



Escuela
Politécnica
Superior

Generación de música ambiental de videojuegos por medio de composición algorítmica basada en el modo de juego



Grado en Ingeniería Multimedia

Trabajo Fin de Grado

Autor:

Raúl Ibarra Díez

Tutor/es:

José Manuel Iñesta Querada

Septiembre 2014



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Agradecimientos

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo.

En primer lugar a Jose Manuel Iñesta, por haberme dado total libertad para llevar a cabo la idea original del proyecto, y por su ayuda durante el transcurso del mismo.

También debo agradecer a mi familia y amigos, que aunque su participación no haya sido directa (o sí, Jose), han hecho que todo el esfuerzo invertido estos meses haya sido más llevadero.

Por último, no puedo dejar de dar las gracias Laura, cuya ayuda y ánimo han sido el motor que ha hecho posible todo esto.

Muchas gracias a todos.

Prólogo

El presente trabajo parte como una propuesta del autor a José Manuel Iñesta para la realización de un proyecto final de carrera que desarrollara una idea original del proyecto ABP finalizado ese mismo curso. El discurso de este proyecto es evidenciar las ventajas del uso de la composición algorítmica para generar música adaptativa en productos de ocio electrónico.

El desarrollo de este TFG tiene, de modo general, dos finalidades concretas:

- Estudio de la relación entre las emociones y los parámetros musicales que pueden sugerirlos.
- Desarrollo de un sistema de composición algorítmica para la generación de música ambiental basada en las emociones de un jugador durante una partida de un videojuego.

En esta memoria se tratará de guiar al lector por los capítulos necesarios para comprender la base desde la que se parte, adquirir unos conocimientos mínimos para un buen entendimiento del posterior análisis, y conocer el propio desarrollo del sistema propuesto, los resultados y conclusiones finales.

Por último, para poder dar acceso al sistema creado, se ha creado una web en la que es posible descargar el código fuente y visualizar una demostración del sistema en vídeo. La dirección de dicha página web es:

<http://grfia.dlsi.ua.es/cm/projects/>

Índice general

	Página
Contenidos	III
Índice de figuras	V
Índice de tablas	VII
I Introducción	1
I.1 Motivación	1
I.1.1 Objetivos y estructura	2
I.1.2 Bondades de la solución	3
I.2 Pequeña reseña histórica	4
I.3 Herramientas para el desarrollo del proyecto	7
I.3.1 Unity	7
I.3.2 openFrameworks	8
I.3.3 UDP	8
I.4 Antecedentes	9
II Conocimientos Previos	13
II.1 Teoría musical	13
II.2 Psicoacústica	16
II.3 Síntesis de sonido	21
II.4 Sistema de composición algorítmica	22
II.5 Modelos emocionales	23
III Análisis	27
III.1 Flujo del sistema	27
III.1.1 Input jugador	28
III.1.2 Emoción parametrizada	31
III.1.3 De la emoción a la composición	33
III.1.4 Composición algorítmica	39
III.1.5 Generación de la síntesis	41
IV Diseño	43
IV.1 Restricciones al diseño	43
IV.2 Creación del software	44

ÍNDICE GENERAL

IV.3 Interfaz	48
V Resultados	53
V.1 Datos de salida	53
VI Conclusiones	59
VI.1 Revisión de los objetivos iniciales	59
VI.2 Descripción del desarrollo del proyecto	60
VI.3 Trabajos futuros o mejoras	61
VI.4 Conclusiones del proyecto	62
Bibliografía	65

Índice de figuras

	Page
I.1	Máquina recreativa Pong junto a miembros del equipo de Atari 5
I.2	Videojuego Another World (1991) para Amiga 500, Amiga, Atari ST y MS-DOS. Uno de los primeros videojuegos con una banda sonora cinematográfica con ambientes de ciencia ficción (compositor Jean-François Freitas). 5
I.3	Pequeño estudio casero con diversos sintetizadores y consolas con las que generar música <i>Chiptune</i> 6
I.4	Interfaz de Unity 8
I.5	Retroalimentación propuesta por VALVe entre el videojuego y la respuesta fisiológica del jugador. 10
II.1	Escala Mayor diatónica sin alteraciones. 15
II.2	Psicoacústica: magnitudes físicas frente a cualidades subjetivas. 16
II.3	Bandas del espectro sonoro audible. 18
II.4	Notas del piano y su correspondiente frecuencia. Rangos de alturas de diferentes instrumentos. 18
II.5	Ejemplo de notación de métrica. En este caso 140 (bpm) \rightarrow (60/140) segundos cada negra. 19
II.6	Envoltentes de difetentes instrumentos. 20
II.7	Ejemplo de transposición (modificación en altura usando una relación de transposición) de muestras. 22
II.8	Ejemplo de distribución lineal decreciente. 23
II.9	Modelos de clasificación de emociones: A. Teoría discreta. B. Teoría dimensional. 24
II.10	Clasificación de emociones en el modelo dimensional. 25
II.11	Clasificación de emociones en un modelo híbrido discreto/dimensional. 25
III.1	Flujo de la aplicación 28
III.2	Repercusión en la emoción de la distancia hasta un enemigo. 29
III.3	Relación entre la cantidad de enemigos y la <i>actividad</i> 29

ÍNDICE DE FIGURAS

III.4	Ejemplo de diseño de nivel con zonas de interés emocional definidas.	30
III.5	Entrada de parámetros de juego al sistema.	31
III.6	Sistema de representación emocional con divisiones en áreas discretas.	32
III.7	Ejemplo de transición de emociones en el modelo híbrido. . .	33
III.8	Relación de consonancia musical y tempo con el estado emocional.	34
III.9	Intervalos distribuidos en la representación emocional. . . .	36
III.10	Tonalidades distribuidas según afinidad a emociones.	37
III.11	Ajuste de las probabilidades de los grados en una tonalidad. . .	39
III.12	Diagrama de probabilidades de las pistas armónica y melódica.	40
III.13	Ejemplo de cómo la probabilidad de silencios del sistema favorece la creación de frases melódicas.	41
IV.1	Flujo del software	44
IV.2	Diagrama de bloques del sistema general.	45
IV.3	Funcionamiento de la conexión UDP.	45
IV.4	Diagrama de clases de la aplicación.	47
IV.5	Interfaz del script de Unity para la conexión UDP.	48
IV.6	Interfaz de Unity durante la demostración de tensión.	49
IV.7	Interfaz de Unity durante la demostración de alegría.	49
IV.8	Captura de la interfaz de la aplicación de composición algorítmica.	50
V.1	Ejemplo de partitura de salida del sistema con valores <i>ánimo</i> = 0 y <i>actividad</i> = 0 (valores neutros en ambos casos). . .	53
V.2	Ejemplo de transición de <i>ánimo</i> = -10 (izquierda) a <i>ánimo</i> = +10 (derecha).	54
V.3	Partitura de ejemplo de salida. Transición entre calma, satisfacción y sorpresa.	55
V.4	Partitura de ejemplo de salida. Transición entre enfado, miedo, disgusto y aburrimiento.	56
V.5	Ejemplo de recorrido en la representación híbrida del modelo emocional.	57

Índice de cuadros

	Page
II.I Nomenclatura de los grados de una tonalidad	14
II.II Clasificación de los intervalos, en función de los grados y la distancia en semitonos entre los dos sonidos que lo componen.	17
II.III Ejemplo de tabla de probabilidades.	23
III.I Relación de consonancia de los intervalos armónicos.	34
III.II Características emocionales de los intervalos armónicos.	35
III.III Características emocionales de la tonalidad.	38
III.IV Tabla de probabilidades de cada grado melódico.	40

‘Aquello que tiene importancia en la música moderna no es lo que puedas escribir, las letras y la tonalidad, sino el resto - la textura, la atmósfera, las referencias y las asociaciones.’

Brian Eno



Introducción

La joven industria del videojuego ha crecido de manera exponencial en los últimos años, y con ella el desarrollo y evolución de los campos que componen una obra de este sector. Es evidente que no todas las ramas del desarrollo han progresado a la misma velocidad. El estudio y mejora del apartado visual es el ejemplo más claro de ello, ya que ha sufrido un impresionante proceso evolutivo a lo largo de la historia debido a su fuerte peso en la eficacia inmersiva. Sin embargo, el avance en el campo sonoro no ha sido tan acusado, a pesar del gran impacto que puede causar una banda sonora en la experiencia de juego.

Por otra parte, la componente no lineal de estos productos ha llevado a los diseñadores a crear nuevas formas de composición en las que el sonido debe cambiar dinámicamente en función de la acción. Es aquí donde centraremos este proyecto, concretamente en la generación adaptativa de un marco conceptual a través del sonido. Para ello nos centraremos en un apartado muy concreto de la banda sonora: la música ambiental.

I.1 Motivación

La música ambiental en los videojuegos puede considerarse el lienzo sobre el que se apoyan otros sonidos como los diálogos, los efectos o incluso la música melódica. Sin embargo, podemos asegurar que esta capa sonora es la contribuyente más importante a la hora de conseguir una mayor inmersión y potencial interactivo en la experiencia de juego.

I.1. MOTIVACIÓN

Históricamente el género, salvo excepciones [I.4], ha consistido en composiciones más o menos complejas que no van más allá de *loops*¹ de dos o tres minutos en los que nada tenían que ver las acciones del jugador, ni mucho menos atraían su interés durante la partida o *gameplay*². Esto ha tenido una mínima importancia hasta que la narrativa de las obras cobra entidad suficiente como para influir en la percepción de la interacción con el videojuego.

En las producciones modernas se tiene muy en cuenta el concepto de inmersión. Es esencial encontrar un compromiso entre escenas de acción, exploración y calma, en donde el jugador participará de manera directa con los elementos de su alrededor. Y es aquí donde la música ambiental genera coherencia y continuidad.

El proyecto retomará la tarea que se inició con los primeros sistemas de generación de música dinámica para videojuegos, y que poco a poco ha ido evolucionando para convertirse en una parte indispensable en un motor de sonido sofisticado.

Se desarrollará un sistema capaz de recoger datos relevantes de una partida, que se utilizarán para definir la emoción del jugador en todo momento, para generar en tiempo real música ambiental por medio de composición algorítmica.

I.1.1 Objetivos y estructura

Con este trabajo se pretende estudiar las relaciones entre emociones durante un videojuego y los parámetros psicoacústicos de la música, para desarrollar un sistema de composición algorítmica que actúe de manera consecuente a esta relación.

Los objetivos principales y, a la vez, estructura general que seguiremos durante el presente proyecto es la que sigue:

- Demo técnica simple para lectura de parámetros de juego

Con este primer punto se muestra un pequeño ejemplo de escena de videojuego en la que se dan las condiciones necesarias para generar situaciones emocionales diferenciadas. Es importante destacar que se trabaja sobre un género en concreto, pero que como veremos más adelante, permitiremos extrapolar según las necesidades del diseñador.

¹Audio preparado para ser repetido.

²Conjunto de acciones que puede realizar un jugador para interactuar con el juego o la forma en la que este interactúa con el propio jugador.

- Recepción de datos y parametrización de la emoción

Comunicaremos la aplicación sobre la que trabaja el juego con la desarrollada para este proyecto, y así obtener datos en tiempo real del comportamiento del jugador. Una vez procesada la información se inferirá la emoción actual de una manera no discreta, para así tener una mayor casuística en la composición final.

- Relación entre estado emocional y parámetros psicoacústicos/musicales

Con esta parte del proyecto se persigue establecer una correspondencia entre el estado emocional del jugador, obtenido en el apartado anterior, y los parámetros de la composición final según las pistas definidas. Se ahondará en la teoría musical necesaria para justificar esta correlación.

- Composición y síntesis

Una vez determinados los parámetros psicoacústicos y musicales, será necesario elegir un método de composición algorítmica adecuado para generar el sonido ambiente. La síntesis se realizará mediante el uso de *samples* o muestras con diferentes características tímbricas según la intención de la pista concreta.

- Interfaz de visualización

Finalmente, para poder comprobar el estado actual del sistema se desarrollará una interfaz en la que mostrar los parámetros en tiempo real. Se dividirá en tres partes: la emoción parametrizada, parámetros psicoacústicos/musicales y representación visual de las pistas.

I.1.2 Bondades de la solución

Al haber estudiado las diferentes opciones actuales [I.4] de sonido dinámico en los videojuegos, este proyecto propone una solución diferente a modo de primera aproximación.

El presente sistema proporciona un motor de sonido, independiente de la plataforma de juego, con el que generar el marco ambiental sonoro según el estado emocional del jugador. Además, esta generación se lleva a cabo por medio de un sistema de composición algorítmica funcionando en tiempo real, con lo que se proporciona así una experiencia sonora diferente a cada partida.

Gracias a la herramienta de comunicación estándar utilizada [I.3.3], al motor de videojuegos [I.3.1] que se ha utilizado para la demostración y a las librerías de código abierto [I.3.2], se permite modificar el sistema de una manera sencilla para obtener diferentes resultados:

I.2. PEQUEÑA RESEÑA HISTÓRICA

- Definición de los parametros que determinan la emoción

Es evidente que no todos los géneros de videojuegos poseen las mismas mecánicas. Ni siquiera dentro de una misma categoría es una buena señal encontrar analogías demasiado evidentes con otros títulos.

Es por eso que el sistema deja abierta a modificación la lista de los elementos del juego influyentes en el cálculo de la emoción. Tanto desde el motor de videojuegos escogido para el proyecto como desde cualquier otro utilizando el mismo protocolo de comunicación.

Así, un diseñador podría escoger que en un juego de, por ejemplo, puzzles a contrarreloj es esencial establecer una correlación entre la tensión del jugador y el tiempo restante para acabar la partida.

- Definición de la síntesis y las pistas de la composición

Es inevitable dejar una "puerta abierta" en el apartado de la síntesis y la cantidad de instrumentos en el sistema. Esta primera aproximación generará por medio de síntesis una serie de pistas definidas por el autor del proyecto, pero esto puede no concordar con la idea del diseñador de otro videojuego.

Como cualquier sistema de composición algorítmica, puede llegar a servir de inspiración al diseñador sonoro para llegar a otras conclusiones. Tanto las sensaciones que produce un sonido ambiental como las de un jugador a lo largo de una partida son conceptos complejos de parametrizar, y es por eso que la herramienta propuesta requiere un proceso de reflexión y ensayo.

I.2 Pequeña reseña histórica

La historia de la música en los videojuegos siempre ha estado ligada a la evolución de las posibilidades de la síntesis sonora, por lo que es importante conocer el progreso en paralelo de ambos campos.

Si bien en los inicios de la industria del ocio electrónico, en los años 1970, se intentaba almacenar la música en medios físicos analógicos como casetes o vinilos, pronto se pivotaría hacia la generación de los efectos sonoros a través de un microprocesador específico.

El primer videojuego comercial en incluir sonidos fue la máquina arcade³ Pong⁴ de Nolan Bushnell en 1972, en el que, a pesar de no disponer de chip dedicado, se consiguió dotar de un icónico sonido directamente con los condensadores y el generador de la placa. Posteriormente Namco sentaría precedente con su famoso Pac-Man incluyendo música transcrita a código.

³Máquina recreativa de videojuegos.

⁴http://www.gamasutra.com/view/feature/132293/the_history_of_pong_avoid_missing_.php?print=1

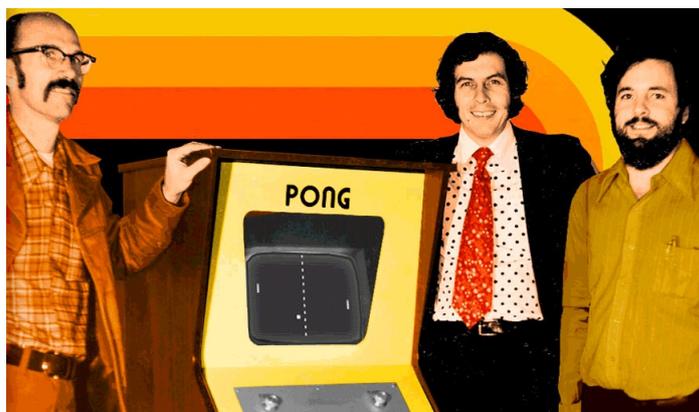


Figura I.1: Máquina recreativa Pong junto a miembros del equipo de Atari

Estos sonidos poseían multitud de limitaciones, como la posibilidad de generar únicamente dos tonos simultáneos en mejor de los casos (Atari 2600).

A medida que los microprocesadores mejoraban y el coste de producción bajaba, se fueron incorporando en prácticamente todas las consolas domésticas. Chips de síntesis FM⁵ y diferentes tecnologías, principalmente de Yamaha, permitieron a sistemas de juego como el Colecovision (1982), la Famicom/NES (1983) o el ordenador personal Commodore 64 (1982), reproducir muchos más tonos simultáneos o incluso aplicar primitivos efectos de filtrado y formas de onda (gracias al SID⁶).



Figura I.2: Videojuego Another World (1991) para Amiga 500, Amiga, Atari ST y MS-DOS. Uno de los primeros videojuegos con una banda sonora cinematográfica con ambientes de ciencia ficción (compositor Jean-François Freitas).

⁵Síntesis por modulación de frecuencias

⁶http://www.waitingforfriday.com/index.php/Commodore_SID_6581_Datasheet

pio de los videojuegos. Sin duda, el lanzamiento de *Sound Tracker* (1987) y su formato MOD¹¹, con el que componer fácilmente a partir de muestras digitalizadas, tuvo mucho que ver en el acercamiento de la composición musical para videojuegos al gran público y con ello la proliferación de obras del género.

Aún saliendo al mercado sistemas más avanzados, como PC Engine (NEC 1987) o Mega CD (Sega 1991), y con mejor soporte para el *streaming* de audio directo desde el soporte de lectura (discos ópticos de esta fecha en adelante), hoy en día el uso de la música muestreada y secuenciada sigue vigente en la composición de bandas sonoras para videojuegos. Así, podemos encontrar en la actualidad ambos enfoques (música original escrita para el juego y composiciones anteriores), habitualmente de manera simultánea, en el desarrollo de estas obras de ocio electrónico.

Gracias a la evolución tecnológica se ha democratizado el proceso de composición musical, permitiendo a los artista abstraerse de todo proceso o arquitectura informática para centrarse en la creación su obra.

I.3 Herramientas para el desarrollo del proyecto

En este apartado describiremos el software empleado para llevar a cabo el proyecto. Cabe destacar que las herramientas utilizadas son una elección personal del autor y no deben de ser consideradas inherentes al estudio que se realizará en capítulos posteriores.

I.3.1 Unity

Unity es un motor de videojuegos multiplataforma con una gran accesibilidad tanto para desarrolladores como diseñadores. Este software de Unity Technologies permite producir conceptos de manera rápida y visual, por lo que se ha convertido en el entorno de desarrollo preferido para muchos estudios independientes o de juegos *casuales*¹². Sin embargo, también se puede llegar a realizar proyectos de mayor envergadura, como así lo avala una gran lista¹³ de títulos de éxitos creados con esta plataforma.

El entorno se basa en una interfaz gráfica[I.4] desde la que configuramos eventos, pero también una parte de programación de *scripts* (C# o Javascript) con la que podremos complejizar nuestro producto.

¹¹<http://www.gamessound.com/MIDIMOD.pdf>

¹²De corto alcance, con una dificultad reducida y mecánicas muy simples.

¹³<http://unity3d.com/es/showcase/gallery>

I.3. HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO



Figura I.4: Interfaz de Unity

La principal ventaja de Unity es la posibilidad de crear un único producto y exportarlo a diferentes plataformas (OSX, Windows, iOS, Android, Linux, XBOX 360, PlayStation 3, PSVita, Wii, Wii U y Windows Phone) sin tener que invertir en más desarrollo.

Cabe mencionar que Unity se ofrece de manera gratuita sin demasiadas limitaciones (con esta licencia podremos exportar a cualquier plataforma). Si necesitamos funciones avanzadas como *GPU Profiling*, *soporte para LOD*, *filtros de audio*, *sombras de luces puntuales en tiempo real*, ... deberemos comprar la licencia Unity Pro por un precio de 1.500\$¹⁴.

I.3.2 openFrameworks

Es un conjunto de librerías *open source* escritas en C++ centrado en el desarrollo de aplicaciones creativas. Al igual que las otras herramientas utilizadas en este proyecto, openFrameworks es multiplataforma (OSX, Windows, iOS y Android).

En el presente proyecto se utilizará tanto para crear una interfaz visual en la que comprobar el estado actual del sistema (emociones, parámetros musicales y pistas instrumentales), como para generar la síntesis del sonido. En concreto se utilizarán las librerías ofxUI y ofxTonic para interfaz y síntesis respectivamente.

I.3.3 UDP

User Datagram Protocol (UDP) es un protocolo de transporte de datos basado en el intercambio de datagramas. Permite el envío a través de la red sin que se haya establecido previamente conexión. No posee control de

¹⁴Precio a fecha de agosto de 2014 por la versión Unity Pro 5.x

flujo ya que no hay confirmación de entrega o recepción, por este motivo es habitual utilizarlo para permitir la comunicación entre aplicaciones a través de puertos de un mismo sistema, como haremos en este proyecto.

I.4 Antecedentes

Existen algunas aproximaciones al concepto de música adaptativa o dinámica en la historia de los videojuegos. A continuación comentaremos las más interesantes para este proyecto:

iMUSE de LucasArts

La compañía LucasArts (originalmente LucasFilm Games) fue pionera en esta técnica, aplicando un motor de reproducción de música llamado iMUSE (1990) a sus conocidas aventuras gráficas. La idea del sistema consistía en sincronizar las distintas composiciones con la acción del juego para conseguir así transiciones suaves entre temas musicales de distintos escenarios. El primer videojuego en el que la compañía incluyó este motor fue *Monkey Island 2: LeChuck's Revenge* (1991), para posteriormente adaptarlo a todos los títulos venideros.

Biofeedback de VALVe

Otro estudio afín al tema es el realizado por VALVe[Amb11], expuesto en una lección del GDC¹⁵, en el que se estudian las respuestas fisiológicas de los jugadores durante las partidas. Este *biofeedback* se aprovecha para la parametrización de las emociones del usuario, al igual que haremos en este proyecto, y así poder actuar en consecuencia modificando el lugar de las armas, la salud del personaje, posición de los enemigos o incluso la música.

Hay que tener en cuenta que el ciclo cerrado que propone VALVe (el jugador experimenta una emoción que el sistema ha preparado para él gracias a la información que previamente había aprendido de este) es posible gracias a mediciones de ritmo cardíaco, conductividad de la piel, expresiones faciales, movimientos oculares, electroencefalografía, temperatura corporal y dilatación de la pupila, así como elementos del propio modo de juego.

¹⁵Game Developers Conference: <http://www.gdconf.com>

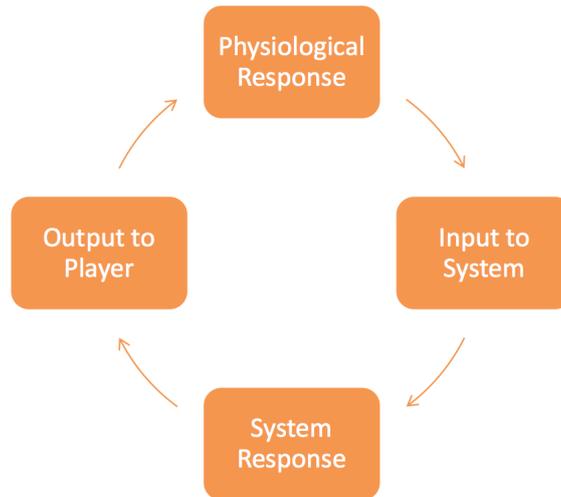


Figura I.5: Retroalimentación propuesta por VALVe entre el videojuego y la respuesta fisiológica del jugador.

.[talktome] de Yiannis Ioannides

Este sistema comparte muchas similitudes con el que desarrollaremos a lo largo del proyecto. Se trata de un motor de sonido externo a la plataforma en la que se ha desarrollado el juego, a modo de *middleware*, que proporciona cambios dinámicos en el sonido ambiental según los estados de la partida (atacando, explorando, en cobertura, ...).

Este proyecto de *Berklee* trabaja concretamente sobre Unity como plataforma de juego y cálculo del estado de la partida, y MAX/MSP como sistema de composición dinámica. Al igual que los otros sistemas comentados anteriormente, y a diferencia del presente proyecto, las melodías o efectos sonoros que se activan en un momento u otro de la acción están pregrabados por el autor del proyecto.

Brian Eno y Pure Data en Spore

El famoso compositor Brian Eno en colaboración con el diseñador de videojuegos Will Wright y su equipo de diseñadores de sonido (Kent Jolly y Aaron McLeran) desarrollaron un sistema de generación de sonido en tiempo real para Spore (2008). Decidieron incluir una versión adaptada de Pure Data¹⁶ con la que crear sonidos de manera dinámica a partir de sonidos pregrabados y dependiendo de la situación, al igual que se crean las animaciones o las texturas de los personajes.

¹⁶Lenguaje de programación gráfico para la creación de música por ordenador: <http://puredata.info>

Otras aproximaciones

Muchos de los videojuegos actuales integran, de manera más o menos compleja, un motor de sonido dinámico. Aunque de manera bastante primitiva, obras como *Blood II: The Chosen*, *Shogo: Mobile Armor Division*, *The Mark of Kri*, *The Lord of the Rings: The Two Towers*, *Rainbow Six 3*, *FarCry 3*, *Hitman Absolution* o *Faster Than Light (FTL)* poseen bandas sonoras cambiantes según el estado actual de la partida.

‘Algunos encuentran el silencio insoportable porque tienen demasiado ruido dentro de ellos mismos.’

Robert Fripp

II

Conocimientos Previos

En este segundo capítulo de la memoria se plantea la necesidad de introducir una serie de conceptos para así poder comprender correctamente el resto del proyecto. Concretamente comenzaremos explicando al lector las nociones sobre teoría musical relevantes para el proyecto. Seguiremos con el concepto de psicoacústica y el paso del modelo físico al musical, para pasar a ilustrar los diferentes tipos de síntesis y así escoger el más adecuado a nuestra finalidad. Más adelante aclararemos nociones básicas sobre la composición algorítmica necesaria para el presente trabajo. Finalmente también deberemos dejar claro en este capítulo la componente psicológica del proyecto para poder delimitar las emociones.

II.1 Teoría musical

Dado que el presente proyecto aborda la parte sonora desde un punto de vista sensitivo, es necesario dar nociones sobre la teoría musical básica que nos puede dar a conocer qué características de una composición pueden ser influyentes a la hora de provocar ciertas sensaciones.

La naturaleza ambiental de las composiciones que obtendremos evita la necesidad de tener una importante componente formal, por lo que en este apartado explicaremos exclusivamente aquellos parámetros significativos para nuestro propósito. Así, precisamos conocer los siguientes conceptos:

- **Tonalidad:** La tonalidad entendida como clave de una obra musical es el conjunto formado por la *tónica*¹, junto con sus acordes y escalas

¹Se le llama tanto a la primera nota (o grado) de la escala, como a la nota que define la tonalidad.

II.1. TEORÍA MUSICAL

asociados, en torno a la cual giran las frases y progresiones musicales. Se suele emplear “en clave de” para hacer referencia a las reglas de tonalismo bajo las que fue creada una obra. Los sonidos que componen la tonalidad son siete, conocidos como *grados*. Una tonalidad puede tener varios *modos*: Mayor y Menor.

- **Grado:** Cada uno de los sonidos que componen una tonalidad. Se corresponden con los nombres de las siete notas musicales y se identifican un número romano, además de una nomenclatura característica como vemos en la tabla II.1

Grado	Nombre
I	Tónica
II	Supertónica
III	Mediante
IV	Subdominante
V	Dominante
VI	Superdominante
VII	Sensible

Cuadro II.1: Nomenclatura de los grados de una tonalidad

- **Escalas:** Se define como el conjunto de sonidos, dispuestos de manera ascendente en altura, dentro de un entorno sonoro particular. Cada uno de estos sonidos se corresponde a un grado. A diferencia de una tonalidad, en una escala sí importa el orden en el que las notas están dispuestas.

Existen diferentes tipos de escalas musicales, aunque en este proyecto se utilizará la escala diatónica para la composición algorítmica por ser la más común:

- Escala diatónica

Está formada por siete sonidos sucedidos entre sí por intervalos de segunda mayor y menor. Dentro de este tipo de escalas diferenciamos entre escala diatónica Mayor y Menor, cuyas distancias entre un grado y otro son desiguales.

En el **modo Mayor** los grados se separan entre sí un tono, excepto en los rangos III-IV y VIII-I, en los que hay un semitono de separación (figura II.1). La escala natural² en modo Mayor se construye comenzando en la nota Do. Si se desea construir una escala diatónica Mayor con una tónica diferente ha de utilizarse

²Escala sin alteraciones.

CAPÍTULO II. CONOCIMIENTOS PREVIOS

alteraciones³ sobre determinadas notas para conseguir las separaciones entre grados comentadas anteriormente.

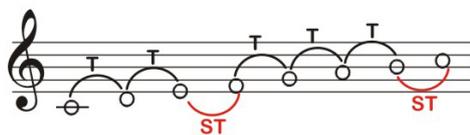


Figura II.1: Escala Mayor diatónica sin alteraciones.

Por otra parte, en el **modo Menor** los grados se separan de manera que haya un tono de separación entre cada par consecutivo excepto en los rangos II-III y V-VI en los que hay un semitono. En este caso la escala natural es aquella en la que la tónica es la nota La.

- Otras escalas

Además de la escala diatónica, existen otro tipo de escalas en la música. Una de ellas es la **escala cromática**, en la cual se representa la sucesión ascendente y descendente de los doce semitonos contenidos en una octava justa en un sistema atonal de temperamento justo. En esta escala, siete semitonos son diatónicos y cinco cromáticos. La diferente manera de representar el ascenso y descenso cromático (por semitonos) determina 6 tipos de escalas cromáticas, numeradas del I al VI.

Otro tipo de escalas comunes son las **pentatónicas**, siendo más simples y muy utilizadas en estilos musicales como el *blues*, *heavy metal* o *rock*. Sólo tiene cinco notas, separadas por intervalos II.1 de segunda mayor o tercera menor, sin poder haber dos intervalos de tercera mayor juntos.

La **escala de Blues** es la que se suele emplear en el *rock* moderno. Consiste en una escala pentatónica menor a la que se le añade una quinta disminuida o cuarta aumentada como nota de paso (nota de Blues). Es también frecuente añadir otras dos notas de paso: la tercera mayor y la séptima mayor.

- **Modo:** Hace referencia a las distancias entre los grados de una tonalidad. Los modos existentes són: *Jónico*, *Dórico*, *Frigio*, *Lidio*, *Mixolidio*, *Eolio* y *Locrio*. Sin embargo en la actualidad se usan habitualmente el *Jónico* y el *Eolio*, que se corresponden con el modo Mayor y el modo Menor respectivamente.

³Este conjunto de alteraciones se denomina armadura y se sitúa inmediatamente después de la clave en el pentagrama. Consultar para ello el *círculo de quintas*.

II.2. PSICOACÚSTICA

■ Intervalos

Es muy importante para este proyecto el concepto de intervalos, ya que es la característica que hace que reconozcamos una melodía o, en nuestro caso, la intención emocional de un acorde [III.1.3] independientemente de la altura absoluta.

Los intervalos se definen como la diferencia de alturas entre dos sonidos musicales, tanto consecutivos (**intervalo melódico**) como simultáneos (**intervalo armónico**). Se clasifican según la cantidad de grados que hay entre las dos notas, además de la distancia en semitonos que existe. Por tanto, se crea una nomenclatura de clasificación de intervalos que vemos en la tabla II.II.

Fuera de esta explicación quedan términos como la notación musical, pentagrama, claves, figuras, métrica, signos de expresión, etc., que de una manera implícita se utilizarán en el desarrollo del software, pero no tendrán el mismo peso que las ya explicadas.

II.2 Psicoacústica

La psicoacústica es el estudio de la respuesta psicológica de un estímulo físico sonoro, donde el cerebro analiza las diferentes cualidades del sonido y las transforma en un mensaje con reacciones físicas y mentales [Iñe13]. Se podría describir como la relación entre las magnitudes objetivas del sonido y las cualidades subjetivas de su percepción (figura II.2).

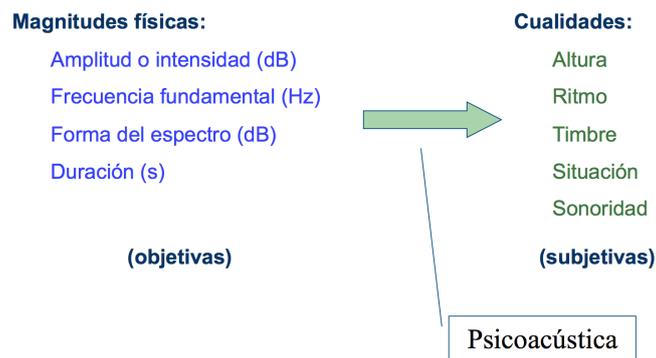


Figura II.2: Psicoacústica: magnitudes físicas frente a cualidades subjetivas.

Para explicar este concepto iremos relacionando cada una de las propiedades sonoras subjetivas con su correspondiente magnitudes físicas.

CAPÍTULO II. CONOCIMIENTOS PREVIOS

Nombre	Grados	Distancia
Segunda menor	I - II	Un semitono
Segunda mayor	I - II	Un tono
Segunda aumentada	I - II	Un tono y un semitono
Tercera disminuida	I - III	Dos semitonos
Tercera menor	I - III	Un tono y un semitono
Tercera mayor	I - III	Dos tonos
Tercera aumentada	I - III	Dos tonos y un semitono
Cuarta disminuida	I - IV	Dos tonos
Cuarta justa	I - IV	Dos tonos y un semitono
Cuarta aumentada	I - IV	Tres tonos
Quinta disminuida	I - V	Tres tonos
Quinta justa	I - V	Tres tonos y un semitono
Quinta aumentada	I - V	Cuatro tonos
Sexta disminuida	I - VI	Tres tonos y un semitono
Sexta menor	I - VI	Cuatro tonos
Sexta mayor	I - VI	Cuatro tonos y un semitono
Sexta aumentada	I - VI	Cinco tonos
Séptima disminuida	I - VII	Cuatro tonos y un semitono
Séptima menor	I - VII	Cinco tonos
Séptima mayor	I - VII	Cinco tonos y un semitono
Séptima aumentada	I - VII	Seis tonos
Octava disminuida	I - VIII	Cinco tonos y un semitono
Octava justa	I - VIII	Seis tonos
Octava aumentada	I - VIII	Seis tonos y un semitono

Cuadro II.11: Clasificación de los intervalos, en función de los grados y la distancia en semitonos entre los dos sonidos que lo componen.

Altura

La altura se define como la cualidad que diferencia un sonido grave de un sonido agudo. La causa física que la genera es la frecuencia fundamental del espectro, y se utiliza para determinar la percepción del tono. Esto es posible

Un sonido poseerá una altura reconocible cuando tenga armonicidad suficiente, una frecuencia fundamental entre 20 y 20.000 Hz, y una duración de al menos 50 ms. Dentro del espectro audible es útil diferenciar por bandas de frecuencias para discretizar los sonidos conocidos (figura II.3).

Además, si nos fijamos en la afinación moderna (bien temperada) se

II.2. PSICOACÚSTICA

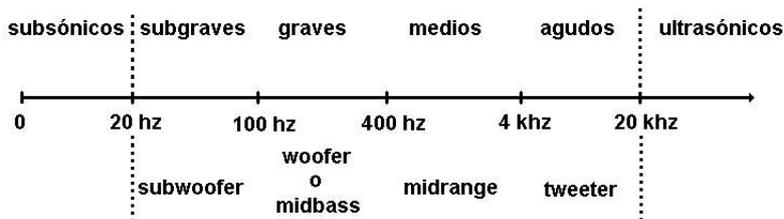


Figura II.3: Bandas del espectro sonoro audible.

puede establecer una relación directa entre las notas y sus frecuencias en Hz (figura II.4). A estas alturas les denominaremos absolutas, diferentes de las que definimos como relativas, explicado más en detalle en el apartado de teoría musical [II.1] ya que poseen una importancia especial en este proyecto.



Figura II.4: Notas del piano y su correspondiente frecuencia. Rangos de alturas de diferentes instrumentos.

Ritmo

Se define como un flujo de movimiento, controlado o medido, sonoro y producido por una ordenación de elementos diferentes del medio. En la música la mayoría de las definiciones tradicionales aluden al ritmo como fuerza dinámica y organizativa de la composición.

La medición del tiempo se puede realizar de tres formas:

- **Tiempo musical:** duración relativa de la nota patrón.
Nota patrón = 1 tiempo (1 beat)
- **Tempo:** frecuencia de emisión de la nota patrón.
Se mide en "tiempos" por minuto (beats per minute: BPM)
- **Tiempo cronométrico:** duraciones absolutas en segundos.
Conversión tempo (BPM) ↔ duración absoluta (s)

$$\text{Dado en tempo } t \text{ (BPM): } d = \frac{60}{t} \text{ (s)} \longrightarrow d = \frac{60.000}{t} \text{ (ms)}$$

$$\text{Dado en duración } d \text{ (s): } t = \frac{60}{d} \text{ (bpm)} \longrightarrow t \text{ (ms)} = \frac{60.000}{d} \text{ (bpm)}$$

En una composición musical la **métrica** establece el ritmo al introducir un patrón repetitivo de acentuaciones. Este patrón se repite cada compás induciendo la sensación cíclica de ritmo. Es importante destacar que la notación superior del pentagrama indica los BPM (*beats per minute*): cuantas notas de esa figura se reproducen en un minuto (figura II.5).

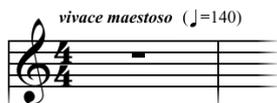


Figura II.5: Ejemplo de notación de métrica. En este caso 140 (bpm) \rightarrow (60/140) segundos cada negra.

La notación técnica del ritmo se define a partir de la resolución (pulsos/tiempo) y se suele utilizar de dos formas: *tiempo : pulso* o *compás : tiempo : pulso*.

Timbre

Existe una definición estándar del timbre según la cual se trata de la sensación en virtud de la cual un oyente al que se presentan de forma similar (desde la misma posición y de igual duración) dos sonidos de la misma sonoridad y altura puede juzgar que ambos son diferentes.⁴

Definimos el timbre entonces como un matiz que caracteriza un sonido. Los factores físicos que condicionan este fenómeno auditivo son:

- Espectro: distribución de la energía en función de los parciales (armónicos⁵ o inarmónicos) de un sonido.
- Envoltente de amplitud: definición, en términos de cuatro parámetros globales, de la evolución temporal en amplitud de cualquier sonido. Es importante destacar que cada instrumento tiene su envoltente característica, por lo que si queremos imitar mediante síntesis su sonido, deberemos estudiarla.
 - Ataque: Es el tiempo que tarda en escucharse el sonido desde haber sido ejecutado el instrumento.
 - Decaimiento: Es el tiempo que tarda la amplitud en reducirse a la de sostenimiento después de haber alcanzado la amplitud máxima.
 - Sostenimiento: Es el tiempo en el que la amplitud se mantiene estable hasta que se deja de inducir vibración.
 - Relajación: Es el tiempo que tarda el sonido en perder toda su amplitud. Sonido como en la fase estable.

⁴American Standards Association, 1960

⁵Su frecuencia es múltiplo de la fundamental

II.2. PSICOACÚSTICA

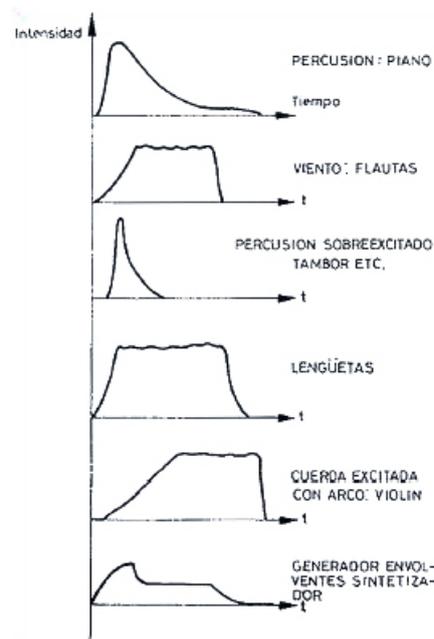


Figura II.6: Envolventes de diferentes instrumentos.

- Formante: pico de intensidad o concentración energética en una determinada frecuencia en el espectro de un sonido.

Situación

La situación se define como el punto virtual en el espacio donde percibimos la fuente sonora. Si sólo tenemos una única fuente, sólo tendremos una localización física de origen. Sin embargo si se poseen 2 o más fuentes se deslocaliza el sonido. Las causas que condicionan la percepción de la situación vienen determinada por dos factores:

- Ángulo: podemos determinar el ángulo de la fuente de sonido con respecto a nosotros por la diferencia de amplitud de la señal que se envía a cada uno de los canales estéreo y que permite desplazar los sonidos a izquierda o derecha.
- Distancia: la percibimos diferente según el volumen de la fuente (de manera inversa en la sensación de proximidad o lejanía) y la cantidad de reverberación (de manera directa con la sensación de profundidad de la fuente).

Sonoridad

La Sonoridad es la medida subjetiva de la intensidad con la que un sonido es percibido por el oído humano. Esto nos permite clasificar en una escala los sonidos de mayor a menor intensidad. El factor más importante que la

condiciona es la amplitud (presión), medida en $dB SPL$ ⁶ si usamos como referencia el umbral auditivo.

En los sistemas digitales se toma como referencia la máxima amplitud disponible $\rightarrow dBFS$ ⁷

II.3 Síntesis de sonido

La síntesis de sonido consiste en obtener sonidos a partir de medios no acústicos. Diferenciamos entre síntesis analógica y síntesis digital, cuyas herramientas son las variaciones de voltaje o algoritmos que calculan valores numéricos, respectivamente.

Ya que no entra en la problemática de este proyecto, pero sí es necesario para su demostración, vamos a realizar un breve repaso a algunas técnicas de síntesis que se utilizarán:

- **Síntesis aditiva**

Este tipo de síntesis se basa en la suma de señales simples (sinusoidales habitualmente) para crear ondas más complejas. Siendo, como hemos comentado, las señales de tipo sinusoidal, podemos representar una señal sintetizada por este método con la siguiente expresión:

$$s(t) = \sum_{i=1}^L A_i \cos(2\pi f_i t + \theta_i)$$

Es destacable la eficiencia de esta síntesis en sonidos de tipo periódico⁸, mientras que para la síntesis de señales ruidosas se necesitarán gran cantidad de osciladores, aumentando la complejidad del sistema⁹.

Podría ser una opción a la hora de generar los sonidos de nuestro sistema de composición, pero requiere de un trabajo de diseño sonoro que no compete a este proyecto.

- **Síntesis por muestreo o *samples***

Para este tipo de síntesis se debe partir de sonidos grabados o *samples* almacenados en la memoria. A diferencia de un simple reproductor, este proceso está asociado a una serie de parámetros de síntesis que permiten modificar las muestras (altura, amplitud y duración).

Las muestras se suelen modificar en pos de economizar memoria, ya que podemos, por ejemplo, tomar una muestra por cada octava del piano, y obtener las demás alturas de dicha octava a partir de estas.

⁶ *Sound Pressure Level* (Nivel de presión sonora)

⁷ $dBFS = 20 \log A/A_{\max}$ (siempre < 0)

⁸ Pocos osciladores para los parciales más destacados

⁹ Se podría reducir la complejidad utilizando una mezcla de síntesis aditiva y sustractiva

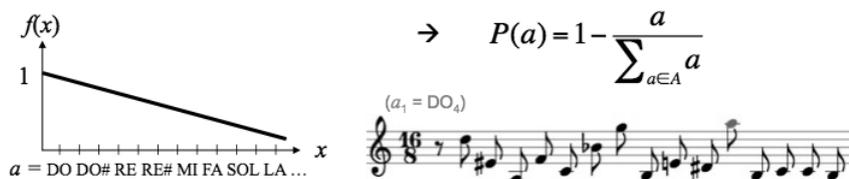


Figura II.8: Ejemplo de distribución lineal decreciente.

conseguir distribuciones de probabilidad uniforme, lineal decreciente (ejemplo en la figura II.8, donde las notas graves tienen más probabilidades de aparecer que las agudas), normal, ... pero para nuestro objetivo utilizaremos una **tabla de probabilidades** establecida heurísticamente (figura II.III).

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si
6/28	2/28	6/28	6/28	6/28	1/28	1/28

Cuadro II.III: Ejemplo de tabla de probabilidades.

Estas tablas consisten en definir una serie de valores de probabilidad para cada uno de los eventos posibles. Con esto conseguimos dar mayor o menor importancia a las posibles salidas del sistema, por lo que tendremos un control más específico de los posibles escenarios.

II.5 Modelos emocionales

Dada la naturaleza del presente proyecto, es necesario definir unas reglas previas sobre cómo se abordará de aquí en adelante el campo emocional y su parametrización.

Existe una diferenciación, aceptada a lo largo de la historia, entre los procesos cognitivos, como la razón o el pensamiento, y las emociones [TJ08]. La idea principal es que estas últimas interfieren en los procesos cognitivos y son opuestas a ellos. Esta reflexión fue establecida en teorías modernas (Sigmund Freud entre otros), pero también podemos encontrar trazos de esta definición en la antigua Grecia: Platón delimitó las emociones como unas *fuerzas incontrolables y salvajes* que deben ser defendidas por la *fuerza de la razón*.

Debido al poco consenso acerca de una definición clara sobre el término *emoción*, hoy en día continúa el debate para intentar encontrar una tesis correcta. Existen enfoques que la concretan como una reacción corporal (Watson, Skinner o Ryle), ligadas a un instinto de supervivencia; otras la pun-

II.5. MODELOS EMOCIONALES

tualizan como estados mentales cambiantes (Descartes o William James); y encontramos también un conjunto de teorías que aseguran que son evaluaciones cognitivas con las que el ser compara desencadenantes emocionales (Aristóteles, Aquinas, Frijda).

Sin embargo, la mayoría de estas teorías están de acuerdo en que las emociones son eventos instigadores, cambios fisiológicos, cambios de comportamiento y, en ocasiones, conocimiento de todos estos cambios. También coinciden en que no hay una única “emoción central”, si no que el término *emoción* consiste en un grupo de diferentes sistemas, análogamente a como el término *percepción* corresponde a otro grupo de sistemas (visual, auditivo, táctil, etc.).

Existen varias aproximaciones que definen métodos diferentes de clasificación de las emociones, pero podemos catalogar la mayoría dentro de dos corrientes: teorías discretas y teorías dimensionales.

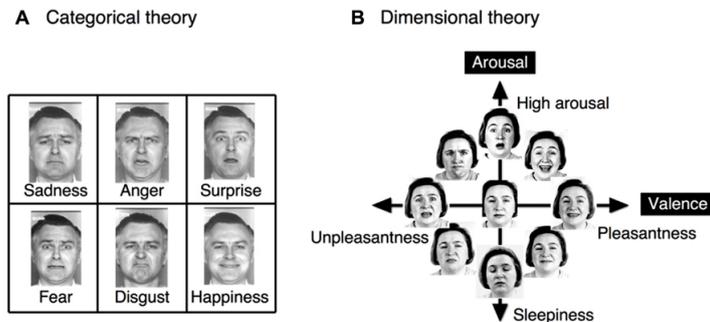


Figura II.9: Modelos de clasificación de emociones: A. Teoría discreta. B. Teoría dimensional.

- Teoría discreta o de emociones básicas

Estas tesis asumen que existe un número limitado de emociones básicas [Ekm99]. No existe consenso sobre el número de emociones básicas (el rango suele ir de dos a dieciséis), y sobre el criterio para incluirlas en esta categoría.

Por lo general se definen como universales (independientes de la cultura), espontáneas, incontrolables y no necesariamente conscientes; implican cambios psicológicos y fisiológicos (alteran la atención, el comportamiento, diferencias en la expresión facial, etc.), relacionadas con la supervivencia y con el entorno; y pueden ser combinadas para formar otras emociones más complejas.

Dentro de esta categoría, la teoría más aceptada es la propuesta por Paul Ekman. En ella se delimita el número de emociones básicas a seis (figura II.9): tristeza, rabia, sorpresa, miedo, repugnancia y felicidad.

■ Teoría dimensional

Las emociones se categorizan en términos continuos y en un espacio dimensional de escalas bipolares [PCTH13], siendo las dos más usadas: *valence* (ánimo) y *arousal* (intensidad o actividad).

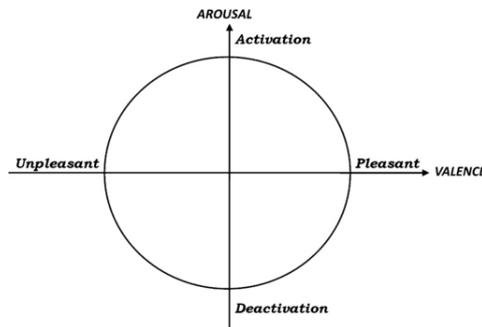


Figura II.10: Clasificación de emociones en el modelo dimensional.

Como vemos en la figura II.10, este modelo representa de una manera directa todas las posibles emociones en un único espacio, sin tener que hacer combinación de varias de ellas como en la teoría discreta. Además, gracias a su naturaleza continua, podemos definir la influencia que tiene sobre la emoción cada uno de los ejes.

Así, si una emoción se sitúa sobre el eje *valence* irá desde el descontento hasta un estado placentero, pasando por todo un abanico de diferentes atributos. Lo mismo sucederá en el eje vertical *arousal*, donde una emoción pasa desde la calma hasta la intensidad o celeridad. El punto central de esta representación se considera un estado neutro.

El modelo discreto y el dimensional no son incompatibles. Las emociones básicas pueden situarse en un sistema de coordenadas (figura II.11) para formar un sistema de clasificación híbrido más comprensible.

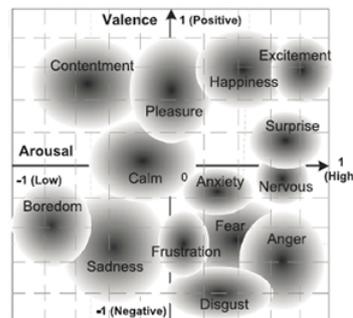
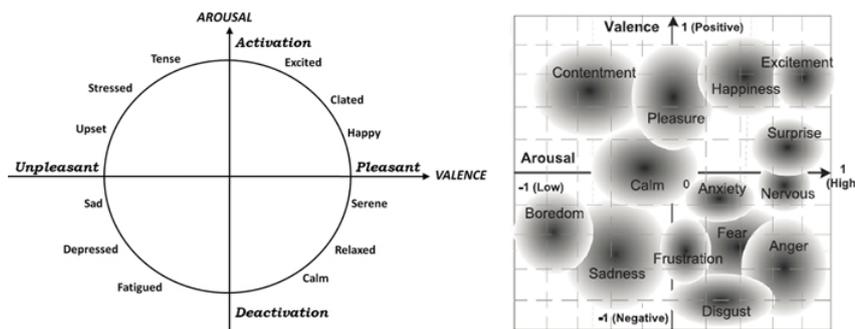


Figura II.11: Clasificación de emociones en un modelo híbrido discreto/dimensional.

Es con este modelo híbrido con el que trabajaremos en este proyecto. Los parámetros de juego significativos, que explicaremos en capítulos posteriores, influirán de una manera directa en las propiedades de intensidad y ánimo,

II.5. MODELOS EMOCIONALES

para posteriormente obtener una emoción acorde a la zona del sistema de coordenadas.

‘El jarrón da forma al vacío, la música al silencio.’

George Braque

III

Análisis

En el tercer capítulo de la presente memoria vamos a realizar un análisis del sistema. Para ello nos centraremos ante todo en el recorrido de la información hasta conseguir la composición final sonando en los periféricos de salida. La motivación planteada en el primer capítulo es clara: conseguir un sistema de composición algorítmica, independiente de la plataforma de juego que, a través de una capa de abstracción en la que conseguimos la situación emocional del jugador, actúe consecuentemente a unos parámetros de juego.

Por tanto, sin entrar a explicar las herramientas específicas (esto se desarrollará mejor en el capítulo de *Diseño*), describiremos cómo conseguimos nuestros objetivos.

III.1 Flujo del sistema

En este apartado se explicará de manera detallada cada una de las fases que compone el proyecto. El flujo que recorren los datos desde la entrada que proporciona el propio jugador hasta la composición final que obtendremos a la salida.

Para entender de una manera más directa este proceso podemos fijarnos en la figura III.1. En ella se da una idea global de cómo transcurren los procesos (lectura de izquierda a derecha) de la aplicación.

Aunque se explicarán en detalle cada uno en los puntos posteriores, es importante comprender el camino que se realiza de manera general:



Figura III.1: Flujo de la aplicación

El jugador, durante toda la partida, realiza una serie de acciones que influyen en mayor o menor medida para nuestra finalidad, que recolectamos (parámetros de juego) para así determinar la emoción actual. Una vez calculado el estado emocional, obtenemos, a partir de unas reglas definidas, los parámetros musicales y psicoacústicos que más tarde definirán cómo será la composición final. Todos estos procesos se calculan en tiempo real, por lo que la composición variará en todo momento según el modo de juego de entrada al sistema.

III.1.1 Input jugador

Antes de poder deducir cualquier tipo de estado emocional en el jugador es necesario reflexionar sobre cuales son los parámetros de un videojuego que pueden influir a la hora de cambiarlo. Es obvio que es imposible generalizar estos datos para todo tipo de géneros y obras, pero en el presente proyecto se proponen algunos de los que están más presentes en la industria actual.

Al tratarse de una demostración y, como hemos comentado anteriormente, no disponer de mediciones físicas más allá de los periféricos de entrada, la mayoría de estos parámetros son dependientes de la distancia entre el jugador y un punto de interés (cercanía a enemigos, cantidad de enemigos alrededor o zonas de narrativa). Sin embargo existen otras medidas con las que poder deducir el estado emocional del jugador, como temporizadores, movimiento de del jugador o de la cámara, ... o cualquier otro parámetro que decida el diseñador del juego. Como veremos en el apartado de Diseño [IV.2], será sencillo adaptar cualquier parámetro de un videojuego al presente sistema.

A continuación se definen algunos de los parámetros que un diseñador puede tener en cuenta para inferir la emoción del jugador:

- **Cercanía a un enemigo**

En la gran mayoría de los videojuegos actuales existe una rivalidad entre el jugador y otro bando, ya sean alienígenas, zombies, terroristas o piezas de ajedrez. Pueden aparecer en cualquier momento del juego, y se considerará una situación tensa y desagradable (**actividad aumenta y ánimo disminuye**) para el jugador. Además, las emociones

se acentúan cuanto más cerca este el enemigo como vemos en la figura III.2.

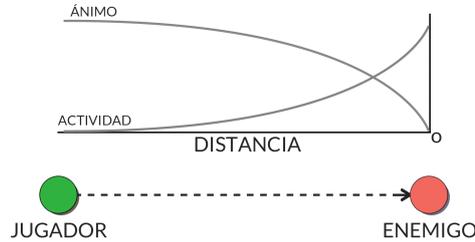


Figura III.2: Repercusión en la emoción de la distancia hasta un enemigo.

■ **Cantidad de enemigos**

Además de la cercanía a un enemigo, la cantidad de estos también es un factor a tener en cuenta para el cálculo de la emoción. Es evidente que el jugador no estará en el mismo estado de tensión enfrentándose a un rival individual que a un conjunto de oponentes.

Este parámetro se recoge en el estudio realizado por VALVE [I.4] sobre un conjunto de sujetos jugando a *Left4Dead 2*. Se establece una relación directa entre el número de enemigos y la *actividad* del jugador, como vemos en la figura



Figura III.3: Relación entre la cantidad de enemigos y la *actividad*.

En el sistema propuesto no haría falta especificar zonas de acumulación de enemigos, ya que si cada uno envía un mensaje con un aumento de la *actividad*, esta situación se producirá dinámicamente.

■ **Tipo de enemigo**

Es muy habitual encontrar en la mayoría de videojuegos enemigos diferentes que suponen retos también diferentes. A medida que la partida avanza es común percibir un aumento del nivel de dificultad, por eso es una buena práctica establecer una distinción entre un tipo de enemigos y otros.

■ Narrativa

La narrativa es quizá el elemento más importante de esta lista de parámetros influyentes. En un videojuego es muy importante mantener el concepto de inmersión siempre presente, y para ello la música ambiental es una de las grandes protagonistas. Se deben definir zonas completas sobre las que se mantenga una u otra emoción en función de la sensación objetivo. En la demostración de este proyecto se define un escenario con zonas de interés que envían mensajes al sistema con la información de *actividad* y *ánimo* que se desea transmitir, como en la figura III.4.

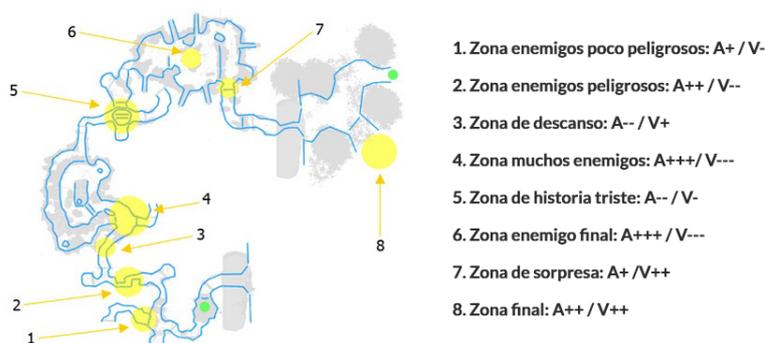


Figura III.4: Ejemplo de diseño de nivel con zonas de interés emocional definidas.

■ Movimiento del jugador o de la cámara

Los únicos parámetros directamente conectados con la actividad física del jugador son el movimiento del jugador y el movimiento de la cámara (controlados con los periféricos de entrada). El diseñador puede llegar a suponer un estado de *actividad* emocional más elevado cuanto mayor sea la cantidad de movimiento en el juego y, por el contrario, un estado de calma si no se produce ningún o poco desplazamiento.

■ Temporizadores

Los temporizadores, habitualmente cuentas atrás, son un recurso habitual en muchos videojuegos para crear momentos de tensión ascendente. Por eso también se podría establecer una conexión directa entre el tiempo restante del temporizador y la *actividad* emocional, siendo inversamente proporcional.

■ Conexiones abiertas a otros parámetros

Por último, es importante destacar que es el propio diseñador el que debe elegir y plantear qué elementos del videojuego van a influir en el estado emocional del jugador durante la partida. Por este motivo, el sistema propuesto para el presente proyecto tiene la capacidad de aceptar cualquier tipo de parámetro (figura III.5) si se cumplen los requisitos que se explicarán en capítulos posteriores.

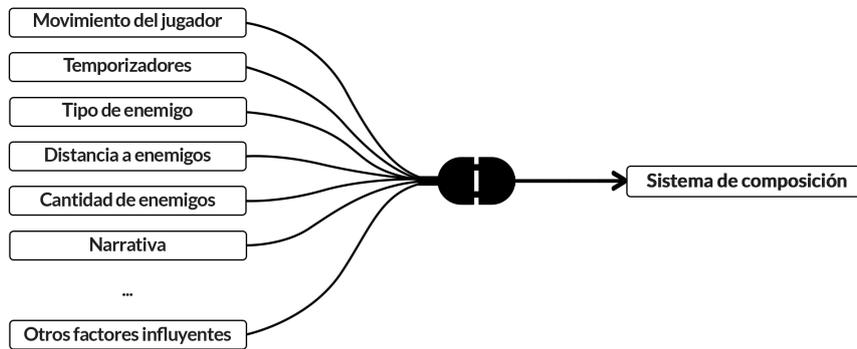


Figura III.5: Entrada de parámetros de juego al sistema.

Los parámetros comentados anteriormente son el primer elemento del sistema con el que se trabaja. De una manera u otra, casi cualquier acción que realice el jugador durante una partida influirá en la detección de la emoción que está sintiendo en ese momento.

Al haber elegido un modelo emocional basado en la representación bidimensional (*actividad/ánimo*), la entrada del jugador repercutirá de una manera directa en uno o los dos ejes. Será trabajo del diseñador del videojuego el definir cuán influyentes son cada uno de estos parámetros.

De este modo, si por ejemplo definimos que la proximidad a un enemigo es un dato directamente relacionado con la actividad del jugador (cuanto más cerca, más excitación), enviaremos una señal desde la plataforma de juego, en nuestro caso Unity, al sistema de composición positiva en el eje de ordenadas (actividad o arousal).

III.1.2 Emoción parametrizada

El sistema creado para el presente proyecto está preparado para recibir cuantas señales simultáneas se deseen para el cálculo de la emoción del jugador. De manera continua, en intervalos definidos de fracciones de segundo, se reciben todas las aportaciones que el videojuego quiera hacer al sistema. Estas aportaciones, positivas o negativas, mayores o menores, sumadas nos proporcionan una única posición en nuestra representación *actividad/ánimo* para cada instante de tiempo. Pero esto no es suficiente para poder obtener una emoción discreta.

En el apartado de conocimientos previos [II.5] se introduce el modelo de sistema de representación emocional híbrido: sistema bidimensional con zo-

III.1. FLUJO DEL SISTEMA

nas definidas para emociones discretas. Es precisamente este sistema el que desarrollaremos en la presente sección.

Como vemos en la figura III.6, a partir de la representación común del modelo bidimensional, se ha hecho una división en áreas para así conseguir emociones discretas. Cada una de estas emociones tiene una posición y un tamaño claro dentro del gráfico. Así, en cualquier momento tendremos unas connotaciones psicológicas u otras dadas unas coordenadas de *actividad* y *ánimo*.

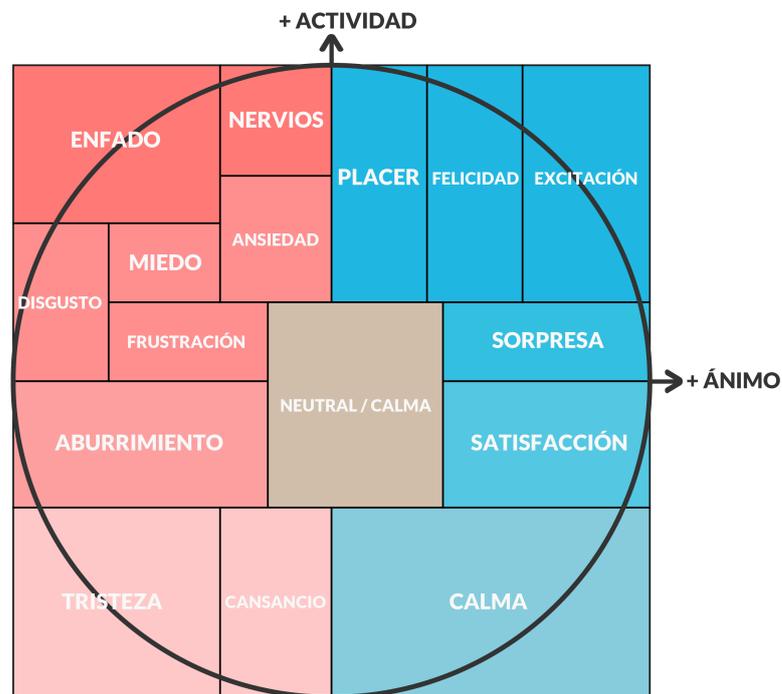


Figura III.6: Sistema de representación emocional con divisiones en áreas discretas.

Estas divisiones se han establecido de acuerdo al modelo más extenso de posicionamiento dentro del espacio bidimensional, pero adaptándolo a las necesidades del proyecto actual para que las emociones no sólo se sitúen a lo largo del perímetro del círculo que observamos en el modelo básico [II.5], sino que es posible acceder a cualquier valor dentro del rango de máximos y mínimos en los dos ejes (figura III.7).

Por tanto, hemos conseguido construir una capa de abstracción sobre la que el sistema de composición trabajará, independiente ahora sí, de cualquier acción del juego.

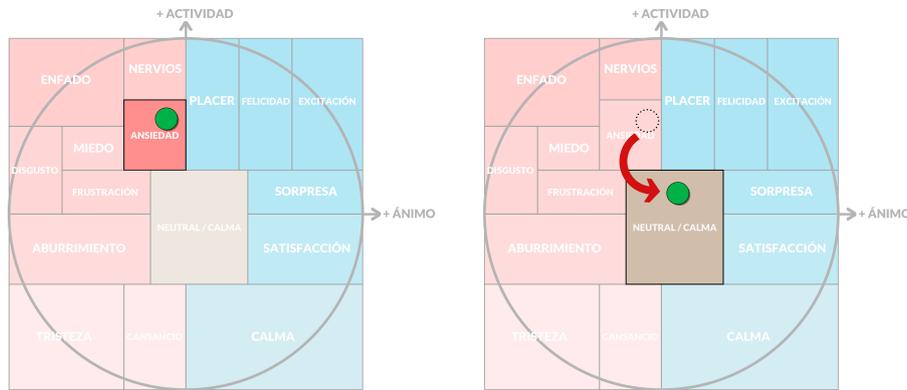


Figura III.7: Ejemplo de transición de emociones en el modelo híbrido.

III.1.3 De la emoción a la composición

En el punto anterior hemos explicado cómo, a partir de una serie de parámetros, deducimos la emoción que el jugador posee en un preciso momento. Es a partir de aquí donde el sistema debe empezar a establecer reglas compositivas para lograr transmitir a través de la música el sentimiento objetivo.

Para llevar a cabo este trabajo dividiremos la composición en dos partes: armonía y melodía. Cada parte tendrá su propia finalidad y sonido, por lo tanto las trataremos como pistas independientes. Además se proporciona la capacidad de incluir *loops* percusivos para enfatizar ciertas emociones.

Pista armónica

Con estos sonidos creamos el colchón sonoro sobre el que se apoya la pista melódica. La armonía de este proyecto estará compuesta siempre por acordes de dos notas. Es importante intentar obtener una respuesta psicológica instantánea con tan sólo una nota o acorde, ya que durante una partida en un videojuego puede haber variaciones de estados en muy poco tiempo.

Por ejemplo, si un jugador se encuentra en un ambiente opresor y oscuro, pero un instante después abre una puerta hacia un lugar abierto e iluminado (la figura III.7 podría ser una representación de este caso). Este cambio de situación no se debe posponer mucho más allá del momento en el que el jugador abre la puerta, por lo que el sistema debe de tener una rápida capacidad de adaptación.

Esta connotación psicológica en la armonía se consigue gracias a los **intervalos musicales** [II.1]. La relación entre una nota y otra, tocadas de manera simultánea (también de manera secuencial, pero no es nuestro

III.1. FLUJO DEL SISTEMA

propósito) e independientemente de la altura absoluta de ambas, proporciona distintos matices psicológicos [Mah13].

En una primera clasificación, podemos establecer la consonancia¹ que tienen los diferentes intervalos que utilizaremos (tabla III.1).

Intervalo	Estado teórico
Segunda menor	Disonante
Segunda mayor	Disonante
Tercera menor	Consonante imperfecto
Tercera mayor	Consonante imperfecto
Cuarta justa	Consonante perfecta
Cuarta aumentada	Disonante
Quinta justa	Consonante perfecta
Sexta menor	Consonante imperfecta
Sexta mayor	Consonante imperfecta
Séptima menor	Disonante
Séptima mayor	Disonante
Octava	Consonante perfecta

Cuadro III.1: Relación de consonancia de los intervalos armónicos.

Es importante saber cuán consonante es un intervalo para poder posicionarlo dentro de nuestra representación *actividad/ánimo*. Esto es así ya que existe una relación directa entre la consonancia musical y el estado anímico que esta induce (figura III.8).

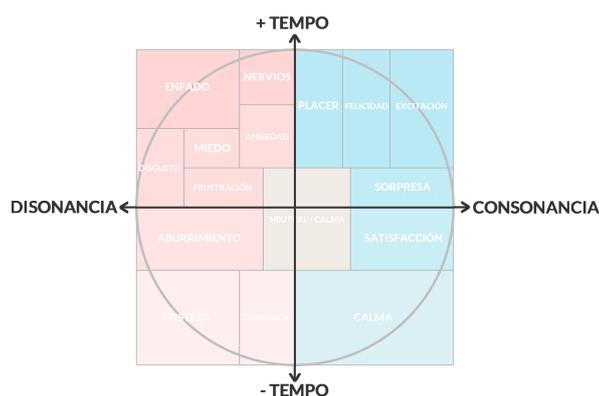


Figura III.8: Relación de consonancia musical y tiempo con el estado emocional.

¹Noción subjetiva según la cual se consideran ciertos intervalos musicales menos tensos que otros.

La relación de consonancia nos permitiría distribuir los intervalos a lo largo del eje horizontal (ánimo) en nuestra representación. Sin embargo, necesitamos otra clasificación que nos proporcione más información para poder situar cada intervalo en una posición bidimensional.

Encontramos también una relación entre ciertas connotaciones psicológicas y estos intervalos armónicos. Al ser una percepción subjetiva, existe cierta discusión[MCB00] acerca de los adjetivos que más se adecúan a cada relación entre alturas[Coo59]. Por eso se ha hecho un ejercicio de recopilación y criba para establecer unos atributos comunes a todas las referencias bibliográficas. Los resultados los podemos ver en la tabla III.ii.

Intervalo	Características emocionales
Segunda menor	Doloroso, aflicción, humillación, angustia, desaliento
Segunda mayor	Suspense, tristeza, tensión, ansia
Tercera menor	Depresión, melancolía, languidez
Tercera mayor	Alegría, fuerza, estabilidad, brillo, sonoridad
Cuarta justa	Lúgubre, tenso
Cuarta aumentada	Hostilidad, misterio, contrariedad, destrucción
Quinta justa	Salud, consonancia, agrado, estimulación
Sexta menor	Consonancia, actividad, descontento, dolor, placer
Sexta mayor	Placer, inestabilidad, deseo, tensión
Séptima menor	Tristeza, dolor, insatisfacción, desconcierto
Séptima mayor	Tensión, desagrado, amargo, melancolía
Octava	Facilidad, majestuosidad, completitud, fuerza, energía, estabilidad, solemnidad

Cuadro III.ii: Características emocionales de los intervalos armónicos.

Esta correspondencia nos permite ajustar aún más la zona de nuestra representación a la que se limita cada intervalo. Estableciendo un vínculo entre los adjetivos de la tabla III.ii y las emociones de nuestra representación (figura III.6) podemos situar los intervalos como vemos en la figura III.9.

Además de la relación en alturas, también se debe controlar el *tempo* con el que se reproducen los acordes. Al igual que pasará en la pista melódica, la velocidad de reproducción de notas del sistema dependerá directamente del eje de ordenadas (actividad) como vemos en la figura III.8.

III.1. FLUJO DEL SISTEMA

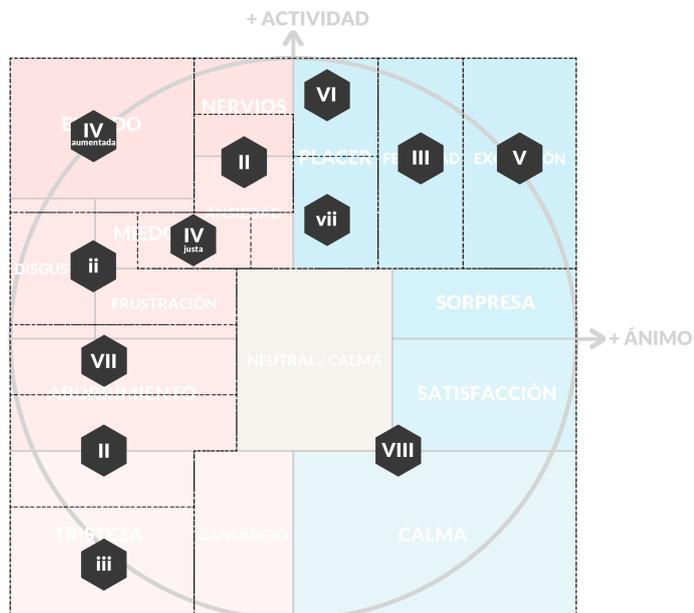


Figura III.9: Intervalos distribuidos en la representación emocional.

Ahora que ya están establecidas las reglas para generar la base armónica, necesitamos saber sobre qué tonalidad trabajará esta pista. Para ello debemos conocer las bases de la pista melódica.

Pista melódica

Para conseguir una sucesión de alturas coherente con la pista armónica debemos tener en cuenta diferentes conceptos. Por una parte, tanto el tempo como la consonancia de la pista funcionarán de la misma manera que la parte armónica, ya que nuestra representación (figura III.8) así lo indica. De otro lado, se debe contemplar esta pista como la encargada de conducir al jugador hacia un territorio emocional u otro en función de una sucesión de notas.

Es importante recalcar el término sucesión, ya que la tonalidad[II.1] de la melodía es la delegada de comunicar las emociones. Por tanto, necesitaremos varias notas de una misma tonalidad para poder distinguir que estamos en ella (diferentes tonalidades pueden tener notas comunes).

Al igual que estudiamos la relación entre los intervalos armónicos y las connotaciones psicológicas que llevan implícitos, debemos encontrar esta correspondencia para las tonalidades musicales[Sch84]. A pesar de que con la afinación justa² se conseguían matices musicales que hoy pasan desapercibidos.

²Afinación de los instrumentos musicales que sigue la norma de adoptar en lo posible

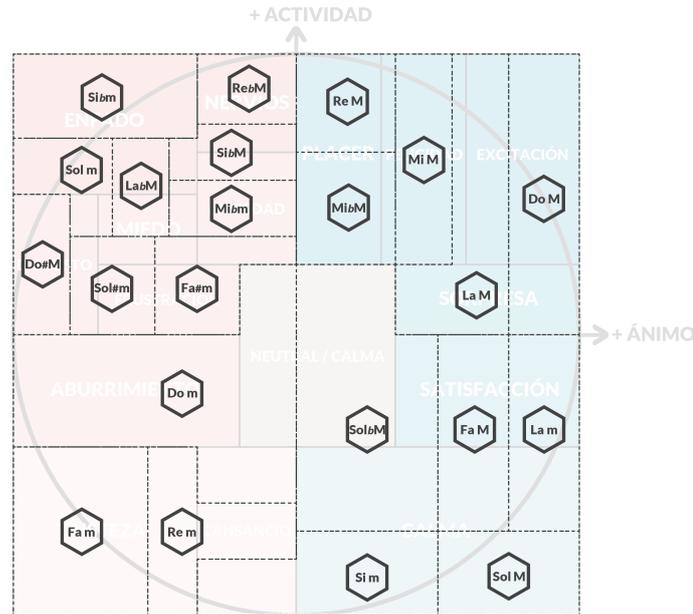


Figura III.10: Tonalidades distribuidas según afinidad a emociones.

cibidos con la bien temperada³, encontramos autores que asocian ciertas tonalidades a unas u otras características emocionales [Ben08].

Haciendo el mismo ejercicio de síntesis que llevábamos a cabo en la parte armónica, se ha completado la tabla III.iii.

Sabiendo las características emocionales implícitas, podemos distribuir, de nuevo sobre nuestra representación, las tonalidades más afines a según qué emoción (figura III.10).

Pista percusiva

Es de gran utilidad tener la posibilidad de reproducir *loops* percusivos en determinados momentos para enfatizar determinada situación. Es por esto que el sistema también ofrece la posibilidad de cargar sonidos pregrabados y reproducirlos en bucle, o no, cuando los valores de *actividad* y *ánimo* entren en ciertas áreas de la representación.

Por tanto, los únicos controles que tendremos sobre esta pista serán:

- Elegir el archivo a reproducir.
- Reproducir (en bucle o una única vez) y pausar.

los intervalos de la serie armónica, en particular la tercera mayor.

³Sistema de afinación más utilizado actualmente en la música occidental, y que se basa en el semitono temperado, igual a la doceava parte de la octava y de razón numérica igual a la raíz doceava de dos.

III.1. FLUJO DEL SISTEMA

Tonalidad	Características emocionales
Do M	Inocencia, simplicidad, sencillez, ingenuidad
Do m	Amor/desamor, nostalgia
Reb M	Lamentación, espiritual, amistad decepcionante
Do# m	Dolor, éxtasis, inusual
Re M	Clave del triunfo, guerra, regocijo
Re m	Melancolía
Mib m	Ansiedad profunda, desesperación, depresión, miedo
Mib M	Amor, devoción
Mi M	Máxima alegría, risas
Mi m	Amor inocente, esperanza, feminidad
Fa M	Complacencia, calma
Fa m	Depresión profunda, fúnebre, miseria
Solb M	Triunfo sobre dificultad, alivio posterior a la lucha
Fa# m	Sombrío, pasión, languideciente
Sol M	Idílico, pasión tranquila, gratitud de amistad, amor fiel, pacífica
Sol m	Descontento, inquietud, preocupación por fracaso, resentimiento
Lab M	Lamentos, dificultad
Sol# m	Muerte, putrefacción, mentira
La M	Amor inocente, esperanza, alegría juvenil
La m	Ternura
Sib M	Amor alegre, conciencia tranquila, esperanza
Sib m	Rudo, burla, descontento
Si M	Pasión salvaje, ira, rabia, desesperación
Si m	Paciencia, calma, sumisión

Cuadro III.III: Características emocionales de la tonalidad.

III.1.4 Composición algorítmica

Ahora que sabemos sobre qué tonalidades se debe mover la melodía y la relación de alturas que tendrán los acordes armónicos, debemos establecer unas reglas sobre la generación de la composición acordes al objetivo que perseguimos.

Para empezar definimos qué tipo de composición algorítmica utilizaremos en el proyecto. Se plantea un método estocástico en el que cada suceso es independiente del anterior y posea su propia probabilidad. La primera aproximación lógica consiste en dar las mismas probabilidades a todas las notas de la tonalidad en la que trabajamos, para así quedar en igualdad de oportunidades de aparecer en nuestra composición. Sin embargo, siendo así no tendríamos la posibilidad de distinguir ciertas tonalidades diferentes que comparten las mismas notas (Do Mayor y La menor, por ejemplo). Para solucionar esto, la teoría musical explica que los grados **I**, **IV** y **V** son los que mejor definen el **tono** en el que nos encontramos; pero también que el **III** es el principal grado encargado de acusar el **modo**.

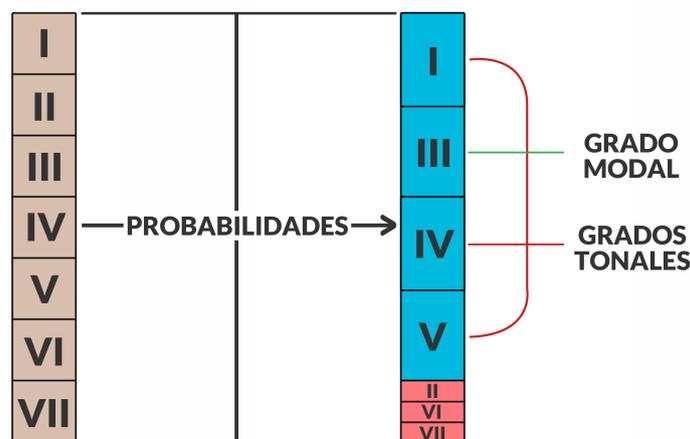


Figura III.11: Ajuste de las probabilidades de los grados en una tonalidad.

Siendo así, en lugar de crear una distribución uniforme de probabilidades sobre las siete notas de una tonalidad (probabilidad de $1/7$ para cada nota), damos preferencia a estos grados (**I**, **III**, **IV** y **V**) otorgándoles mayor importancia en la distribución como se aprecia en la figura III.11, y cuya tabla de probabilidades establecida heurísticamente es la III.iv. Con esto conseguimos que la pista melódica denote una u otra tonalidad y, por lo tanto, una determinada emoción.

Debemos, también, establecer una regla para conseguir una armonía entre las diferentes pistas, ya que en ningún momento de las explicaciones

III.1. FLUJO DEL SISTEMA

I	II	III	IV	V	VI	VII
18/84	4/84	18/84	18/84	18/84	4/84	4/84

Cuadro III.IV: Tabla de probabilidades de cada grado melódico.

anteriores hemos dado una idea clara sobre las alturas en las que se mueve la base armónica. Si esto no fuera así encontraríamos disonancias no buscadas entre acordes y melodía.

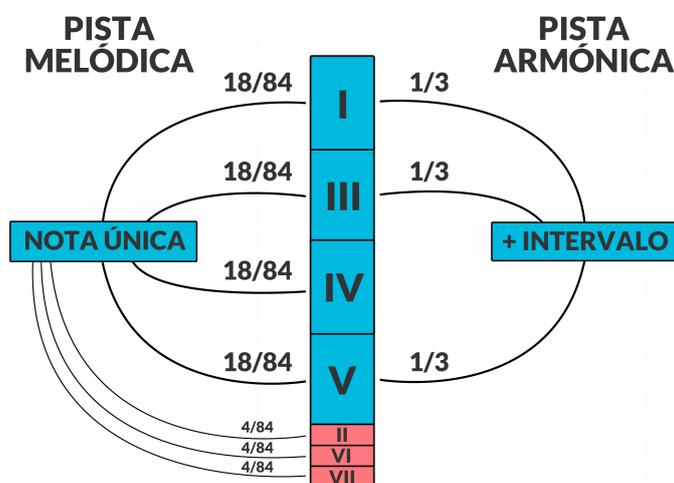


Figura III.12: Diagrama de probabilidades de las pistas armónica y melódica.

Para evitar estas indeseadas disonancias se han restringido las alturas sobre las que se pueden generar acordes, y son precisamente los grados **I**, **III** y **V** (mayores o menores en función de la tonalidad) de la tonalidad melódica que se ha calculado previamente. Pivotando el primer grado del acorde sobre estos grados de la tonalidad conseguimos que siempre suenen en consonancia. Sin embargo, no debemos olvidar que el acorde consta de dos notas, por lo que la segunda (dependiente del intervalo armónico) nos proporcionará el matiz emocional que corresponde a la localización *actividad/ánimo* actual.

Para finalizar, se establece una regla por la cual la pista melódica tendrá ciertas posibilidades generar **silencios** en lugar de notas musicales.

Para favorecer la generación de frases melódicas, la probabilidad inicial de obtener un silencio en lugar de una nota es casi nula (no cero). A medida que el sistema genera notas musicales, esta probabilidad va aumentando hasta

que inevitablemente aparecerá una instancia de silencio. En ese momento se reestablece la probabilidad de nuevo a la inicial, pero ya habremos conseguido una sucesión de notas percibidas como una sola entidad (figura III.13).

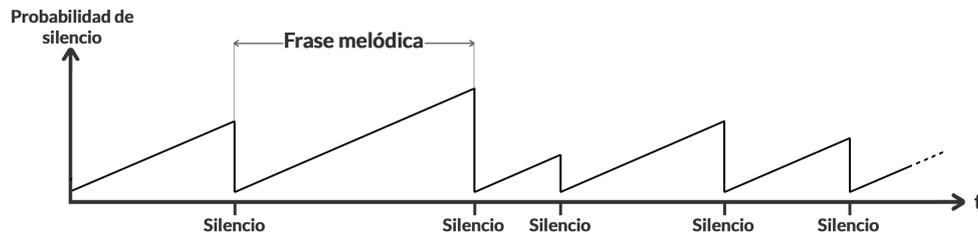


Figura III.13: Ejemplo de cómo la probabilidad de silencios del sistema favorece la creación de frases melódicas.

III.1.5 Generación de la síntesis

Una vez concretados todos los parámetros de la composición, encontramos la necesidad de elegir cómo tienen que sonar las pistas. Parece algo trivial, pero la tímbrica de ciertos instrumentos también lleva implícita carga emocional de alguna manera [TE10]. No es objeto de este proyecto el definir el tipo de síntesis que permanecerá en el sistema, ya que esto debe ser decisión del diseñador de sonido y propia de cada videojuego. Sin embargo, por necesidades demostrativas, damos ejemplo del funcionamiento de las posibilidades que se abren.

Existen dos tipos de síntesis con los que podemos trabajar en nuestro sistema:

- **Síntesis aditiva** Como se ha explicado en el capítulo de conocimientos previos [II.3], este tipo de síntesis se basa en la suma de varias señales simples para crear otras complejas. En el sistema creado se puede, y de hecho así es como se probó en un primer momento, generar tanto la pista armónica como la melódica a partir de ondas sinusoidales, cuadradas, triangulares o dientes de sierra. La librería de sonido utilizada ofrece la posibilidad de crearlas de una manera simple.

Sin embargo, a pesar de ofrecer un resultado rápido sin demasiado esfuerzo, para el propósito de este proyecto no es la síntesis más apropiada. Esto es debido a que generar sonidos complejos que consigan texturas⁴ musicales interesantes es una tarea destinada a otro tipo de

⁴La forma en que los materiales melódicos, rítmicos y armónicos se combinan en una composición, determinando así la cualidad sonora global de una pieza.

síntesis, ya que conseguir estos mismos resultados con la síntesis aditiva sería una tarea inabarcable.

- **Síntesis por muestreo**

La síntesis por muestreo o *samples* nos ofrece la posibilidad de cargar en memoria cualquier tipo de sonido que deseemos para una posterior reproducción. Esto abre un abanico de infinitas posibilidades tímbricas, perfectas para ajustar a gusto del diseñador de sonido. Así, se deberá cargar muestras sonoras de todas las notas necesarias para la salida deseada.

Es, entonces, la síntesis por muestreo la escogida para el desarrollo de este proyecto. Los *samples* incorporados en el sistema son elección del autor para la demostración, pero totalmente modificables para cualquier otro usuario.

*‘No puede haber entendimiento entre la mano y el cerebro
a menos que el corazón actúe como mediador.’*

Metrópolis (1927)

IV

Diseño

En este capítulo se desarrollará una explicación detallada del funcionamiento de nuestro sistema a nivel de diseño, especificando, ahora sí, las herramientas concretas con las que hemos trabajado.

Para ello comenzaremos explicando las limitaciones autoimpuestas a este proyecto, continuaremos detallando el proceso de creación del software, para finalizar repasando el funcionamiento de la interfaz y los distintos casos de uso.

IV.1 Restricciones al diseño

Para ahorrar complejidad en el diseño y creación de nuestro sistema se ha establecido una estructura muy concreta de flujo de trabajo. Si se acatan estas reglas y se decide ampliar en los puntos que comentaremos en capítulos posteriores, el proyecto cumplirá correctamente los requisitos.

Las restricciones que se van a imponer son las siguientes:

- Se propondrá un número limitado de parámetros de juego para la demostración del sistema. La adaptación de esta estructura de parámetros de juego relevantes es necesariamente propia de cada videojuego, por eso en este proyecto se proponen unos pocos ejemplos de características importantes a la hora de definir el estado emocional del jugador.
- Para no complejizar demasiado las reglas del sistema de composición algorítmica, se definen las comentadas en el apartado [III.1.3](#).

IV.2. CREACIÓN DEL SOFTWARE

- Limitamos el número de pistas del sistema a dos: armónica y melódica. Además se ofrece la posibilidad de añadir una pista percusiva con *loops* pregrabados y reproducirlos por medio de disparadores.
- En la pista armónica, los acordes son de dos notas simultáneas para conseguir los efectos explicados en el apartado III.1.3.
- Para demostrar el funcionamiento, los sonidos de salida del sistema son *samples* generados por un sintetizador software externo, pero también se ha realizado un trabajo de síntesis dentro del software propio. Es trabajo del diseñador de sonido del videojuego el escoger los sonidos deseados para el sistema.

IV.2 Creación del software

A nivel general, la estructura del sistema tiene un recorrido claro de trabajo, representado en la figura IV.1.

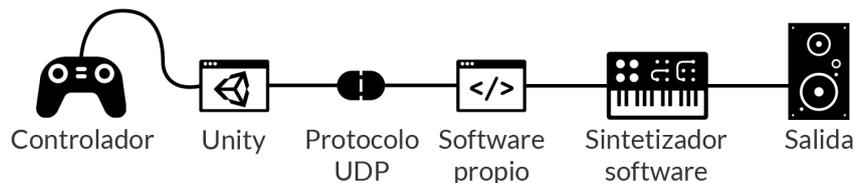


Figura IV.1: Flujo del software

Como se ha indicado, en este proyecto trabajamos con dos herramientas (Unity y la aplicación de composición creada) y el protocolo de comunicación UDP para conectarlas. El sistema de composición algorítmica embebido en nuestra aplicación, y la recepción de datos por parte de Unity tendrán un flujo de trabajo que hemos representado en el diagrama de bloques de la figura IV.2.

Conexión UDP

Para conseguir abstraer la aplicación de composición algorítmica de la plataforma sobre la cual se desarrolle el videojuego, se ha implementado un sistema de mensajes entre aplicaciones por medio del protocolo **UDP**. Así la aplicación será capaz de funcionar correctamente mientras obtenga mensajes del tipo $A:X B:Y$, sea cual sea su procedencia. Como vemos en la figura IV.3, cada uno de los parámetros de juego que hayamos definido enviará un mensaje con esta sintaxis. Además, se ha establecido un tiempo

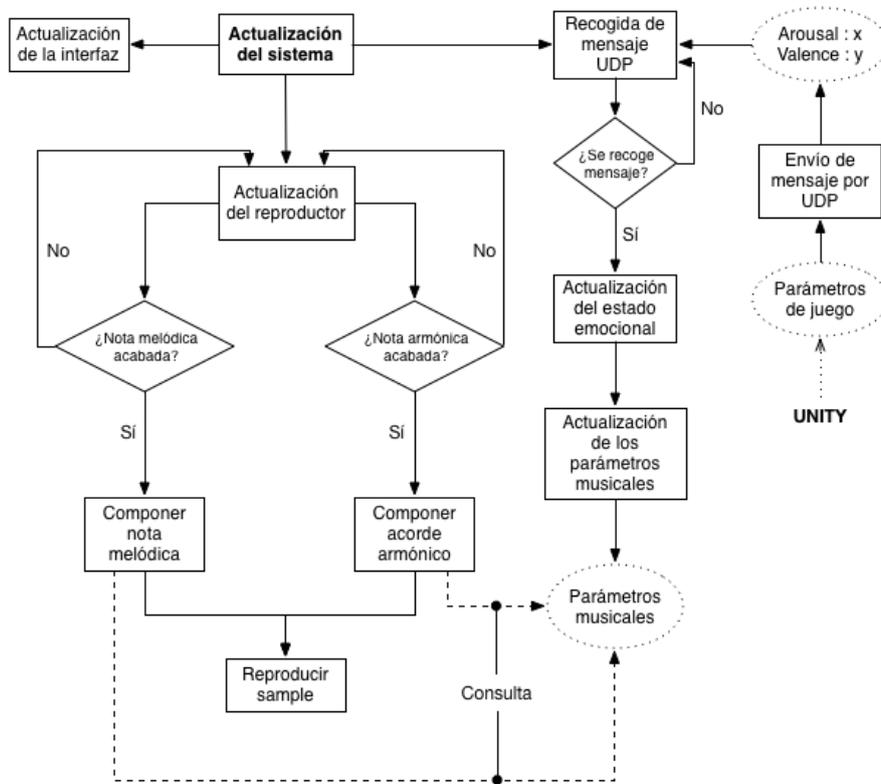


Figura IV.2: Diagrama de bloques del sistema general.

de refresco para este envío y lectura de mensajes, ya que no es necesario obtener esta información miles de veces por segundo.

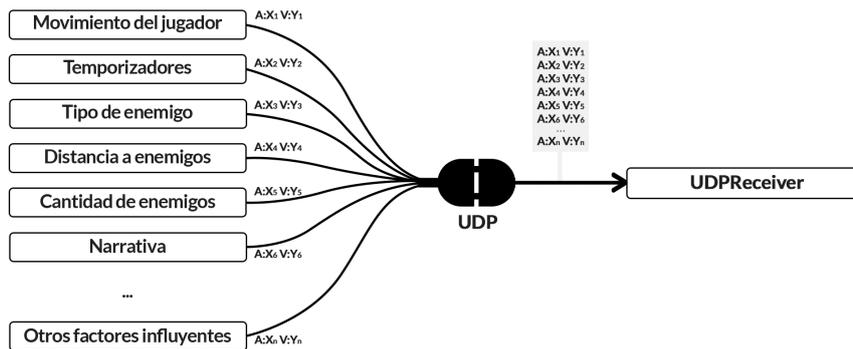


Figura IV.3: Funcionamiento de la conexión UDP.

Para enviar la información se hace uso de la dirección IP¹ del propio ordenador en el que se ejecuta el sistema. A esta dirección se le suele deno-

¹Etiqueta numérica que identifica una interfaz dentro de una red.

IV.2. CREACIÓN DEL SOFTWARE

minar *localhost*, y es la 127.0.0.1. Además de eso se debe hacer uso de un puerto de red que no se esté usando en ese momento (en nuestro caso el 8051). Por tanto, la dirección de red a la que Unity mandará los mensajes será la **127.0.0.1:8051**. El pseudocódigo de, por ejemplo, un *script* de un objeto que consideremos que aumenta la *actividad* del jugador cuanto más cerca se encuentra de este, será:

```
actualización() {
    InvocarCadaPeríodo(enviarMensaje)
}

enviarMensaje() {
    distancia = distanciaEntre(jugador, esteObjeto)
    enviarMensajeUDP(A: 1/distancia)
}
```

A su vez, en la parte de la aplicación de composición algorítmica, se debe leer estos mensajes. Llegarán cadenas de texto con cantidades a sumar o restar al estado emocional actual. Por tanto la leeremos de la siguiente manera:

```
si el mensaje no está vacío {
    si el mensaje es de "actividad"
        actualizarActividad(mensaje)
    si el mensaje es de "ánimo"
        actualizarÁnimo(mensaje)
}
```

Sistema de composición algorítmica

Una vez que se ha independizado la aplicación de cualquier software externo, se puede trabajar de manera autónoma, tan sólo prestando atención a las coordenadas de *actividad* y *ánimo*. Para comprender mejor el funcionamiento de la aplicación, explicaremos las clases que la componen (figura IV.4).

- **UDPReceiver**: encargada de leer los mensajes provenientes de la dirección de red comentada anteriormente. Una vez recogidos los mensajes, llamará a la actualización de *emotionState*.
- **emotionState**: es la clase en la que se almacena la información del estado emocional actual. Es importante destacar que todas las demás clases tienen acceso a esta, ya que será de utilidad en varias funciones. Además de almacenar datos como la *actividad* o el *ánimo*, también es la encargada de actualizar los parámetros musicales. Este cometido se lleva a cabo comprobando las áreas definidas para las distintas tonalidades e intervalos (comentado en el capítulo de análisis [III.1.2]). Por

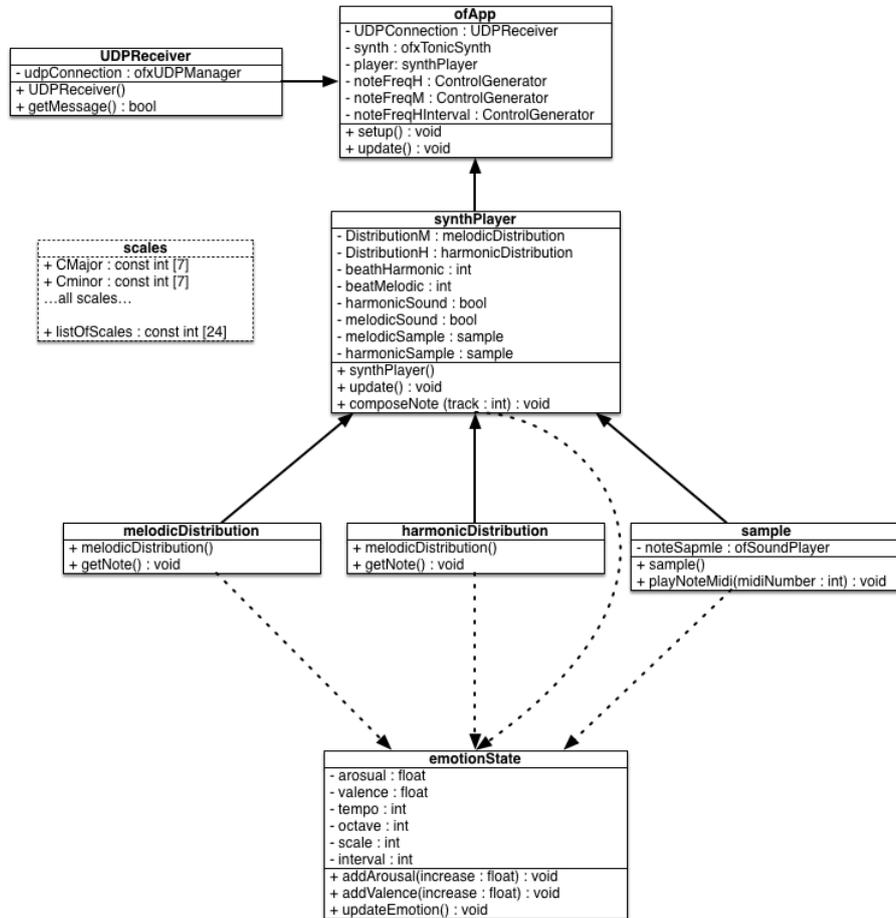


Figura IV.4: Diagrama de clases de la aplicación.

tanto, los datos más relevantes que obtenemos con esta clase son la **escala**, **intervalo** y el **tempo** (calculado en función de la *actividad*).

- **scales**: se trata de un archivo de cabecera en el que hay almacenada información sobre las notas que componen cada una de las escalas que se utilizan en el proyecto, además de su nombre y otros datos útiles.
- **ofApp**: la clase principal de la aplicación. Es aquí donde se controla todo el bucle de actualización de las demás clases, y también el dibujo de la interfaz. Como se ha comentado anteriormente, existe la posibilidad de realizar síntesis aditiva con la librería *openFrameworks*, por lo que esta clase también dispone de funciones creadas para tal fin (aunque la síntesis a base de *samples* sea la que se utilizará).
- **synthPlayer**: esta clase se puede considerar el reproductor de la aplicación. Se encarga de pedir el cálculo de las notas melódicas (*melodicDistribution*) y armónicas (*armonicDistribution*), controlar los tiempos

y hacer llamadas de reproducción de los *samples*.

- **armonicDistribution**: es la encargada de calcular, cada vez que se le pida, una nota armónica según las reglas establecidas en el capítulo de análisis [III.1.3] y los parámetros actuales de emoción que se encuentran en *emotionState*.
- **melodicDistribution**: cumple el mismo cometido que *armonicDistribution*, pero para las notas melódicas y las reglas del apartado [III.1.3].
- **sample**: si *synthPlayer* es el reproductor, podríamos decir que esta clase contiene las notas a reproducir. Es donde se almacenan todas las muestras de los instrumentos que escucharemos en la salida. También se encarga de controlar las transiciones de volumen entre acordes para no hacer cortes bruscos.

Todas estas clases trabajan en la aplicación del modo representado en la figura IV.2. En capítulos posteriores se detallarán ejemplos de su funcionamiento.

IV.3 Interfaz

Explicada la parte técnica de la aplicación, cabe prestar atención a la interfaz visible por el usuario. Al igual que en la creación del software, el sistema posee dos partes claramente diferenciadas en cuanto a interacción se refiere: sistema origen de los parámetros de juego y aplicación de composición algorítmica.

Unity

Para la demostración del funcionamiento del sistema se ha escogido **Unity** como plataforma de videojuegos. Ha sido así por su rapidez a la hora de generar una demostración de conceptos, y por la facilidad de crear *scripts* (en este caso en *C#*) compatibles con los elementos del juego.

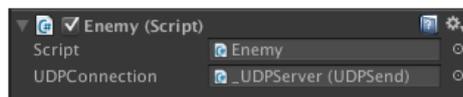


Figura IV.5: Interfaz del script de Unity para la conexión UDP.

Como se aprecia en la figura IV.5, además de configurar el *script* del parámetro que queremos enviar (ejemplo de pseudocódigo anterior), debemos relacionar cualquier elemento de la escena² que deba enviar datos con el

²En Unity, las escenas definen un conjunto de elementos que conforman una "pantalla" del videojuego.

script UDPServer para poder comunicarse con la aplicación de composición algorítmica.

Para ejemplificar este funcionamiento se ha desarrollado una escena demostrativa. En este prototipo se han creado dos elementos sensibles de enviar datos a la aplicación externa: una esfera roja y un prisma blanco.

La esfera roja (figura IV.6) simboliza un elemento de tensión, por ejemplo un enemigo, el cual envía mensajes de *ánimo* negativo y *actividad* positiva.



Figura IV.6: Interfaz de Unity durante la demostración de tensión.

Por otro lado, el prisma blanco (figura IV.7) envía mensajes de *ánimo* positivo y *actividad* positiva.

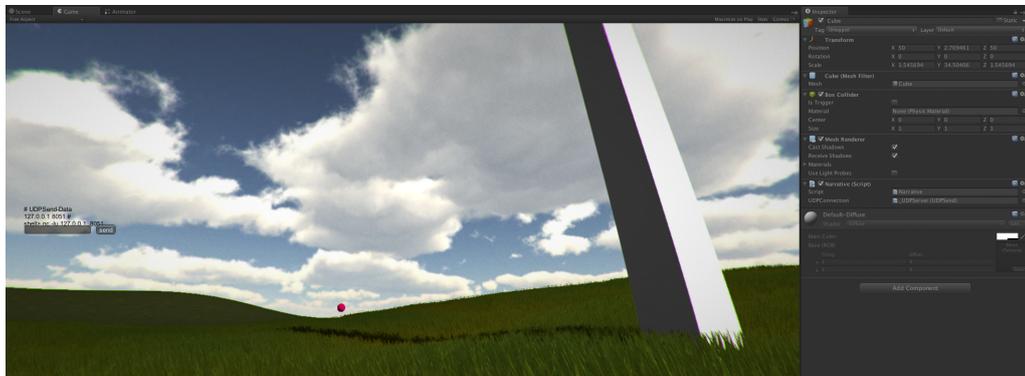


Figura IV.7: Interfaz de Unity durante la demostración de alegría.

Por tanto, en nuestra representación bidimensional encontraremos que si nos acercamos a la esfera o al prisma, pasaremos de la esquina superior izquierda (enfado) hasta la esquina superior derecha (excitación) respectivamente, pasando por los estados anímicos intermedios (nervios, placer y felicidad).

Aplicación de composición algorítmica

La interfaz de la aplicación desarrollada para este proyecto tiene un carácter meramente informativo. No posee ningún tipo de interacción con

IV.3. INTERFAZ

el usuario, pero sí debe de mostrar lo que está sucediendo en todo momento relacionado tanto con el estado emocional actual, como con la composición que se está generando en tiempo real. Por eso, como vemos en la figura IV.8, tenemos toda esta información dividida en tres zonas: *Emotion state*, *Music parameters* y la representación visual de las dos pistas.

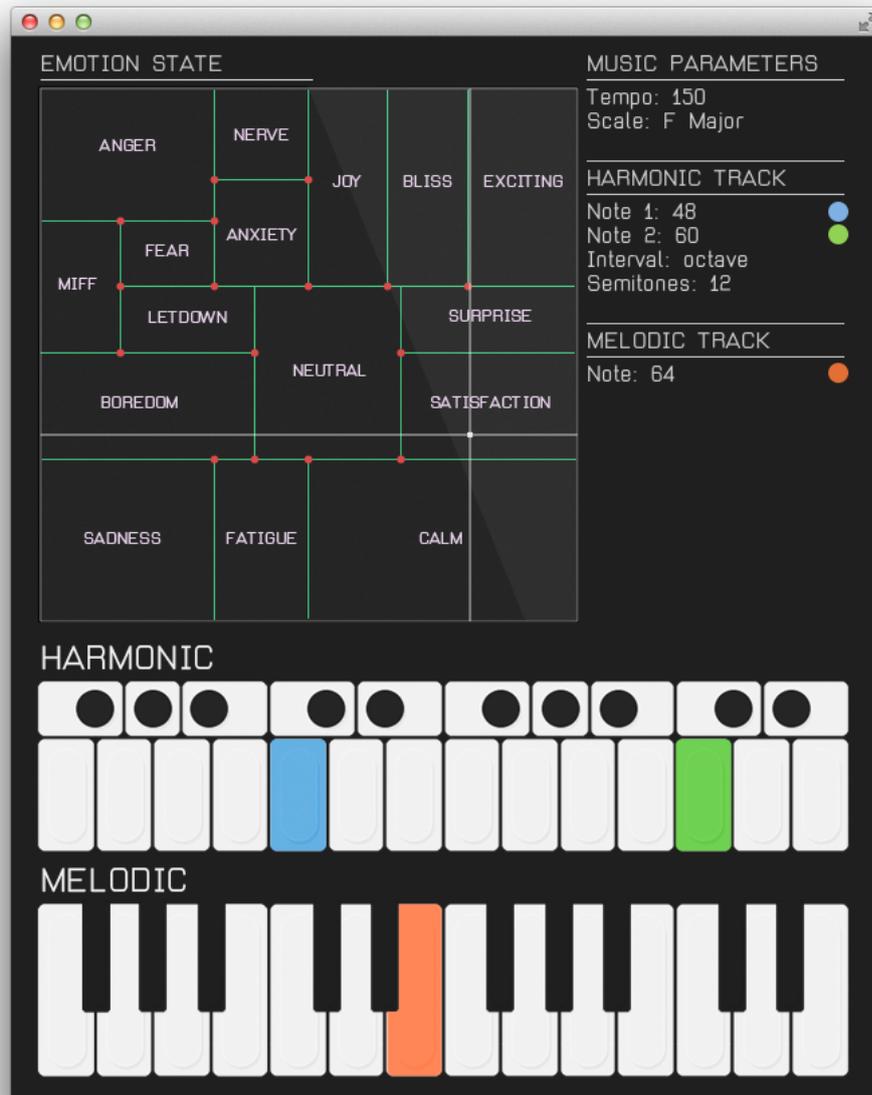


Figura IV.8: Captura de la interfaz de la aplicación de composición algorítmica.

En el apartado de *Emotion state* se puede visualizar a tiempo real los valores de *actividad (arousal)* y *ánimo (valence)* actuales, además de diferenciar claramente en el estado emocional en el que se encuentra.

La columna que se encuentra en el lateral derecho (*Music Parameters*) indica los parámetros musicales que se están utilizando para generar la composición. Estos parámetros están directamente relacionados con el estado emocional como se ha visto en el capítulo [III.1.3], y son: tempo musical, escala, notas de la pista armónica y melódica, intervalo de separación de las dos notas del acorde armónico y semitonos de separación de este.

En la parte inferior de la interfaz se encuentran dos representaciones visuales de las dos pistas del sistema: armónica (superior) y melódica (inferior).

‘La música no es para impresionar, sino para conmover.’

Pepe Romero

V

Resultados

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos con el sistema creado. Es especialmente importante en un proyecto de esta naturaleza estudiar la salida del sistema, ya que de esta dependerá si los objetivos planteados al inicio de esta memoria se llegan a cumplir.

V.1 Datos de salida

Para poder tener una mejor idea lo que el sistema ha generado, además de la salida en tiempo real, se ha implementado la escritura de la composición en un fichero MIDI. Esto ayuda a poder visualizar de manera más detenida los resultados que se han obtenido a lo largo de una ejecución de la aplicación.

The figure shows a musical score for two staves. The top staff is labeled 'Pista armónica' and the bottom staff is labeled 'Pista melódica'. Both are in 4/4 time and the key signature has two sharps (D major). The harmonic staff consists of a sequence of chords: D4, G4, A4, D5, E5, and F#5. The melodic staff features a sequence of eighth notes: D4, E4, F#4, G4, A4, B4, C5, D5, E5, F#5, G5, A5, B5, C6, D6, E6, F#6, G6, A6, B6, C7, D7, E7, F#7, G7, A7, B7, C8, D8, E8, F#8, G8, A8, B8, C9, D9, E9, F#9, G9, A9, B9, C10, D10, E10, F#10, G10, A10, B10, C11, D11, E11, F#11, G11, A11, B11, C12, D12, E12, F#12, G12, A12, B12, C13, D13, E13, F#13, G13, A13, B13, C14, D14, E14, F#14, G14, A14, B14, C15, D15, E15, F#15, G15, A15, B15, C16, D16, E16, F#16, G16, A16, B16, C17, D17, E17, F#17, G17, A17, B17, C18, D18, E18, F#18, G18, A18, B18, C19, D19, E19, F#19, G19, A19, B19, C20, D20, E20, F#20, G20, A20, B20, C21, D21, E21, F#21, G21, A21, B21, C22, D22, E22, F#22, G22, A22, B22, C23, D23, E23, F#23, G23, A23, B23, C24, D24, E24, F#24, G24, A24, B24, C25, D25, E25, F#25, G25, A25, B25, C26, D26, E26, F#26, G26, A26, B26, C27, D27, E27, F#27, G27, A27, B27, C28, D28, E28, F#28, G28, A28, B28, C29, D29, E29, F#29, G29, A29, B29, C30, D30, E30, F#30, G30, A30, B30, C31, D31, E31, F#31, G31, A31, B31, C32, D32, E32, F#32, G32, A32, B32, C33, D33, E33, F#33, G33, A33, B33, C34, D34, E34, F#34, G34, A34, B34, C35, D35, E35, F#35, G35, A35, B35, C36, D36, E36, F#36, G36, A36, B36, C37, D37, E37, F#37, G37, A37, B37, C38, D38, E38, F#38, G38, A38, B38, C39, D39, E39, F#39, G39, A39, B39, C40, D40, E40, F#40, G40, A40, B40, C41, D41, E41, F#41, G41, A41, B41, C42, D42, E42, F#42, G42, A42, B42, C43, D43, E43, F#43, G43, A43, B43, C44, D44, E44, F#44, G44, A44, B44, C45, D45, E45, F#45, G45, A45, B45, C46, D46, E46, F#46, G46, A46, B46, C47, D47, E47, F#47, G47, A47, B47, C48, D48, E48, F#48, G48, A48, B48, C49, D49, E49, F#49, G49, A49, B49, C50, D50, E50, F#50, G50, A50, B50, C51, D51, E51, F#51, G51, A51, B51, C52, D52, E52, F#52, G52, A52, B52, C53, D53, E53, F#53, G53, A53, B53, C54, D54, E54, F#54, G54, A54, B54, C55, D55, E55, F#55, G55, A55, B55, C56, D56, E56, F#56, G56, A56, B56, C57, D57, E57, F#57, G57, A57, B57, C58, D58, E58, F#58, G58, A58, B58, C59, D59, E59, F#59, G59, A59, B59, C60, D60, E60, F#60, G60, A60, B60, C61, D61, E61, F#61, G61, A61, B61, C62, D62, E62, F#62, G62, A62, B62, C63, D63, E63, F#63, G63, A63, B63, C64, D64, E64, F#64, G64, A64, B64, C65, D65, E65, F#65, G65, A65, B65, C66, D66, E66, F#66, G66, A66, B66, C67, D67, E67, F#67, G67, A67, B67, C68, D68, E68, F#68, G68, A68, B68, C69, D69, E69, F#69, G69, A69, B69, C70, D70, E70, F#70, G70, A70, B70, C71, D71, E71, F#71, G71, A71, B71, C72, D72, E72, F#72, G72, A72, B72, C73, D73, E73, F#73, G73, A73, B73, C74, D74, E74, F#74, G74, A74, B74, C75, D75, E75, F#75, G75, A75, B75, C76, D76, E76, F#76, G76, A76, B76, C77, D77, E77, F#77, G77, A77, B77, C78, D78, E78, F#78, G78, A78, B78, C79, D79, E79, F#79, G79, A79, B79, C80, D80, E80, F#80, G80, A80, B80, C81, D81, E81, F#81, G81, A81, B81, C82, D82, E82, F#82, G82, A82, B82, C83, D83, E83, F#83, G83, A83, B83, C84, D84, E84, F#84, G84, A84, B84, C85, D85, E85, F#85, G85, A85, B85, C86, D86, E86, F#86, G86, A86, B86, C87, D87, E87, F#87, G87, A87, B87, C88, D88, E88, F#88, G88, A88, B88, C89, D89, E89, F#89, G89, A89, B89, C90, D90, E90, F#90, G90, A90, B90, C91, D91, E91, F#91, G91, A91, B91, C92, D92, E92, F#92, G92, A92, B92, C93, D93, E93, F#93, G93, A93, B93, C94, D94, E94, F#94, G94, A94, B94, C95, D95, E95, F#95, G95, A95, B95, C96, D96, E96, F#96, G96, A96, B96, C97, D97, E97, F#97, G97, A97, B97, C98, D98, E98, F#98, G98, A98, B98, C99, D99, E99, F#99, G99, A99, B99, C100, D100, E100, F#100, G100, A100, B100, C101, D101, E101, F#101, G101, A101, B101, C102, D102, E102, F#102, G102, A102, B102, C103, D103, E103, F#103, G103, A103, B103, C104, D104, E104, F#104, G104, A104, B104, C105, D105, E105, F#105, G105, A105, B105, C106, D106, E106, F#106, G106, A106, B106, C107, D107, E107, F#107, G107, A107, B107, C108, D108, E108, F#108, G108, A108, B108, C109, D109, E109, F#109, G109, A109, B109, C110, D110, E110, F#110, G110, A110, B110, C111, D111, E111, F#111, G111, A111, B111, C112, D112, E112, F#112, G112, A112, B112, C113, D113, E113, F#113, G113, A113, B113, C114, D114, E114, F#114, G114, A114, B114, C115, D115, E115, F#115, G115, A115, B115, C116, D116, E116, F#116, G116, A116, B116, C117, D117, E117, F#117, G117, A117, B117, C118, D118, E118, F#118, G118, A118, B118, C119, D119, E119, F#119, G119, A119, B119, C120, D120, E120, F#120, G120, A120, B120, C121, D121, E121, F#121, G121, A121, B121, C122, D122, E122, F#122, G122, A122, B122, C123, D123, E123, F#123, G123, A123, B123, C124, D124, E124, F#124, G124, A124, B124, C125, D125, E125, F#125, G125, A125, B125, C126, D126, E126, F#126, G126, A126, B126, C127, D127, E127, F#127, G127, A127, B127, C128, D128, E128, F#128, G128, A128, B128, C129, D129, E129, F#129, G129, A129, B129, C130, D130, E130, F#130, G130, A130, B130, C131, D131, E131, F#131, G131, A131, B131, C132, D132, E132, F#132, G132, A132, B132, C133, D133, E133, F#133, G133, A133, B133, C134, D134, E134, F#134, G134, A134, B134, C135, D135, E135, F#135, G135, A135, B135, C136, D136, E136, F#136, G136, A136, B136, C137, D137, E137, F#137, G137, A137, B137, C138, D138, E138, F#138, G138, A138, B138, C139, D139, E139, F#139, G139, A139, B139, C140, D140, E140, F#140, G140, A140, B140, C141, D141, E141, F#141, G141, A141, B141, C142, D142, E142, F#142, G142, A142, B142, C143, D143, E143, F#143, G143, A143, B143, C144, D144, E144, F#144, G144, A144, B144, C145, D145, E145, F#145, G145, A145, B145, C146, D146, E146, F#146, G146, A146, B146, C147, D147, E147, F#147, G147, A147, B147, C148, D148, E148, F#148, G148, A148, B148, C149, D149, E149, F#149, G149, A149, B149, C150, D150, E150, F#150, G150, A150, B150, C151, D151, E151, F#151, G151, A151, B151, C152, D152, E152, F#152, G152, A152, B152, C153, D153, E153, F#153, G153, A153, B153, C154, D154, E154, F#154, G154, A154, B154, C155, D155, E155, F#155, G155, A155, B155, C156, D156, E156, F#156, G156, A156, B156, C157, D157, E157, F#157, G157, A157, B157, C158, D158, E158, F#158, G158, A158, B158, C159, D159, E159, F#159, G159, A159, B159, C160, D160, E160, F#160, G160, A160, B160, C161, D161, E161, F#161, G161, A161, B161, C162, D162, E162, F#162, G162, A162, B162, C163, D163, E163, F#163, G163, A163, B163, C164, D164, E164, F#164, G164, A164, B164, C165, D165, E165, F#165, G165, A165, B165, C166, D166, E166, F#166, G166, A166, B166, C167, D167, E167, F#167, G167, A167, B167, C168, D168, E168, F#168, G168, A168, B168, C169, D169, E169, F#169, G169, A169, B169, C170, D170, E170, F#170, G170, A170, B170, C171, D171, E171, F#171, G171, A171, B171, C172, D172, E172, F#172, G172, A172, B172, C173, D173, E173, F#173, G173, A173, B173, C174, D174, E174, F#174, G174, A174, B174, C175, D175, E175, F#175, G175, A175, B175, C176, D176, E176, F#176, G176, A176, B176, C177, D177, E177, F#177, G177, A177, B177, C178, D178, E178, F#178, G178, A178, B178, C179, D179, E179, F#179, G179, A179, B179, C180, D180, E180, F#180, G180, A180, B180, C181, D181, E181, F#181, G181, A181, B181, C182, D182, E182, F#182, G182, A182, B182, C183, D183, E183, F#183, G183, A183, B183, C184, D184, E184, F#184, G184, A184, B184, C185, D185, E185, F#185, G185, A185, B185, C186, D186, E186, F#186, G186, A186, B186, C187, D187, E187, F#187, G187, A187, B187, C188, D188, E188, F#188, G188, A188, B188, C189, D189, E189, F#189, G189, A189, B189, C190, D190, E190, F#190, G190, A190, B190, C191, D191, E191, F#191, G191, A191, B191, C192, D192, E192, F#192, G192, A192, B192, C193, D193, E193, F#193, G193, A193, B193, C194, D194, E194, F#194, G194, A194, B194, C195, D195, E195, F#195, G195, A195, B195, C196, D196, E196, F#196, G196, A196, B196, C197, D197, E197, F#197, G197, A197, B197, C198, D198, E198, F#198, G198, A198, B198, C199, D199, E199, F#199, G199, A199, B199, C200, D200, E200, F#200, G200, A200, B200, C201, D201, E201, F#201, G201, A201, B201, C202, D202, E202, F#202, G202, A202, B202, C203, D203, E203, F#203, G203, A203, B203, C204, D204, E204, F#204, G204, A204, B204, C205, D205, E205, F#205, G205, A205, B205, C206, D206, E206, F#206, G206, A206, B206, C207, D207, E207, F#207, G207, A207, B207, C208, D208, E208, F#208, G208, A208, B208, C209, D209, E209, F#209, G209, A209, B209, C210, D210, E210, F#210, G210, A210, B210, C211, D211, E211, F#211, G211, A211, B211, C212, D212, E212, F#212, G212, A212, B212, C213, D213, E213, F#213, G213, A213, B213, C214, D214, E214, F#214, G214, A214, B214, C215, D215, E215, F#215, G215, A215, B215, C216, D216, E216, F#216, G216, A216, B216, C217, D217, E217, F#217, G217, A217, B217, C218, D218, E218, F#218, G218, A218, B218, C219, D219, E219, F#219, G219, A219, B219, C220, D220, E220, F#220, G220, A220, B220, C221, D221, E221, F#221, G221, A221, B221, C222, D222, E222, F#222, G222, A222, B222, C223, D223, E223, F#223, G223, A223, B223, C224, D224, E224, F#224, G224, A224, B224, C225, D225, E225, F#225, G225, A225, B225, C226, D226, E226, F#226, G226, A226, B226, C227, D227, E227, F#227, G227, A227, B227, C228, D228, E228, F#228, G228, A228, B228, C229, D229, E229, F#229, G229, A229, B229, C230, D230, E230, F#230, G230, A230, B230, C231, D231, E231, F#231, G231, A231, B231, C232, D232, E232, F#232, G232, A232, B232, C233, D233, E233, F#233, G233, A233, B233, C234, D234, E234, F#234, G234, A234, B234, C235, D235, E235, F#235, G235, A235, B235, C236, D236, E236, F#236, G236, A236, B236, C237, D237, E237, F#237, G237, A237, B237, C238, D238, E238, F#238, G238, A238, B238, C239, D239, E239, F#239, G239, A239, B239, C240, D240, E240, F#240, G240, A240, B240, C241, D241, E241, F#241, G241, A241, B241, C242, D242, E242, F#242, G242, A242, B242, C243, D243, E243, F#243, G243, A243, B243, C244, D244, E244, F#244, G244, A244, B244, C245, D245, E245, F#245, G245, A245, B245, C246, D246, E246, F#246, G246, A246, B246, C247, D247, E247, F#247, G247, A247, B247, C248, D248, E248, F#248, G248, A248, B248, C249, D249, E249, F#249, G249, A249, B249, C250, D250, E250, F#250, G250, A250, B250, C251, D251, E251, F#251, G251, A251, B251, C252, D252, E252, F#252, G252, A252, B252, C253, D253, E253, F#253, G253, A253, B253, C254, D254, E254, F#254, G254, A254, B254, C255, D255, E255, F#255, G255, A255, B255, C256, D256, E256, F#256, G256, A256, B256, C257, D257, E257, F#257, G257, A257, B257, C258, D258, E258, F#258, G258, A258, B258, C259, D259, E259, F#259, G259, A259, B259, C260, D260, E260, F#260, G260, A260, B260, C261, D261, E261, F#261, G261, A261, B261, C262, D262, E262, F#262, G262, A262, B262, C263, D263, E263, F#263, G263, A263, B263, C264, D264, E264, F#264, G264, A264, B264, C265, D265, E265, F#265, G265, A265, B265, C266, D266, E266, F#266, G266, A266, B266, C267, D267, E267, F#267, G267, A267, B267, C268, D268, E268, F#268, G268, A268, B268, C269, D269, E269, F#269, G269, A269, B269, C270, D270, E270, F#270, G270, A270, B270, C271, D271, E271, F#271, G271, A271, B271, C272, D272, E272, F#272, G272, A272, B272, C273, D273, E273, F#273, G273, A273, B273, C274, D274, E274, F#274, G274, A274, B274, C275, D275, E275, F#275, G275, A275, B275, C276, D276, E276, F#276, G276, A276, B276, C277, D277, E277, F#277, G277, A277, B277, C278, D278, E278, F#278, G278, A278, B278, C279, D279, E279, F#279, G279, A279, B279, C280, D280, E280, F#280, G280, A280, B280, C281, D281, E281, F#281, G281, A281, B281, C282, D282, E282, F#282, G282, A282, B282, C283, D283, E283, F#283, G283, A283, B283, C284, D284, E284, F#284, G284, A284, B284, C285, D285, E285, F#285, G285, A285, B285, C286, D286, E286, F#286, G286, A286, B286, C287, D287, E287, F#287, G287, A287, B287, C288, D288, E288, F#288, G288, A288, B288, C289, D289, E289, F#289, G289, A289, B289, C290, D290, E290, F#290, G290, A290, B290, C291, D291, E291, F#291, G291, A291, B291, C292, D292, E292, F#292, G292, A292, B292, C293, D293, E293, F#293, G293, A293, B293, C294, D294, E294, F#294, G294, A294, B294, C295, D295, E295, F#295, G295, A295, B295, C296, D296, E296, F#296, G296, A296, B296, C297, D297, E297, F#297, G297, A297, B297, C298, D298, E298, F#298, G298, A298, B298, C299, D299, E299, F#299, G299, A299, B299, C300, D300, E300, F#300, G300, A300, B300, C301, D301, E301, F#301, G301, A301, B301, C302, D302, E302, F#302, G302, A302, B302, C303, D303, E303, F#303, G303, A303, B303, C304, D304, E304, F#304, G304, A304, B304, C305, D305, E305, F#305, G305, A305, B305, C306, D306, E306, F#306, G306, A306, B306, C307, D307, E307, F#307, G307, A307, B307, C308, D308, E308, F#308, G308, A308, B308, C309, D309, E309, F#309, G309, A309, B309, C310, D310, E310, F#310, G310, A310, B310, C311, D311, E311, F#311, G311, A311, B311, C312, D312, E312, F#312, G312, A312, B312, C313, D313, E313, F#313, G313, A313, B313, C314, D314, E314, F#314, G314, A314, B314, C315, D315, E315, F#315, G315, A315, B315, C316, D316, E316, F#316, G316, A316, B316, C317, D317, E317, F#317, G317, A317, B317, C318, D318, E318, F#318, G318, A318, B318, C319, D319, E319, F#319, G319, A319, B319, C320, D320, E320, F#320, G320, A320, B320, C321, D321, E321, F#321, G321, A321, B321, C322, D322, E322, F#322, G322, A322, B322, C323, D323, E323, F#323, G323, A323, B323, C324, D324, E324, F#324, G324, A324, B324, C325, D325, E325, F#325, G325, A325, B325, C326, D326, E326, F#326, G326, A326, B326, C327, D327, E327, F#327, G327, A327, B327, C328, D328, E328, F#328, G328, A328, B328, C329, D329, E329, F#329, G329, A329, B329, C330, D330, E330, F#330, G330, A330, B330, C331, D331, E331, F#331, G331, A331, B331, C332, D332, E332, F#332, G332, A332, B332, C333, D333, E333, F#333, G333, A333, B333, C334, D334, E334, F#334, G334, A334, B334, C335, D335, E335, F#335, G335, A335, B335, C336, D336, E336, F#336, G336, A336, B336, C337, D337, E337, F#337, G337, A337, B337, C338, D338, E338, F#338, G338, A338, B338, C339, D339, E339, F#339, G339, A339, B339, C340, D340, E340, F#340, G340, A340, B340, C341, D341, E341, F#341, G341, A341, B341, C342, D342, E342, F#342, G342, A342, B342, C343, D343, E343, F#343, G343, A343, B343, C344, D344, E344, F#344, G344, A344, B344, C345, D345, E345, F#345, G345, A345, B345, C346, D346, E346, F#346, G346, A346, B346, C347, D347, E347, F#347, G347, A347, B347, C348, D348, E348, F#348, G348, A348, B348, C349, D349, E349, F#349, G349, A349, B349, C350, D350, E350, F#350, G350, A350, B350, C351, D351, E351, F#351, G351, A351, B351, C352, D352, E352, F#352, G352, A352

V.1. DATOS DE SALIDA

$\acute{a}nimo = 0$ y $actividad = 0$, durante unos 10 segundos, podríamos encontrar con una composición similar a la de la figura V.1.

Es importante recalcar que esta salida, debido al método de composición algorítmica escogido, nunca antes se habría generado y, además, nunca más se generará. Es así como cualquier ejecución del sistema proporcionará salidas diferentes a todas las anteriores, pero siempre limitado por las reglas que se han establecido en el capítulo de análisis [III.1.3].

Una vez que se tiene la posibilidad de analizar el resultado en una partitura, es interesante ver cómo evolucionan las notas junto a los diferentes estados emocionales. En un primer examen, la característica más evidente y destacada que diferencia una emoción u otra en la composición es la acumulación de notas en un mismo espacio. Este cambio sólo se produce cuando hay un cambio en el eje de $actividad$, pero es bastante evidente e importante. Para visualizar mejor este efecto, en la figura V.2 se muestra una representación *Piano Roll* cuantificada de las notas en una transición de un estado calmado a otro tenso.

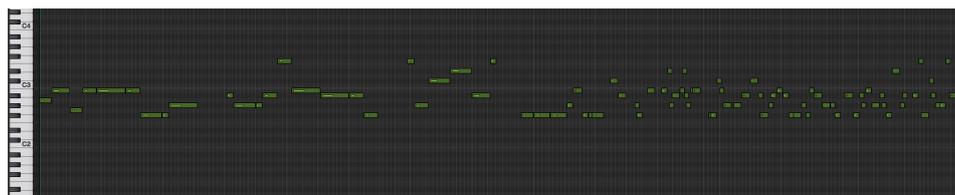


Figura V.2: Ejemplo de transición de $\acute{a}nimo = -10$ (izquierda) a $\acute{a}nimo = +10$ (derecha).

Menos evidente, pero igual o más importante es la lectura detallada de una partitura completa durante un período largo de ejecución. En ella se podrá visualizar cambios de escalas, intervalos en los acordes, melodía y ritmo, además de la cantidad de notas por compás.

En la figura V.3 vemos una partitura que se ha obtenido directamente de la aplicación del proyecto. Para realizar este ejemplo se ha partido de unos valores de $\acute{a}nimo = 9$ y $actividad = -9$, por lo que se deduce un estado emocional de calma. En este momento la tonalidad sobre la que trabaja el sistema es *Sol Mayor*; la primera nota que compone los acordes se mueven por los grados I, III y V de esta tonalidad, y la segunda está separada por 12 semitonos (intervalo de octava).

Conforme avanza la partitura, el sistema cambia de tonalidades (*La Menor* y *Do Mayor*), pero no de intervalos en los acordes, ya que en esta ejecución no se ha salido del área que corresponde a un intervalo de octava. Se han marcado con colores diferentes los compases pertenecientes a cada emoción para una mejor lectura.

Otro ejemplo para poder comprender los cambios que se realizan en la composición podría ser el de la figura V.4, en la que vemos transición entre

The image displays a musical score for piano, divided into three distinct sections, each with a specific emotional label. The score is presented in a three-staff format: a top staff for the right hand (treble clef) and two bottom staves for the left hand (bass clef). The time signature is 4/4.

- Section 1: CALMA (Measures 1-5)** - This section is highlighted in light green. It begins with a melodic line in the right hand starting on a whole note, followed by a more active bass line in the left hand. The harmonic track provides a steady accompaniment.
- Section 2: SATISFACCIÓN (Measures 6-7)** - This section is highlighted in light blue. The melodic line continues with a similar rhythmic pattern, while the bass line becomes more complex with sixteenth-note runs. The harmonic track remains consistent.
- Section 3: SORPRESA (Measures 8-9)** - This section is highlighted in a darker blue. It features a melodic line with a triplet of eighth notes in the right hand and a corresponding triplet in the left hand. The harmonic track continues to support the melody.

Figura V.3: Partitura de ejemplo de salida. Transición entre calma, satisfacción y sorpresa.

cuatro emociones (todas con *ánimo* negativo). En esta partitura sí que podemos diferenciar los cambios de intervalos en los acordes. Si nos fijamos los

V.1. DATOS DE SALIDA

acordes comienzan con un intervalo de *cuarta aumentada* (3 tonos de diferencia), y van pasando por otros intervalos (*segunda mayor*, *segunda menor*, ...); al igual que la pista melódica recorre las tonalidades *Sol Menor*, *Do# Mayor* o *Do Menor*; tal y como encontramos en las tablas de distribución de intervalos [III.9] y de tonalidades [III.10].

The image displays a musical score for a piece titled 'V.1. DATOS DE SALIDA'. The score is divided into four distinct sections, each representing a different emotional state: ENFADO (Anger), MIEDO (Fear), DISGUSTO (Disgust), and ABURRIMIENTO (Boredom). The score is written for a piano, with a treble and bass clef for the right and left hands, and a grand staff for the accompaniment. The key signature is one flat (B-flat), and the time signature is 3/4. The score is divided into measures 6 through 11. The ENFADO section (measures 6-7) is highlighted in light red. The MIEDO section (measures 8-9) is highlighted in a darker red. The DISGUSTO section (measures 10-11) is highlighted in light purple. The ABURRIMIENTO section (measures 12-13) is highlighted in light blue. The score features various musical notations, including eighth notes, quarter notes, and rests, with some measures containing triplets. The overall mood transitions from anger to fear, then to disgust, and finally to boredom.

Figura V.4: Partitura de ejemplo de salida. Transición entre enfado, miedo, disgusto y aburrimiento.

La partitura anterior representa un recorrido por cuatro estados dife-

rentes en la representación híbrida emocional. Dicha transición se podría representar con el esquema de la figura V.5.



Figura V.5: Ejemplo de recorrido en la representación híbrida del modelo emocional.

Los resultados que se obtienen a partir de las partituras y la respuesta visual de la interfaz funcionan y concuerdan correctamente según las normas establecidas en capítulos anteriores. Es, además, destacable la complejidad de las composiciones generadas a partir de la algoritmia desarrollada, que si bien podría no ser una pieza final, servirá como fuente de inspiración y base sobre la que partir en futuras evoluciones del proyecto.

‘La música compone los ánimos descompuestos.’

Miguel de Cervantes

VI

Conclusiones

En este capítulo se realizará una valoración de los resultados del proyecto, junto con la justificación de los objetivos planteados al inicio del mismo. Además, se dará una conclusión personal final del proyecto que no tiene cabida en ningún otro punto del proyecto.

VI.1 Revisión de los objetivos iniciales

Para poder estudiar si el presente proyecto ha cumplido las expectativas debemos recordar los objetivos que se planteaban en el capítulo primero, de los cuales destacábamos:

- **Demo técnica simple para lectura de parámetros de juego**

Se ha creado un ejemplo en Unity para poder realizar una demostración del sistema. Los parámetros elegidos para la prueba son basados en la cercanía a determinados objetos.

- **Recepción de datos y parametrización de la emoción**

El protocolo estándar UDP ha permitido la conexión entre Unity y la aplicación de composición algorítmica. Además, a partir de un estudio de las diferentes técnicas de clasificación de emociones, se ha creado un modelo híbrido [III.1.2] con el que poder abstraer el sistema de los parámetros del videojuego.

VI.2. DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

■ **Relación entre estado emocional y parámetros psicoacústicos/musicales**

Gracias a diversos estudios previos sobre la relación entre la música y las emociones, se ha desarrollado una serie de reglas capaces de delimitar la generación musical para que esta tenga las connotaciones psicológicas deseadas. Como se comentará en el apartado de *conclusiones*, la viabilidad de la correlación entre la salida del presente sistema y ciertas emociones es un parámetro subjetivo, por ese motivo el proyecto se desarrolla a partir de las bases musicales comentadas en el capítulo de análisis [III.1.3].

■ **Síntesis**

La gran ventaja de haber escogido la síntesis por muestreo para el desarrollo del proyecto es la escalabilidad y personalización para futuros desarrollos. Escalable porque en cualquier momento se pueden añadir nuevas reglas en el sistema que indiquen qué muestras deberá coger para la generación de la síntesis, y personalizable por el hecho de que cualquier diseñador de sonido puede ampliar la biblioteca de *samples* de manera sencilla.

■ **Interfaz de visualización**

Para poder comprender todas las reglas que el sistema está implementando para la generación de la música, se ha desarrollado una interfaz gráfica en donde se muestra toda esta información.

Por tanto se puede concluir que todos los objetivos planteados en un primer momento se han llegado a concluir.

VI.2 Descripción del desarrollo del proyecto

Para tener una visión más esclarecedora del desarrollo del proyecto, se puede dividir en tres bloques:

1. Estudio y desarrollo de la relación música/emoción

Es, sin duda, la parte más importante del proyecto. Sobre esta base se debía construir todo lo demás, y es, obviamente, a la parte a la que más tiempo se le ha dedicado. Tanto para buscar bibliografía adecuada, como para gestar reglas acordes a esta y viables para un proyecto de esta envergadura.

2. Desarrollo de la demostración en Unity y conexión UDP

Al no ser el objetivo principal, la demostración en Unity no ha acaparado más tiempo del necesario hasta que se consiguió una *escena* de ejemplo lo suficientemente explicativa. La conexión con la aplicación

mediante el protocolo de comunicación UDP no ha tenido demasiadas dificultades gracias a la documentación que se puede encontrar en la red.

3. Desarrollo de la aplicación de composición algorítmica

En cuanto las reglas compositivas estaban claras, el desarrollo de la aplicación se ha llevado gran parte de la carga de trabajo. Diferenciamos tres partes esenciales:

- Implementación del código *backend*: Todo el código se ha realizado en C++, por lo que el único inconveniente en un primer momento ha sido comprender la librería de sonido para realizar la síntesis. Como se ha comentado en capítulos anteriores, aunque las reglas compositivas establecidas no sean demasiado complejas, el llegar hasta ellas ha sido el principal motivo de la investigación de este proyecto.
- Implementación de la interfaz: La librería gráfica utilizada (*ofxUI*) sobre el conjunto de *openFrameworks* ha facilitado enormemente el desarrollo de la interfaz.
- Implementación de la síntesis: en un primer momento se realizaron pruebas de todo el sistema con síntesis aditiva, sin embargo, la falta de calidad tímbrica llevó al desarrollo hacia la síntesis por muestreo. Esta decisión ha marcado de manera muy clara el resultado final.

VI.3 Trabajos futuros o mejoras

En lo referente a futuras ampliaciones a este proyecto, se proponen las siguientes mejoras:

- Recogida de datos del jugador más completos: si se dispusiera de herramientas de control de ritmo cardíaco, humedad de la piel o tensión arterial, la decisión del estado emocional del jugador sería más preciso.
- Diferentes parámetros de juego influyentes: en este documento se citan algunos, pero hay una amplia cantidad de parámetros que pueden influir en el estado emocional del jugador.
- Ampliación de la biblioteca de sonidos: para la demostración del sistema se han escogido unos pocos *samples*, pero, como se ha comentado en apartados anteriores, es trivial y necesario añadir riqueza a esta biblioteca para conseguir resultados interesantes y personales.

VI.4. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

- Establecer reglas musicales más complejas: a lo largo del capítulo de análisis se han explicado las reglas que el sistema acata para la composición algorítmica, pero existe teoría musical aplicable al sistema que debería dar composiciones más *ricas*.
- Estudios sobre una población de individuos: para poder comprobar que el sistema funciona en una determinada situación (un videojuego concreto), no hay otra opción más evidente que probar los resultados sobre un conjunto de personas para recibir *feedback* y realizar modificaciones si fueran necesarias.

VI.4 Conclusiones del proyecto

Al inicio de esta memoria se planteaba el desarrollo de un sistema de composición algorítmica capaz de generar música acorde a las emociones del jugador durante una partida en un videojuego.

Siendo un proyecto que parte desde cero, y, por lo tanto, tratándose de un primer acercamiento para un posterior desarrollo más evolucionado, los objetivos no eran triviales.

Primeramente, la representación bidimensional de las emociones que se ha realizado conlleva ciertos matices casi imperceptibles entre áreas contiguas, como podría ser el caso de *ansiedad/nervios*, *placer/felicidad* o *disgusto/frustración*. Por eso se ha tenido que hacer el ajuste de áreas diferente para las tonalidades o los intervalos, abarcando áreas mayores que comprendan más de una emoción. Sin embargo, a nivel más general es evidente estas subdivisiones funcionan, y la diferencia de *ánimo* y *actividad* repercuten de una manera directa en la composición final.

Además, a pesar de no haber utilizado afinaciones irregulares para la generación de la composición, y por lo tanto perder parte de los matices emocionales que implica cada tonalidad, las reglas musicales impuestas [III.1.3] y la elección de la síntesis por muestreo son suficientes para dar una idea clara de lo que se desea transmitir.

El argumento principal para la creación del presente proyecto es la posibilidad de acercar el sistema tanto a diseñadores de videojuegos, como a diseñadores de sonido, proporcionando una base sobre la que poder trabajar de manera independiente, pero hacia la misma dirección. Esto, junto al hecho de haber elegido un protocolo de comunicación estándar y haber independizado el sistema de cualquier plataforma de creación de videojuegos, convierten al presente sistema en una alternativa viable e innovadora, en la medida en la que se evolucione el desarrollo, para escoger como motor de

sonido ambiental en un videojuego.

Para finalizar, son reseñables las bajas expectativas en cuanto a la calidad melódica, armónica y tímbrica que se poseían al inicio del desarrollo del proyecto debido a su complejidad musical y su carácter iniciador. Sin embargo, una vez finalizado, y a falta de mucha más evolución, quedan unas buenas impresiones.

Bibliografía

- [Amb11] Mike Ambinder. Biofeedback in gamplay: How valve measures physiology to enhance gaming experience. *GDC*, 2011.
- [Bar98] Lisa Feldman Barret. Discrete emotions or dimensions? the role of valence focus and arousal focus. 1998.
- [Ben08] Dave Benson. Music: A mathematical offering. 2008.
- [BRP14] Renato Panda Bruno Rocha and Rui Pedro Paiva. Music emotion recognition with standard and melodic audio features. *Journal of New Music Research*, 2014.
- [Coo59] D. Cooke. The language of music. *Oxford University Press*, 1959.
- [Ekm99] Paul Ekman. Basic emotions. 1999.
- [GKM04] Björn Merker Göran Krantz and Guy Madison. Subjective reactions to musical intervals assessed by rating scales. *ICMPC8*, 2004.
- [Iñe13] José Manuel Iñesta. Recordatorio psicoacústica. 2013.
- [Mah13] Timothy F. Maher. A rigorous test of the proposition that musical intervals have different psychological effects. 2013.
- [MCB00] Pio Enrico Ricci Bitti Marco Costa and Luis Bonfiglioli. Psychological connotations of harmonic musical intervals. 2000.
- [MDvdZ11] Egon L. van den Broek Marjolein D. van der Zwagg, Joyce H.D.M. Westerink. Emotional and psychophysiological response to tempo, mode, and percussiveness. *Music Scientiae*, 2011.
- [PCTH13] Mike T. Mendl John M. McNamara Pete C. Trimmer, Elizabeth S. Paul and Alasdair I. Houston. On the evolution and optimality of mood states. 2013.
- [Sch84] Christian Schubart. Key characteristics. 1784.
- [TE10] Rafael Ferrer Tuomas Eerola, Vinoo Alluri. Emotional connotations of isolated instruments sounds. *ICMPC10*, 2010.

BIBLIOGRAFÍA

- [TJ08] Ana Tajadura-Jimenez. *Embodied psychoacustics: Spatial and multisensory determinants of auditory-induced emotion*. Doktorsavhandlingar vid Chalmers Tekniska Högskola, 2008.

