos e Indoeuropeos*, 26, 293–297.
- Mandanici, M., & Canazza, S. (2014). The "hand composer": gesture-driven music composition machines. In *Proc. of 13th intl. conf. on intelligent autonomous systems* (pp. 15–192014).
- Manurung, H. M. (2003). *An evolutionary algorithm approach to poetry generation* (Unpublished doctoral dissertation). University of Edimburgh, Edimburgh, UK.
- Manzano Alonso, M. (2001). *Cancionero popular de burgos*.
- Manzano Alonso, M., & Barja, Á. (1993). *Cancionero leonés: Tonadas de baile* (Vol. 1). León: Diputación Provincial de León.
- Marsden, A. (2000). Music, intelligence and artificiality. In *Music and artificial intelligence* (p. 15–28). Miranda ed., Amsterdam: Harwood.
- Martin, A., Jin, C. T., & Bown, O. (2011). A toolkit for designing interactive musical agents. In *Proceedings of the 23rd australian computer-human interaction conference* (pp. 194–197).
- Matos, M. G. (1944). *Lírica popular de la alta extremadura: dibujos de f. lancho*. Madrid: Union musical española.
- Matos, M. G. (1963). Pervivencia en la tradición actual de canciones populares recogidas en el siglo xvi por salinas en su tratado "de musica libri septem". *Anuario musical*, 18, 67.
- McVicar, M., Fukayama, S., & Goto, M. (2014). Autorhythmuitar: Computer-aided composition for rhythm guitar in the tab space. *ICMCSMC (to appear)*.
- Meniński, F., Jenisch, B., Stachowski, S., von Klezl, F., & Ölmez, M. (2000). *Thesaurus linguarum orientalium turcicae-arabicae-persicae: Von mim bis je. Simurg*.
- Miller, S. D. (1973). Guido d'arezzo: Medieval musician and educator. *Journal of Research in Music Education*, 21(3), 239–245.
- Miranda, E. R. (1993). Cellular automata music: An interdisciplinary project. *Journal of New Music Research*, 22(1), 3–21.
- Mocholi, J. A., Martinez, V., Jaen, J., & Catala, A. (2012). A multicriteria ant colony algorithm for generating music playlists. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 2270–2278.
- Monteith, K., Martinez, T., & Ventura, D. (2012). Automatic generation of melodic accompaniments for lyrics. In *Proceedings of the international conference on computational creativity* (pp. 87–94).
- Moroni, A., Manzolli, J., Von Zuben, F., & Gudwin, R. (2000). Vox populi: An interactive evolutionary system for algorithmic music composition. *Leonardo Music Journal*, 10, 49–54.
- Morreale, F., De Angeli, A., Masu, R., Rota, P., & Conci, N. (2014). Collaborative creativity: The music room. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(5),

- 1187–1199.
- Mostafa, M. M., & Billor, N. (2009). Recognition of western style musical genres using machine learning techniques. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11378–11389.
- Navarro, M., Caetano, M., Bernardes, G., de Castro, L. N., & Corchado, J. M. (2015). Automatic generation of chord progressions with an artificial immune system. In *Evolutionary and biologically inspired music, sound, art and design* (pp. 175–186). Springer.
- Olmeda, F. d. (1975). Folk-lore de castilla o cancionero popular de burgos [1903].
- Pachet, F. (2002). Playing with virtual musicians: The continuator in practice. *IEEE MultiMedia*, 9(3), 77–82.
- Pachet, F. (2003). The continuator: Musical interaction with style. *Journal of New Music Research*, 32(3), 333–341.
- Pachet, F., & Roy, P. (2011). Markov constraints: steerable generation of Markov sequences. *Constraints*, 16(2), 148–172.
- Palacios, J. C. A. (2003). *El canto gregoriano: historia, liturgia, formas*-. Alianza Editorial.
- Palisca, C. V. (1985). *Humanism in italian renaissance musical thought*. Yale University Press.
- Papadopoulos, A., Roy, P., & Pachet, F. (2016). Assisted lead sheet composition using flowcomposer. In *International conference on principles and practice of constraint programming* (pp. 769–785).
- Pearce, M., Meredith, D., & Wiggins, G. (2002). Motivations and methodologies for automation of the compositional process. *Musicae Scientiae*, 6(2), 119–147.
- Pearce, M. T., Müllensiefen, D., & Wiggins, G. A. (2010). The role of expectation and probabilistic learning in auditory boundary perception: A model comparison. *Perception*, 39(10), 1367–1391.
- Pearce, M. T., & Wiggins, G. A. (2007). Evaluating cognitive models of musical composition. In *Proceedings of the 4th international joint workshop on computational creativity* (pp. 73–80).
- Pérez Rivera, M. D. (2016). *El repertorio vocal profano en castilla y león a través del trabajo de campo realizado para elaborar los programas raíces y el candil de radio nacional de españa. 1985-1994* (Vol. 401). Ediciones Universidad de Salamanca.
- Preciado, D. (1987). Canto tradicional y polifonía en el primer renacimiento español. In *España en la música de occidente: actas del congreso internacional celebrado en salamanca, 29 de octubre-5 de noviembre de 1985, " año europeo de la música"* (pp. 171–184).
- Ramakrishnan A, A., & Devi, S. L. (2010). An alternate approach towards meaningful lyric generation in tamil. In *Proceedings of naacl hlt 2010 2nd workshop on*

- computational approaches to linguistic creativity* (pp. 31–39). Los Angeles, CA, USA: ACL Press. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1860649.1860654>
- Rastall, R. (1983). *The notation of western music: An introduction*. JM Dent & Sons.
- Reese, G. (1940). *Music in the middle ages: with an introduction on the music of ancient times*. New York: WW Norton.
- Reyes, P. R. (2001). Eurípides y la música del drama ático: una revisión del papiro del orestes. *Myrtia*, 16, 47–75.
- Riemann, H. (1893). *Vereinfachte harmonielehre*. Augener.
- Riesbeck, C. K., & Schank, R. C. (2013). *Inside case-based reasoning*. Psychology Press.
- Roads, C., & Wieneke, P. (1979). Grammars as representations for music. *Computer Music Journal*, 3(1), 48–55.
- Sans, J. F. (2002). *Evolución de la notación rítmica*. Universidad Central de Venezuela.
- Schneider, M. (1953). ¿existen elementos de música popular en el” cancionero musical de palacio”? *Anuario musical*, 8, 177.
- Schönberg, A. (1978). *Theory of harmony*. Berkeley, US: Univ of California Press.
- Singh, D., Ackerman, M., & y Pérez, R. P. (2017). A ballad of the mexicas: Automated lyrical narrative writing. In *Proceedings of the 8th international conference on computational creativity* (pp. 229–236).
- Speer, R., Chin, J., & Havasi, C. (2017). Conceptnet 5.5: An open multilingual graph of general knowledge. In *Proceedings of 31st AAAI conference on artificial intelligence* (pp. 4444–4451). San Francisco, California, USA.
- Steedman, M. J. (1984). A generative grammar for jazz chord sequences. *Music Perception*, 2(1), 52–77.
- Thorogood, M., Pasquier, P., & Eigenfeldt, A. (2012). Audio metaphor: Audio information retrieval for soundscape composition. *Proc. of the Sound and Music Computing Cong.(SMC)*.
- Toivanen, J. M., Toivonen, H., & Valitutti, A. (2013, June). Automatical composition of lyrical songs. In *Proceedings of 4th international conference on computational creativity* (pp. 87–91). Sydney, Australia: The University of Sydney. Retrieved from <http://www.computationalcreativity.net/iccc2013/download/iccc2013-toivanen-toivonen-valitutti.pdf>
- Velardo, V., & Vallati, M. (2014). Automatic melody composition and evolution: a cognitive-based approach..
- Villoteau, G. A. (1817). *Recherches sur l’analogie de la musique avec les arts qui ont pour objet l’imitation du langage: pour servir d’introduction à l’étude des principes naturels de cet art* (Vol. 2). Impr. impériale.
- Waite, W. G. (1960). Johannes de garlandia, poet and musician. *Speculum*, 35(2), 179–195.

- Watanabe, K., Matsubayashi, Y., Inui, K., Nakano, T., Fukayama, S., & Goto, M. (2017). LyriSys: An interactive support system for writing lyrics based on topic transition. In *Proceedings of the 22nd international conference on intelligent user interfaces* (pp. 559–563). New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/3025171.3025194
- Znidarsic, M., Cardoso, A., Gervás, P., Martins, P., Hervás, R., Alves, A. O., . . . Lavrac, N. (2016). Computational creativity infrastructure for online software composition: A conceptual blending use case. In *Proceedings of the 7th international conference on computational creativity, upmc, paris, france, june 27 - july 1, 2016*. (pp. 371–379).