

03063



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERIA
DE LA COMPUTACION

MODELO EN COMPUTADORA DEL
PROCESO CREATIVO EN MUSICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS (COMPUTACION)

P R E S E N T A :

GUSTAVO DE LA CRUZ MARTINEZ

DIRECTOR: DR. RAFAEL PEREZ Y PEREZ

m340268

MEXICO, D.F.

2005



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Gustavo de la Cruz Martínez

FECHA: 21/10/2005

FIRMA: [Firma manuscrita]

Índice general

1. Introducción	5
1.1. La composición musical y la computadora	6
1.2. Creatividad	6
1.3. Sharples y el proceso de escritura	6
1.4. Modelos cognitivos en computadora	7
1.5. Improvisación de Jazz	7
1.6. Objetivos y resultados generales	7
1.7. Organización de la tesis	8
2. Composición automática de música	11
2.1. Introducción	11
2.2. Composición automática	11
2.3. Aleatoriedad	12
2.3.1. Pioneros de la composición automática por computadora	12
2.3.2. Usos de los generadores aleatorios	13
2.4. Métodos de composición	14
2.4.1. Probabilidades	14
2.4.2. Funciones	15
2.4.3. Automatas	16
2.4.4. Redes neuronales	16
2.4.5. Automatas celulares	20
2.4.6. Programación evolutiva	22
2.4.7. Resumen	23
3. Creatividad: explicaciones y modelos	25
3.1. Introducción	25
3.2. Creatividad	25
3.2.1. Explicaciones de la creatividad	26
3.3. Sharples y su teoría del proceso de escritura	28
3.3.1. El modelo E-R	30
3.3.2. Resumen	32

4. El Novato	33
4.1. Introducción	33
4.2. ¿Cómo se improvisa?	34
4.2.1. John LaPorta	34
4.2.2. El método de LaPorta	34
4.3. El NOVATO	35
4.4. Funcionamiento general	37
4.5. Etapa de aprendizaje	38
4.5.1. Entrenamiento Rítmico	38
4.5.2. Entrenamiento melódico	42
4.5.3. Melodías y backgrounds	46
4.6. Etapa de improvisación	49
4.6.1. Transformación a la representación interna	51
4.6.2. Selección de backgrounds útiles	52
4.6.3. Generación del background	54
4.6.4. Generación de la improvisación	57
4.6.5. Resumen	61
5. Funcionamiento a detalle	63
5.1. Ejemplo paso a paso	63
5.2. Etapa de aprendizaje	64
5.2.1. Entrenamiento rítmico	64
5.2.2. Entrenamiento melódico	70
5.2.3. Melodía y backgrounds	73
5.3. Etapa de improvisación	77
5.3.1. Transformación a la representación interna	77
5.3.2. Selección de backgrounds útiles	77
5.3.3. Generación del background	79
5.3.4. Generación de la improvisación	84
5.4. Análisis del comportamiento del NOVATO	91
5.5. Resumen	92
6. Evaluaciones	93
6.1. Introducción	93
6.2. Evaluación desde la metodología de LaPorta	93
6.3. Evaluación desde el punto de vista de la creatividad	98
6.4. Evaluación desde el punto de vista de un experto	101
6.5. Evaluación con el público	102
7. Conclusiones	105
7.1. Trabajo a futuro	107

A. Improvisación de Jazz	109
A.1. Breve historia del Jazz	109
A.2. Improvisación y composición	111
B. Midi	113
B.1. MIDI	113
B.2. Mensajes MIDI	114
B.3. Sincronización en MIDI	114
B.4. La interfaz MIDI	115
C. JMusic	117
C.1. Las estructuras de datos en jMusic	117
C.1.1. Nota	117
C.1.2. Frase	118
C.1.3. Parte	118
C.1.4. Partitura	118
C.1.5. RTLine	118
C.1.6. RTMixer	118

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad las computadoras se han vuelto un elemento presente casi en cada lugar de nuestra vida, desde actividades científicas dirigidas a un grupo reducido de personas, hasta labores más comunes a las que la mayor parte de la gente puede acceder; el arte no pudo ser ajeno a este hecho.

Algunas actividades artísticas han sido más receptibles a la tecnología que otras, pero es indiscutible que esta amalgama de arte y tecnología será siempre interesante.

Por otro lado, el carácter curioso del hombre lo ha llevado a buscar la respuesta a todo tipo de enigmas, entre ellos los de la mente. Diversos procesos cognitivos han sido analizados desde variados puntos de vista, pero un misterio que se ha mantenido vigente por mucho tiempo es la creatividad. Han existido muchos mitos a su alrededor, se han propuesto diferentes explicaciones "científicas" que no han tenido todo el éxito esperado.

En el área de la escritura podemos encontrar algunas investigaciones que presentan ideas muy interesantes y que han comenzado a ser tomadas en cuenta seriamente. En este punto es donde aparecen nuevamente las computadoras: se ha encontrado en la computadora una herramienta útil para el análisis de dichas ideas y generalizarlas a otras áreas. Un ejemplo claro de esto es el modelo de Pérez y Pérez (Pérez y Pérez, 2001) (Pérez y Pérez, 1999) para la generación de programas creativos en computadora; su modelo está basado en el trabajo de Sharples (Sharples, 1999) sobre el proceso seguido por los seres humanos al momento de escribir.

El objetivo de esta tesis es aplicar las ideas de Sharples en el terreno de la música, en particular en el área de la improvisación del Jazz.

Pérez y Pérez ha presentado resultados que indican que la propuesta de Sharples es adecuada para el proceso de escritura; su sistema de cómputo MEXICA ha tenido un desempeño adecuado en la generación de cuentos. En este trabajo planteamos un sistema que retoma las ideas fundamentales de MEXICA y aborda un tema diferente: la improvisación de Jazz. Pero esta exploración se realiza desde un punto de vista muy particular: el enfoque de un novato, es decir, de un principiante en la improvisación de Jazz.

Se escogió el enfoque del novato ya que diversos estudios indican que los principiantes usan estructuras de conocimiento más simples que los expertos, así que consideramos que sería más fácil tomar como punto de inicio el enfoque de los principiantes.

1.1. La composición musical y la computadora

La composición musical, lo mismo que otras actividades artísticas, ha sido muy polémica: lo que para unos es una gran obra para otros no lo es tanto; aún más, este tipo de apreciación se ve muy influenciada por la forma en que la melodía se produjo. A pesar de estos problemas, se han buscado diferentes métodos para la producción de música de manera automática. Este esfuerzo proviene desde mucho tiempo antes del diseño de las primeras computadoras. Estos intentos de producir música de forma automática han sido propuestos por personas de todo tipo de áreas: filósofos, músicos, matemáticos, etcétera. Estos esfuerzos han generado todo un campo de estudio conocido como *composición automática*, que abarca a todos aquellos métodos formales para "hacer" música con la mínima intervención humana.

Ya con la aparición de las computadoras esta inquietud retomó fuerza y muchos investigadores comenzaron a desarrollar modelos en computadora que "componen" música de manera automática. Para esto se han valido de diversas metodologías utilizadas en los sistemas de cómputo: métodos estocásticos, fractales, sistemas dinámicos, autómatas, gramáticas formales, redes neuronales, autómatas celulares, programación evolutiva, entre otras.

Los diversos modelos han atacado diferentes aspectos de la composición musical, pero el tema es tan amplio, que es casi imposible encontrar un sistema que cubra todas las características de la composición. Es factible creer que para cada sistema podríamos encontrar varios aspectos que no fueron considerados y trabajar para resolver tales problemas con alguna técnica computacional obteniendo un mejor sistema de composición. Pero un problema importante en el diseño de algunos programas como éstos, es que no fueron diseñados tomando como referencia un modelo cognitivo de la composición, o una parte de él, así que, aunque dichos sistemas produzcan resultados impresionantes no pueden ser directamente utilizados como una herramienta para el estudio de los procesos cognitivos en música.

1.2. Creatividad

Al hablar de composición musical un término que inmediatamente se vuelca a la mente es: creatividad. Resulta tan difícil definir este término, que incluso marcar una línea divisoria entre si algo es creativo o no, es casi imposible. Muchos esfuerzos han sido realizados con el fin de explicar la creatividad pero la mayoría han sido insuficientes.

Luego de grandes discusiones al respecto de la creatividad se han alcanzado algunos consensos. Uno muy importante es que para considerar algo como creativo, éste no solamente debe ser nuevo, si no que debe ser de valor o apropiado para las demandas cognitivas de la situación (Weisberg, 1993). De esta forma, podemos seguir avanzando en el estudio de la creatividad sin necesidad de definirla totalmente.

1.3. Sharples y el proceso de escritura

Al realizar un estudio sobre la creatividad, es común prestar atención a la manera en que el humano realiza diversas labores consideradas como creativas. Sharples ha emplea-

do este procedimiento para el caso de la escritura; sus investigaciones lo han llevado a proponer un modelo de dicho proceso denominado *Engagement & Reflection*. Dicho planteamiento indica la existencia de dos fases: la fase de *engagement*, la cual está relacionada con la generación de ideas; y la fase de *reflection*, en donde las ideas son evaluadas. A decir de Sharples, la escritura creativa se realiza en un ciclo entre estas dos fases.

Otro resultado importante obtenido del trabajo de Sharples es el indicar la existencia de una diferencia entre novedad y creatividad, ya que una frase puede ser gramaticalmente correcta y nueva, pero carente de sentido, lo que nos indica que no sólo debemos buscar algo correcto y novedoso, además deber ser adecuado para la tarea. Para alcanzar estos objetivos Sharples propone el uso de restricciones.

1.4. Modelos cognitivos en computadora

Aunque la propuesta de Sharples no está pensada para producir un modelo de cómputo de manera directa, esta inquietud sí ha existido. Pérez y Pérez desarrolló un modelo de este tipo y realizó una implementación de él: un programa de cómputo para la generación de cuentos.

El trabajo de Pérez y Pérez fue tomado como referencia para el desarrollo de otros sistemas: el sistema descrito en este trabajo es un ejemplo de ellos.

1.5. Improvisación de Jazz

La improvisación de Jazz, al igual que otras expresiones artísticas, tiene diversas corrientes que tratan de indicar la forma en que se debe llevar a cabo, por esta misma razón han surgido muchas metodologías de enseñanza de la improvisación del Jazz. Una que ha sido muy utilizada desde los años 60's es la metodología de John LaPorta; ella resalta la importancia de la experiencia en la improvisación sobre el aprendizaje de la teoría, es decir, LaPorta indica que los estudiantes deben de tener experiencia en la improvisación y luego aprender teoría para entender qué es lo que realmente están haciendo (LaPorta, 2000). Basándose en estas ideas John LaPorta escribe su libro "A Guide to Jazz Improvisation" donde plantea su metodología en 1968.

Analizando el libro de LaPorta concluimos que él busca que cada estudiante construya sus propias estructuras mentales para la improvisación, mediante dos elementos, por un lado, a partir de los ejemplos incluidos en su método y por el otro, siguiendo los lineamientos ahí planteados acerca del proceso de improvisación, consiguiendo con esto que el estudiante defina su propia metodología de improvisación de jazz. De manera general, nosotros podemos identificar dos estructuras básicas: una para adquirir experiencia con respecto a la producción de variaciones simples y la otra para la generación de fragmentos de improvisaciones, denominada background.

1.6. Objetivos y resultados generales

Basados en las ideas de la metodología LaPorta nos planteamos algunas preguntas:

- ¿Es posible caracterizar a las estructuras mentales creadas por el estudiante?
- ¿Se puede modelar en computadora dichas estructuras?
- LaPorta no indica cómo deben ser construidas las estructuras y no hay una metodología paso a paso para construir las estructuras básicas, ¿es posible modelar este proceso?
- ¿Se puede construir un sistema de cómputo que implemente algunas de las ideas de la metodología de LaPorta?

El objetivo principal de este trabajo gira alrededor de estas preguntas, en particular de la última: se busca crear un sistema de cómputo que modele las ideas de LaPorta siguiendo su libro "A Guide to Jazz Improvisation".

Las hipótesis que manejaremos son:

- Los ejercicios propuestos en dicho libro dan suficiente información para generar las estructuras mentales básicas.
- Partiendo de background adecuado, podemos generar una improvisación coherente siguiendo la metodología de LaPorta.

Bajo este panorama podemos mencionar que los resultados más importantes de este trabajo son:

- El modelado de las estructuras básicas desde la perspectiva de un principiante.
- Un algoritmo para la construcción de backgrounds.
- Un modelo en computadora de una parte de la metodología de LaPorta.

1.7. Organización de la tesis

Esta tesis está organizada como sigue:

- En el capítulo 2 se presenta una breve recapitulación acerca de la composición automática, describiendo algunos métodos basados en diversas técnicas computacionales; en esta revisión se plantean las características fundamentales de la metodología así como sus limitaciones y ventajas.
- El capítulo 3 contiene un resumen de algunas de las teorías relacionadas con la creatividad, así como una descripción del modelo que es utilizado en el diseño de nuestro sistema.
- El capítulo 4, se enfoca en la descripción del programa para la improvisación de Jazz, el novato; en él se describe su comportamiento de manera general: la representación de las melodías dentro del sistema, la estructuras del conocimiento, y el proceso de entrenamiento e improvisación de manera detallada.
- En el capítulo 5 se revisa el funcionamiento del novato paso a paso, desde la fase de entrenamiento hasta la producción de la improvisación final.
- El capítulo 6 describe las diferentes evaluaciones que fueron realizadas a las improvisaciones generadas por el sistema.

- Finalmente, en el capítulo 7, se describen las cualidades y problemas presentados por este sistema, así como las direcciones que se puede tomar en el trabajo futuro.

Capítulo 2

Composición automática de música

2.1. Introducción

La composición automática de música es un tópico que ha interesado a los investigadores desde mucho antes del desarrollo de las ciencias de la computación. Algunos de los primeros intentos se remontan a la época de los griegos (Alpern, 1995). Pitágoras, por ejemplo, creía en la existencia de relaciones entre leyes de la naturaleza y la armonía de los sonidos. Otro método, atribuido a Wolfgang Amadeus Mozart, fue el juego *Musikalisches Würfelspiel* (Música de los dados) (Roads, 1998) que involucraba el ensamble de pequeños fragmentos musicales y combinación de ellos para formar nuevas piezas.

Luego, con el surgimiento de la ciencia de la computación la idea de la composición automática retomó fuerza y algunos investigadores comenzaron a diseñar mecanismos de cómputo útiles para dicho fin. Tratar de enumerar todos los trabajos relacionados con el tema resultaría una tarea muy compleja; incluso, el hecho de hablar sobre los paradigmas que se han usado puede ser una labor abrumadora. Por esta razón, en este capítulo trataremos de presentar una visión muy general de algunas de las metodologías más importantes.

Para realizar este análisis comenzaremos describiendo los procesos usados para la composición automática, sus limitaciones y ventajas con respecto a las otras metodologías.

2.2. Composición automática

Al hablar de composición musical de manera automática, llamada comúnmente *composición automática*, no necesariamente nos referimos a una composición musical hecha por una computadora; más bien, a un método formal para "hacer" música con la mínima intervención humana. Dado que buscamos que tal método esté bien formalizado, en algunas ocasiones puede ser llevado a un sistema de cómputo para que componga música de manera automática.

Desde la antigüedad se han propuesto procesos para automatizar la composición; por ejemplo, en la época de los griegos se trató de determinar relaciones entre la naturaleza y la música (Grout and Palisca, 1996). Los antiguos músicos griegos construyeron su sistema musical sobre teorías acerca de los números, así como algunas propiedades matemáticas derivadas de la naturaleza.

En épocas más recientes, también se han hecho propuestas innovadoras acerca de la composición automática. John Cage construyó una pieza denominada *Reunión* (Alpern, 1995), la cual es generada a partir de un juego de ajedrez: la partida se juega sobre un tablero con fotoreceptores, en donde cada jugada se interpreta como un sonido, por lo que la pieza es diferente cada vez que se ejecuta. Otra propuesta de Cage es la composición basada en fenómenos naturales; ejemplo de ésta es su composición *Atlas Eclipticales* de 1961 (Alpern, 1995), la cual fue realizada tomando como referencia cartas astronómicas. Charles Dodge retoma estas ideas, considerando las fluctuaciones de los campos magnéticos de la tierra, construye en 1970 su pieza titulada *The Earth's Magnetic Field* (Dodge and Bahn, 1986).

Una cualidad muy criticada de la composición automática es qué tan determinista es el método de composición utilizado, es decir, cuán predecible es su comportamiento y las obras producidas. En el caso de las propuestas anteriores, los factores fuera del proceso son cuáles indican qué tan determinista será su comportamiento.

2.3. Aleatoriedad

Al tratar de definir un método de composición, uno de los primeros rasgos a tomar en cuenta puede ser la definición de con qué sonido iniciar. Observando los ejemplos anteriores, vemos que algunas metodologías usan factores externos al proceso (una partida de ajedrez, fenómenos naturales, entre otros) para decidir este tipo de peculiaridades; pero cuando se trata de describir totalmente el procedimiento, debemos encontrar la manera de determinar cómo se realizarán cada uno de los pasos del proceso. Para la especificación de cada uno de dichos procesos se pueden utilizar diversos métodos de decisión.

Teniendo en mente la idea anterior, diremos que las versiones más sencillas de composición automática están basadas en datos generados de manera aleatoria, es decir, la regla de decisión usa información aleatoria para seleccionar la acción a realizar. La versión más sencilla de éste método podría ser:

Generar un número determinado de sonidos y silencios de manera aleatoria para formar con ellos la composición musical.

Sin embargo a esta sencilla descripción le falta indicar, por ejemplo, cuáles son todos los posibles sonidos a considerar, el orden en que se tomarán en cuenta para formar la composición, etcétera.

Diversas propuestas basadas en métodos aleatorios han surgido a lo largo de la historia. Un ejemplo de éstas es el ya mencionado juego *Musikalisches Würfelspiel* de Wolfgang Amadeus Mozart, el cual utilizaba la aleatoriedad para seleccionar los fragmentos que formarían la pieza final.

2.3.1. Pioneros de la composición automática por computadora

Casi a la par del surgimiento de la Ciencias de la Computación, la inquietud de usar los sistemas de cómputo en áreas consideradas ajenas a la ciencia tomó fuerza. A partir de 1955, Lejaren Hiller junto con Leonard Isaacson y Robert Baker intentaron simular el proceso de composición y en 1957, con la ayuda de la computadora digital Iliac de la Universidad de Illinois, compusieron la *Iliac Suite* (Alpern, 1995). En este primer

paso, la partitura de la composición fue generada por la computadora y luego transcrita a notación musical tradicional.

El proceso de composición usado para la producción de la *Illiad Suite* planteaba un método dividido en tres módulos: el generador, el modificador y el selector (Hiller and Isaacson, 1959). Cada módulo realiza las siguientes tareas respectivamente:

1. Generación de "materia prima", la cual será la base de la composición. Esta generación se realizará de forma aleatoria.
2. Manipulación de la materia prima mediante varias técnicas, como permutaciones, transformaciones geométricas, entre otras.
3. Selección del material útil para la composición, con base en diversas reglas.

El trabajo de Hiller y Baker se concretó a mediados de 1960 en MUSICOMP (MUSIC Simulator Interpreter for COMpositional Procedures). MUSICOMP es uno de los primeros sistemas que abordan la composición automatizada y su modelo de composición es el mismo que se utilizó para la producción de la *Illiad Suite*, es decir, la generación, modificación y selección (Alpern, 1965). MUSICOMP contaba con una biblioteca de rutinas, la cual, a decir de Hiller y Baker, le daba gran flexibilidad y generalidad, pues permitía al programador usar alguna de ellas dentro de su programa para que cada persona pudiera definir su propio estilo de composición. Hiller y Baker tratan de demostrar lo anterior con su obra *Computer Cantata* (Hiller and Baker, 1964). Es importante notar que MUSICOMP basa su fase de generación en la producción aleatoria de material.

Iannis Xenakis es también uno de los pioneros en la composición automática; su propuesta consiste en usar a la computadora como un elemento auxiliar para escribir una partitura, más que como un sistema autónomo de composición. Su programa de "música estocástica" (SMP, por sus siglas en inglés) (Xenakis, 1971), construye la partitura a partir de una lista de densidades y pesos probabilísticos de las notas que el usuario proporciona; de tal forma que, el comportamiento del sistema está guiado por métodos estadísticos y probabilísticos: las decisiones específicas recaen en un generador de números aleatorios. El modelo usado por el SMP considera a la composición como una secuencia de secciones, cada una caracterizada por la duración y la densidad de las notas usadas dentro de ella.

2.3.2. Usos de los generadores aleatorios

De las propuestas anteriores, observamos que las características de estos sistemas están fuertemente relacionadas con un generador aleatorio de datos.

Podemos notar dos usos de la información aleatoria: por un lado se usa para producir el material básico de la composición (notas, frases musicales o algunas restricciones que se busca satisfacer), que luego es procesado mediante reglas o métodos ya definidos; por el otro, algunos procesos la utilizan para tomar decisiones acerca de la composición, por ejemplo, al generar eventos musicales más complejos de acuerdo a tablas de probabilidad (Roads, 1996).

En el caso de que el generador funcione como una fuente de información, vemos que el comportamiento del sistema es en cierta forma determinista, pues, una vez obtenido el material o las restricciones, el sistema aplicará un número fijo de operaciones para obtener la composición final.

Mientras que, cuando es usado en el proceso de toma de decisiones, el comportamiento del sistema es probabilístico, ya que la composición dependerá del número aleatorio generado y las probabilidades consideradas para la selección de la acción a tomar.

De manera general, podemos decir que muchas de las propuestas de composición automática por computadora usan de una u otra forma un generador aleatorio, aunque varias de ellas combinan su uso tanto en la producción de material como en la toma de decisiones.

2.4. Métodos de composición

Como ya mencionamos, existen numerosas estrategias para la composición automática; en esta sección mencionaremos algunas de ellas, indicando sus ventajas y desventajas.

2.4.1. Probabilidades

Durante mucho tiempo los investigadores y estudiosos de la música han realizado el análisis de las composiciones musicales y han detectado características generales en la música a lo largo del tiempo, lo cual les ha permitido identificar épocas o etapas con rasgos bien definidos. Pero aún más, al analizar las composiciones de un autor en especial, se han identificado rasgos particulares de cada uno. Estos estudios se pueden realizar tomando como base el uso de los distintos elementos musicales.

Los análisis más sencillos de las composición musical se han enfocado en estudiar la manera en que se usan los elementos básicos de la música, por ejemplo, cuántas veces y en qué forma se usa una nota. Pero otros más generales, han buscado clasificar los eventos usados en una composición, entendiendo por un evento no sólo a las características de una nota, sino también las relaciones que existen entre ellas.

Composición basada en probabilidades

Se han hecho diversos estudios acerca de la predicción del comportamiento de una melodía en base a las distribución de probabilidad de sus eventos. Mediante el uso de tablas de estadísticas se han construido sistemas de composición musical; sin embargo, con el fin de obtener mejores resultados, se ha tratado de buscar otros métodos, como las cadenas de Markov. Las cadenas de Markov son sistemas de probabilidad condicional donde el valor de verosimilitud de eventos futuros dependen de uno o más eventos pasados. El número de eventos pasados que son tomados en cuenta en cada etapa son conocidos como el *orden* de una cadena.

Ejemplos de sistemas de composición que usan las cadenas de Markov son los sistemas MUSICOM y el programa de música estocástica, comentados anteriormente.

Críticas al uso de probabilidades

Uno de los problemas que presentan los sistemas de composición musical con comportamiento probabilístico, es que las tablas de probabilidad están completamente relacionadas con los rasgos que se van considerar en la composición; en otras palabras, dichas

tablas se calculan con el análisis de ciertas características, por lo que los datos dependen totalmente de ellas; de esta forma, los eventos a generar o seleccionar deben incluir las características deseadas. Por esta razón, los sistemas son muy rígidos y es muy difícil extenderlos para estudiar otros aspectos de las composiciones.

2.4.2. Funciones

Por otro lado, con el fin de tratar de obtener una descripción detallada del comportamiento de fragmentos musicales, se ha tratado de describir la música como componentes que interactúan entre sí. Con este fin, se han propuesto descripciones para los fragmentos musicales cuyo comportamiento depende de algunos parámetros. Así, el hecho de establecer la relación entre fragmentos de música y funciones que describan su comportamiento fue un paso natural.

Pero en este enfoque, se ha observado que algunos fragmentos no sólo están interactuando con el resto de los otros fragmentos de la melodía, sino que algunos tienen una relación tan fuerte que podría pensarse que son casi el mismo, es decir, se detecta cierto grado de recurrencia. Se ha buscado obtener este comportamiento mediante funciones recursivas.

Composición usando fractales

En 1978 Richard F. Voss y John R. Clarke, conduciendo un experimento en el cuál analizaban la densidad espectral de datos de audio de diversas formas musicales para identificar las fluctuaciones de la melodía a lo largo del tiempo, encontraron que muchas formas de música exhibían un conducta de fluctuación que variaba siguiendo el comportamiento de la función $1/f$, donde f es la frecuencia de la densidad espectral (Clarke and Voss, 1978). La función $1/f$ está muy relacionada con los fractales.

Los fractales, al igual que las cadenas de Markov, son sistemas probabilísticos que tratan de mantener cierta información con las llamadas recursivas; en otras palabras, podemos decir que los fractales contiene una imagen de sí mismas en cada una de sus partes.

Basándose en estos resultado, Voss y Clarke realizaron algunas pruebas generando melodías mediante la función $1/f$. McNabb también uso los algoritmos de fractales para generar efectos de vibrato (McNabb, 1981) (McNabb, 1986), y Waschka y Kurepa aplicaron los fractales para el control del timbre en la síntesis granular (Waschka and Kurepa, 1990).

Críticas a la composición recursiva

Una de las principales críticas que se le ha hecho a sistemas basados en funciones recursivas y fractales es el hecho de que una vez definida la función no se le pueden hacer grandes cambios, lo cual provoca que al escuchar las melodías, éstas suenen repetitivas.

2.4.3. Autómatas

Otros estudios se han enfocado en el análisis de tareas mecánicas en la labor de la composición, así que los investigadores han tratado de buscar modelos matemáticos que ayuden a simular dichos rasgos de las composiciones.

El modelo más general en computación son los autómatas, así que no podía dejar de ser utilizada para la composición automática.

Los autómatas

Un autómata o máquina de estados es un modelo matemático que produce una salida que depende de los datos de entrada y de su estado interno en ese momento (Neumann, 1951). Cualquier función computable puede ser representada en términos de un autómata. La representación de autómatas ha sido usada para estudiar varios tipos de procesos musicales (Pope, 1986).

Composición mediante autómatas

Al tratar de establecer un proceso de composición, es necesario determinar los aspectos de ella (o de la partitura) que se van a considerar. Al representar este mecanismo con autómatas, dichas características serán modeladas como parámetros de una o más de estas máquinas.

Un ejemplo del uso de autómatas en el proceso de composición es la propuesta de Roads, quien plantea un autómata que es capaz de construir un acorde a partir de una nota (Roads, 1996).

Para extender el comportamiento de los autómatas podemos considerar a varios de ellos, tales que al ser conectados formen un sistema más complejo (Roads, 1976) (Roads, 1992).

El problema de este tipo de métodos es que su comportamiento es muy estático y por tal razón se ha optado por otro tipo de métodos.

2.4.4. Redes neuronales

Muchos de los trabajos sobre composición automática antes mencionados toman como guía de construcción algunas reglas de la teoría musical, es decir, dichos sistemas usan funciones que representan la aplicación de alguna de esas reglas para determinar las cualidades de la obra. Pero hay ciertos aspectos de la música que son muy difíciles de describir mediante reglas sencillas de implementar o bien su ejecución requiere una gran cantidad de tiempo y recursos. Esto ha llevado a pensar que las redes neuronales pueden ser útiles para solucionar problemas de ese tipo, pues una de las principales capacidades que han demostrado tener, es el reconocimiento de características a partir de los elementos usados en el entrenamiento, sin que sea necesario especificar dichas características de manera explícita.

Teniendo en cuenta estas ideas, se han tratado de realizar sistemas capaces de reconocer el "estilo" de interpretación de un músico y luego imitar este comportamiento.

Visión general de las redes

Los primeros modelos de redes neuronales aparecieron en 1943, cuando McCulloch y Pitts presentan un modelo de las neuronas biológicas de manera simplificada (McCulloch and Pitts, 1943). Uno de los modelos más importantes fue el *perceptrón* (Rosenblatt, 1958). Se han hecho muchas variaciones sobre él (Lipmann, 1987), pero el modelo del perceptrón simple aún es muy usado por su sencillez.

Las redes neuronales artificiales son consideradas variaciones de la idea de procesamiento distribuido en paralelo. Así, la arquitectura de las redes asemeja la estructura de bloques de construcción, los cuales realizan el procesamiento de la información. Cada bloque está constituido de unidades simples de procesamiento. Cada unidad simple puede comunicarse con otras para enviarle señales a través de conexiones con peso (ver figura 2.1).

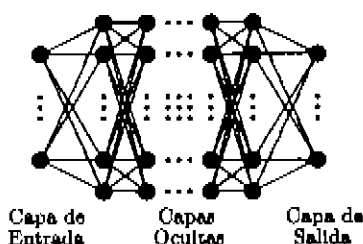


Figura 2.1: Red neuronal artificial multicapa

Como ya dijimos, una red neuronal consiste de varias unidades de procesamiento simple (llamadas neuronas), las cuales se comunican entre sí enviando señales a través de conexiones que tienen un peso asociado.

Cada unidad recibe una señal de entrada de sus vecinos, así como de otras fuentes externas, y las usa para calcular una señal de salida, la cual se propaga a otras unidades. Una tarea más que debe realizar la red neuronal es el ajuste de los pesos.

En una red neuronal se pueden distinguir tres tipos de unidades: *unidades de entrada*, las cuales reciben los datos de fuera de la red neuronal; *unidades de salida*, las cuales envían datos hacia fuera de la red neuronal; *unidades ocultas*, cuyas entradas y salidas permanecen siempre dentro de la red. Cada tipo de unidades forma una capa que recibe el nombre de acuerdo con su tipo (figura 2.1).

Con base a la forma de conexión entre las unidades y la propagación de los datos podemos identificar los siguientes tipos de redes neuronales:

- *Redes de propagación hacia adelante*, en las cuales los datos fluyen de las unidades de entrada hacia las unidades de salida, en estricta propagación hacia adelante, es decir, el procesamiento puede llevarse a cabo a través de diversas unidades o capas de unidades, pero no debe haber conexiones hacia atrás. El perceptrón (Rosenblatt, 1958) y Adaline (Widrow and Hoff, 1960) son ejemplos de este tipo de redes.
- *Redes de propagación hacia atrás*, presentan conexiones hacia capas anteriores. Las redes auto-organizadas (Anderson, 1977) (Kohonen, 1977) y de Hopfield (Hopfield, 1982) son ejemplos de este tipo de redes.

Una red neuronal debe tener una configuración tal que al utilizar un conjunto de entradas específico produzca un conjunto de salidas deseadas. Existen diversos métodos para determinar los pesos de las conexiones de la red de forma que produzcan dicho resultado. Una forma es indicando los pesos de manera explícita basándonos en un conocimiento previo. Otra forma es "entrenando" a la red neuronal, presentándole elementos para que aprenda a reconocer patrones y modifique los pesos de las conexiones de acuerdo con una regla de aprendizaje.

De esta forma podemos identificar dos situaciones de entrenamiento:

- *Aprendizaje Supervisado* o *Aprendizaje Asociativo*, en el cuál la red es entrenada probando la red con una entrada y una salida específica. Esta información puede ser proporcionada por un individuo ajeno a la red o bien por la red misma (*auto-supervisión*).
- *Aprendizaje No Supervisado* o *Auto-organización*, en la cual una unidad de salida es entrenada a responder a grupos de patrones en la entrada, es decir, se tratará de descubrir estadísticamente características sobresalientes en la población de entrada.

Ambas situaciones plantean la necesidad de ajustar los pesos de las conexiones entre las unidades. Existen una gran variedad de reglas para el ajuste de los pesos, pero en general pueden ser consideradas como una variación de la regla de aprendizaje Hebbiana (Hebb, 1949). Detalles al respecto de las reglas de aprendizaje pueden ser encontrados en (Kröbe and van der Smagt, 1996).

Para una referencia más completa sobre la teoría acerca de las redes neuronales artificiales ver (Rosenblatt, 1958), (Kröbe and van der Smagt, 1996) y (Lipmann, 1987).

Composición basada en redes neuronales

Algunos de los sistemas de composición automática que usan redes neuronales se basan en su capacidad de generalizar, es decir, aprender a reconocer elementos que pertenecen a cierta clase. Tomando esta característica de las redes neuronales, podemos considerarlas como cajas negras que evalúan o juzgan cierta entrada e indican si pertenece o no a la clase que saben reconocer. Es importante remarcar que los criterios que usa para evaluar las entradas no están determinados de manera explícita, si no que éstos son fijados en el entrenamiento de la red.

Lewis en su documento "Creation by refinement and the problem of algorithmic music composition" (Lewis, 1991), propone un metodología denominada *creación por refinamiento* y la aplica a composición musical. En esta propuesta Lewis explota la capacidad de generalización de las redes neuronales. Lewis plantea una propuesta donde una secuencia de notas de tamaño fijo es codificada como las entradas de la red neuronal para que la pueda procesar. De esta forma, mediante un paradigma de aprendizaje supervisado, la red aprende a clasificar las posibles secuencias de notas en dos grupos: los correctos y los incorrectos. A este proceso lo llama la *fase de aprendizaje*. En esta fase se usan tanto elementos con las características deseadas como con las no deseadas.

Luego del entrenamiento, mediante un proceso probabilístico, se busca una secuencia de notas que pertenezca a la clase deseada; para esto utiliza un proceso que minimice el error producido por una entrada cualquiera con respecto a una salida deseada. Esta fase es denominada *fase de refinamiento*.

Lewis asevera que si en la fase de entrenamiento se usan elementos con características relevantes para la composición, las composiciones generadas por su sistema presentarían tales cualidades pero sin ser una copia de los elementos del entrenamiento. Además, indica que entre más características presentan los elementos más conocimiento relevante puede ser llevado a las nuevas composiciones.

Una limitante importante de esta propuesta es que hace una clasificación en dos grupos de elementos. Eso implica que la red sólo es capaz de identificar un grupo reducido de características. Esto puede ser mejorado considerando una red neuronal que tenga más de una salida; de esta forma el sistema evaluará respecto a varios parámetros permitiendo con esto un mejor funcionamiento del sistema.

Pero aún teniendo en cuenta el aumento de rasgos a evaluar, existe el problema de que un experto debe de manera tajante determinar si una secuencia de entrenamiento es correcta o no, lo cual muchas veces es muy difícil y pueden existir grandes divergencias entre distintos expertos.

De la Cruz y León, tomando como base la propuesta de Lewis, plantean el uso de las redes neuronales y la lógica difusa para ampliar el espectro de la composición del modelo de Lewis. Esta propuesta abre la puerta a la participación del usuario en fase de refinamiento y no sólo en la fase de entrenamiento. La propuesta con dichas características es llamada *creación por grados de semejanza* (De La Cruz and León, 2002).

La creación por grados de semejanza, al igual que la creación por refinamiento de Lewis, tiene dos etapas: la de entrenamiento y la de refinamiento. A diferencia de la creación por refinamiento, esta propuesta busca clasificar a las secuencias de notas musicales en diversos grupos. Para realizar este tipo de clasificación hace uso de las redes auto-organizadas (Self-Organizing Networks) (Kröse and van der Smagt, 1996), como las redes de Kohonen. Pero con el uso de este tipo de redes se vuelve más complicado evaluar a los elementos que están cerca de las fronteras de los grupos, es decir, es difícil indicar que un secuencia pertenece a una clase en particular y no a otra, pues presenta rasgos como de ambas clases dada su cercanía con cada una.

Una solución a ese problema se ha obtenido a través de la lógica difusa, ya que ahora podemos indicar grados de pertenencia a las distintas clases.

En su fase de entrenamiento, la creación por grados de semejanza realiza la organización de las secuencias base con respecto a sus características relevantes, y en la fase de refinamiento busca un elemento que tenga ciertos grados de semejanza en referencia a dichas características, siguiendo el proceso de minimización del error propuesto por Lewis.

La participación del usuario no se limita tan sólo a especificar los grados de semejanza de la composición final, sino que también se le permite indicar al proceso algunos nuevos rasgos que debe presentar la composición. Con esto se brinda más flexibilidad desde el punto de vista del usuario final.

Entre los problemas importantes que presenta la creación por refinamiento y por ende la creación por grados de semejanza, es que el comportamiento del sistema está muy ligado a los elementos usados en la fase de entrenamiento, por lo que si los datos de entrenamiento no presentan características muy relevantes de la composición, el funcionamiento del sistema será muy limitado, o bien, si se desea estudiar otros rasgos de la composición se necesitará descartar todo el entrenamiento previo.

También la codificación de dichos elementos como las entradas de la red limita la exploración de los diversos aspectos de la composición, pues la codificación escogida está orientada al análisis de ciertos aspectos y como no es posible cubrirlos todos, si se quiere analizar otros habría que rediseñar la codificación de dichos elementos, lo cual es un proceso muy costoso.

McAlpine, del departamento de matemáticas de la universidad de Glasgow, plantea una propuesta de composición mediante redes neuronales pero, a diferencia de los modelos anteriores, se enfoca en producir música de un estilo en particular (McAlpine, 1999).

El modelo de McAlpine plantea una red que predice la producción de la nota siguiente en melodías simples. La red propuesta es entrenada con un conjunto de secuencias, nota a nota, tratando de predecir cuál es la siguiente nota y corrigiendo los pesos de manera adecuada cuando su predicción sea incorrecta.

Una característica importante de este modelo es el uso de elementos de memoria para recordar cuáles han sido las notas emitidas anteriormente: usa una memoria por cada nota que se desea considerar; en las pruebas que realiza McAlpine, en particular, se toman en cuenta las últimas tres notas producidas.

Críticas

Las críticas más fuertes a los modelos de composición automática usando redes neuronales han sido por el lado de la actualización del conocimiento de las redes ya que, en estos modelos, se plantean dos fases muy marcadas: el entrenamiento y la generación de material. De esta manera, una vez abandonada la fase de entrenamiento, el conocimiento de la red se vuelve estático y no hay forma de corregir errores o que continúe evolucionando.

2.4.5. Autómatas celulares

Quienes se dedican al estudio de la música han reportado la identificación de patrones en muchas composiciones. Patrones rítmicos, melódicos, etcétera. Ya en secciones anteriores vimos como se ha tratado de modelar este tipo de rasgos de las composiciones musicales. Pero algunas de esas técnicas no prestaban mucha atención al tiempo, es decir, cómo el cambio en los patrones se relacionaba con el tiempo.

Prestando especial atención en estas dos características, surgió la idea de usar los autómatas celulares para la composición automática.

Panorama general acerca de los autómatas celulares

Los autómatas celulares son herramientas de modelado por computadora de gran utilidad para estudiar sistemas que cambian su comportamiento a lo largo del tiempo. Cabe mencionar que tales sistemas dinámicos deben ser discretos en espacio y tiempo.

Un autómata celular consiste en un arreglo de elementos, referidos como celdas o células, a las cuáles se les aplican reglas de evolución. Estas reglas determinan el comportamiento del autómata a lo largo del tiempo. Todas las células en el arreglo son actualizadas simultáneamente, así que el estado del autómata avanza como un todo en pasos (finitos) a lo largo del tiempo. Las celdas pueden tomar cualquier tipo de valor.

Una de las clases de autómatas celulares más utilizados son los llamados *autómatas celulares de p estados*, que son aquellos donde las células pueden tomar p valores distintos, en la mayoría de los casos los posibles valores son $\{0, 1, \dots, p - 1\}$.

A partir de una inicialización aleatoria, en cada pulso del reloj, los valores de todas las celdas cambian simultáneamente de arriba a abajo en la pantalla de una computadora, de acuerdo con un conjunto de reglas que determinan un nuevo valor de cada celda. Las reglas del autómata celular normalmente toman en cuenta los valores de las celdas a su alrededor, pero estas reglas pueden considerar otras células dependiendo del tipo de comportamiento que se busque.

Los patrones formados por las celdas son el resultado del *comportamiento emergente* del autómata, en el sentido que las reglas de evolución en un autómata celular están relacionadas sólo con sus vecinos locales alrededor de la celda bajo consideración. Así que, no hay una tendencia global explícita, codificada de antemano.

El funcionamiento de un autómata celular está monitoreado normalmente sobre la pantalla de una computadora, como una secuencia de cambios de patrones de pequeñas células coloreadas, de acuerdo con los pulsos de un reloj.

Los autómatas celulares fueron introducidos en 1960 por Von Neumann y Ulan como un modelo de máquinas auto-reproductivas (Cood, 1968). Ellos buscaban conocer si era posible, para una máquina abstracta, el reproducirse, esto es, que automáticamente construyera una copia de sí misma. Su modelo consistía de mallas bidimensionales de celdas, cada celda toma un determinado número de estados, representando los componentes de los cuales puede construir la máquina auto-reproductiva.

Composición basada en patrones

Ya que los autómatas celulares producen grandes cantidades de patrones de datos, y si asumimos que la composición musical puede ser pensada como la manipulación formal de dichos patrones, no es de sorprender que los investigadores hayan decidido utilizar a los autómatas celulares para obtener alguna representación de la música.

CAMUS, diseñado por Miranda (Miranda, 2001) y más adelante desarrollado por Kenny McAlpine y Stuart Hoggart (McAlpine, 1999) de la universidad de Glasgow, usa dos algoritmos de los autómatas celulares, el juego de la vida de John Horton Conway y el demonio de espacio cíclico, diseñado por David Griffenath (Dewdney, 1989). El juego de la vida es un autómata celular de dos dimensiones que intenta modelar una colonia de organismos virtuales simples, cada uno de los cuales puede tener uno de dos estados: vivo, representado por el número uno, o muerto, representado por el número cero. El demonio de espacio cíclico extiende el comportamiento del juego de la vida, cada celda puede tener n posibles estados, donde cada posible estado está representado por diferentes colores que están enumerados desde 0 hasta $n - 1$.

CAMUS usa un modelo cartesiano para representar una triada de notas, es decir, un conjunto ordenado de tres notas que pueden o no sonar simultáneamente. Estas tres notas están definidas en término de la distancia o intervalo entre ellas. La coordenada sobre Y representa el primer intervalo de la triada y la coordenada sobre X el segundo intervalo. CAMUS usa ambos autómatas en paralelo para producir música. El autómata basado en el juego de la vida produce triadas y el autómata que utiliza el algoritmo del demonio de espacio cíclico determina la orquestación de la composición.

Al inicio del proceso de generación, ambos autómatas celulares son inicializados de forma aleatoria. Cuando al autómata Juego de la vida produce una celda viva se calcula la triada apropiada en base a probabilidad proporcionada por el usuario.

El usuario asocia el estado del autómata celular con instrumentos MIDI, de manera que el autómata Demonio de espacio cíclico selecciona qué instrumento ejecutará las notas generadas.

McAlpine y Hoggar realizan diversas variaciones al modelo de Miranda, extendiéndolo a un autómata tridimensional y usan cadenas de Markov para generar ritmos; este sistema fue denominado CAMUS 3D (McAlpine, 1999).

2.4.6. Programación evolutiva

Al observar la forma de trabajo de los compositores se ha visto que su labor no es producto de una sola pasada, es decir, el compositor hace una primera versión de su obra, la analiza y la corrige. Este proceso lo puede repetir de forma cíclica hasta obtener el resultado esperado.

Algoritmos Genéticos y Programación genética

Los algoritmos genéticos son algoritmos de búsqueda inspirados en el mecanismo de selección y genética natural. Combinan la supervivencia del más apto entre los individuos o estructuras que representan el problema, con un intercambio de información de ellas de manera aleatoria.

Los algoritmos genéticos fueron desarrollados por John Holland, sus colegas, y sus estudiantes de la Universidad de Michigan. Los objetivos de sus investigaciones eran:

1. Abstractar una rigurosa explicación de los procesos adaptativos de sistemas naturales.
2. Diseñar sistemas de software artificiales que conserven los mecanismos importantes de los sistemas naturales.

El tema central de la investigación de los algoritmos genéticos ha sido la *robustez*, el balance entre eficiencia y eficacia necesario para sobrevivir en diferentes ambientes (Holland, 1975) (Goldberg, 1989).

Se han considerado diversas representaciones para las estructuras del problema en las investigaciones de los algoritmos genéticos, tratando de encontrar la más útil para resolver un problema en específico, ya que una vez definido el esquema de representación a menudo se limita el comportamiento del algoritmo genético. Una de las representaciones más utilizadas es la de cadenas de longitud fija, pero ellas presentan dificultades para algunos problemas, en particular, en problemas donde la solución deseada es jerárquica y donde el tamaño de la solución es desconocido de antemano (De Jong, 1985), (De Jong, 1987) y (De Jong, 1988).

La programación genética presenta una nueva técnica para la representación de las estructuras del problema. John Koza, plantea el proceso de evolución de programas simples de computadora, cada uno de dichos programas está formado de un conjunto pequeño de funciones y terminales, para describir el dominio que se quiere considerar (Koza, 1992).

Composición evolutiva

Como ya hemos visto en muchas de las técnicas anteriores, un problema importante de tales métodos es la poca flexibilidad: una vez hecho el modelado del problema y definido los parámetros a considerar, es muy difícil hacer alguna modificación.

La composición musical por computadora basada en algoritmos genéticos y programación genética trata de corregir dicho problema, pues da mayor dinamismo a la clasificación de los elementos y permite de manera relativamente sencilla la adaptación a nuevos valores de los parámetros o incluso nuevas características a considerar.

En 1994, Lee Spector y Adam Alpern (Spector and Alpern, 1994) crean un sistema para la generación de programas de computadora que "hacen" arte con base en ciertos criterios que establece el usuario. Este modelo utiliza la programación genética para la generación de dichos programas. Spector y Alpern basan su propuesta en la idea de que un trabajo artístico depende de un gran contexto cultural e histórico. Así que si el usuario proporciona criterios adecuados para que el programa pueda evaluar su trabajo, se puede esperar que los programas generados sean capaces de producir trabajos interesantes.

Para ejemplificar su propuesta, Spector y Alpern hacen uso de dicho ambiente para crear programas que produzcan melodías de Jazz. El objetivo del sistema es producir programas simples que toman como entrada una melodía de jazz simple y producen como salida otra melodía de jazz simple. El sistema utiliza una serie de reglas encontradas en un libro de Jazz (Baker, 1988) como criterios para evaluar el trabajo de los programas.

Críticas

Aunque los algoritmos genéticos y la programación genética brindan a los sistemas una mayor flexibilidad en la adaptación a nuevas características a considerar, la codificación del problema en las estructuras que se utilizarán limitan esta propiedad, ya que la elección de la codificación restringe las características que se pueden evaluar del problema.

2.4.7. Resumen

A lo largo de este capítulo se discutieron algunas características de la composición automática, en particular acerca de la composición automática realizada por una computadora.

Se revisaron diversas metodologías que se han utilizado para la composición automática por computadora, indicando las razones que motivaron el uso de ciertos procesos computacionales que asemejaban algún aspecto del proceso de composición; también se describieron algunas de las limitaciones de cada una de estas metodologías.

Con esta visión acerca del uso de la computadora para explorar el proceso de composición musical, continuaremos con una revisión de algunas investigaciones alrededor de los procesos creativos y el uso de la computadora como una herramienta para el estudio de dichos procesos. Luego plantearemos un sistema de cómputo que aborde la composición automática por computadora teniendo como referencia un modelo acerca de los procesos creativos.

Capítulo 3

Creatividad: explicaciones y modelos

3.1. Introducción

En general podemos decir que varios de los sistemas que abordan el tema de la composición automática, como los descritos en el capítulo anterior, se basan en el análisis y simulación de algunos de los aspectos que constituyen el proceso de la composición; en otras palabras, algunos investigadores han detectado que ciertas acciones realizadas durante la composición involucran diversas actividades que se pueden realizar con las computadoras: el reconocimiento de patrones melódicos, la producción de variaciones de temas específicos, etc. Pero en estos desarrollos, no podemos hablar de un modelo cognitivo que se esté evaluando o que de sustento al comportamiento del sistema.

En este capítulo se plantean algunas ideas respecto a la creatividad, sus características y algunos intentos por describirla, con el fin de tener un panorama del tema; luego, describiremos el modelo denominado *Engagement & Reflection* propuesto por Sharples que describe el proceso de la escritura en lo seres humano; finalmente, hablaremos del trabajo de Pérez y Pérez acerca de este planteamiento, ya que en el siguiente capítulo se propondrá un modelo por computadora que, siguiendo los lineamientos del *Engagement & Reflection*, define e implementa un modelo por computadora de la improvisación de Jazz.

3.2. Creatividad

Al hablar del pensamiento creativo suele hacerse una distinción respecto al pensamiento ordinario. Se considera que el pensamiento creativo está basado en el pensamiento intuitivo, mientras que el pensamiento ordinario usa en gran medida el pensamiento lógico. Por un lado, el pensamiento lógico toma nuestro conocimiento existente y usa reglas de inferencia para producir nuevo conocimiento, progresa en una serie de pasos, donde cada nuevo paso depende de otro anterior. Por esta razón, este "nuevo" conocimiento puede ser visto como una extensión de lo ya conocido. Por esta razón, no es considerado del todo como verdaderamente nuevo. Por otro lado, el pensamiento intuitivo puede libremente producir ideas o conclusiones, sin un razonamiento lógico aparente; el pensamiento intuitivo no está limitado por reglas lógicas y por la necesidad de un razonamiento paso a paso, de forma que da la apariencia de ser libre y flexible, permitiendo al pensador

establecer conexiones entre ideas que permitan producir algo verdaderamente nuevo.

Weisberg indica que un primer criterio para llamar a algún producto creativo, es que debe ser nuevo, al menos para el individuo que los produce. Algunos teóricos reservan el término creativo para productos que resuelven un problema con mejoras respecto a la forma conocida en ese momento; este criterio ha sido llamado *el grado de transformación* de un producto creativo. Otros hacen una distinción similar, dando a un producto diferentes grados de creatividad, dependiendo del nivel de innovación aparente en él.

De estas ideas Weisberg plantea que para que algo sea tomado como creativo no necesariamente debe ser nuevo, si no que debe ser de valor, o apropiado para las demandas cognitivas de la situación. Entonces el valor es esencial para la definición de creatividad (Weisberg, 1993, p. 4).

El concepto de valor es complejo, ya que el valor de un producto creativo depende de su naturaleza. Por ejemplo, una teoría científica es de valor si puede explicar fenómenos que los individuos de esa disciplina piensan que requieren de una explicación, o si esta nueva forma de organización del fenómeno es vista como más útil que la actual. Una invención es de valor si lleva a cabo la tarea necesaria. Una teoría científica puede ser de valor si inspira a otra. Por otro lado, podemos definir nuestra escala de valor de un producto en base al grado en que una teoría científica o una invención pueda influenciar su dominio.

3.2.1. Explicaciones de la creatividad

La creatividad es un tema que se ha estudiado desde todo tipo de ángulos, se han propuesto diversas explicaciones científicas y no científicas acerca de cómo se produce a lo largo de la historia. En esta sección mencionaremos algunas de ellas, tomando como referencia el libro de Weisberg "Creativity: Beyond the Myth of Genius" (Weisberg, 1993, cap. 1, 2, 3).

Uno de los puntos más complicados de cualquier teoría del pensamiento creativo es la inspiración, o cuando una idea creativa sucede. Se ha tratado de explicar los logros creativos asumiendo que los individuos sirven simplemente como vehículos a través de los cuales las ideas divinas son expresadas; es decir, los individuos no son parte importante del proceso creativo, ya que éste es realizado por los dioses (Murray, 1989). En la mitología griega, por ejemplo, las Musas, las diosas de la música y las artes en general, eran las fuentes que proveían de ideas originales a las personas, las cuales decían que tenían una inspiración cuando esto ocurría.

Actualmente, la idea de explicar la creatividad a través de dioses no es muy común, así que se han buscado teorías para explicar el fenómeno. Una de las más arraigadas es la del "genio", que asume que todo acto creativo se realiza cuando grandes individuos producen grandes logros en un momento de inspiración. Este punto de vista explica que el origen y desarrollo de un trabajo creativo están relacionados con un proceso del pensamiento que permite al individuo separarse de lo habitual y lo ordinario. La característica más importante del genio es su extraordinaria sensibilidad y flexibilidad. La sensibilidad del genio se observa en lo que es llamado la "búsqueda de problemas": la habilidad de enfocarse en problemas artísticos o científicos de potencial importancia (Ruco, 1992). El artista genio es sensible a aquellas situaciones que servirán como vehículo para la expresión

artística con un posible significado universal. El artista con falta de genio, en contraste, dedica gran parte de su tiempo a situaciones que otros no considerarán interesantes.

Freud también dio algunos lineamientos en cuanto a las teorías relacionadas con la creatividad, aplicando su teoría psicomotriz a individuos creativos, a través de métodos de psicobiografía (Freud, 1964). Este método involucra una retrospectiva psicoanalítica de varios individuos notables. Basándose en los resultados, Freud sostiene que el trabajo creativo es motivado por conflictos sin resolver y que el pensamiento creativo es dominado por los procesos del pensamiento primario (irracional, primitivo y la inconsciencia) más que por el proceso del pensamiento secundario (lógico y realista). A grandes rasgos, los procesos del pensamiento primario producen combinaciones de ideas que parecen raras o menos convencionales, ya que las conexiones involucran material inconsciente. Presenta también rasgos de irracional ya que no sigue las conexiones lógicas ordinarias de los conceptos, pero busca conexiones entre ideas con base en sonidos, similitudes visuales, etc. Estas conexiones, a decir de Freud, poseen una lógica interna, oculta en la representación del material.

El proceso del pensamiento primario tiene implicaciones directas para el proceso creativo. Freud sostiene que la actividad creativa inicia cuando en algún adulto despiertan necesidades insatisfechas en la niñez. El individuo creativo es similar al neurótico que tiene fuertes necesidades incumplidas, pero el neurótico es incapaz de expresar estas necesidades por medio del arte.

Freud usa el trabajo de Leonardo da Vinci para ilustrar algunas de sus ideas. En su estudio del artista, Freud concluye que Leonardo da Vinci pintó la llamativa sonrisa sobre la *Mona Lisa* por su experiencia y residuos de su necesidad insatisfecha y conflictos inconscientes.

Si siguiendo las ideas de Freud, algunos otros investigadores han utilizado la psicobiografía para estudiar la creatividad. Por ejemplo, Mary Gedo ha argumentado que el trabajo de Picasso puede ser entendido a través de un análisis de las experiencias del artista y residuos en su inconsciente (Gedo, 1980). Argumenta que la participación de Picasso en el desarrollo del cubismo, pudo ser originada por sus sentimientos de devastación creados por el ambiente que rodeaba su niñez. De acuerdo a Gedo, los sentimientos de fragmentación provenientes de la infancia de Picasso fueron expresados en la fragmentación de los objetos en la pintura cubista.

Una variación sobre el tema del pensamiento creativo es la hipótesis de que las ideas creativas parten de cambios en los procesos del pensamiento producidos por una psicopatología. Platón planteó que un poeta está bajo la influencia de locura cuando realiza una creación.

Otro punto de vista fue propuesto por Emil Kraepelin, quien indica que la manía puede influir en los procesos del pensamiento, resultando esta influencia en un factor de posible incremento en la creatividad (Kraepelin, 1976). Kay Jamison apoya este punto de vista y junto con Frederick Goodwin sostiene que los momentos de alegría y buen humor son para muchos individuos sus momentos de inspiración y pensamiento más rápido y fluido (Goodwin and Jamison, 1990). Jamison y Goodwin estudian el caso de Robert Schumann, quien sufría de desórdenes afectivos bipolares, y lo presentan como un ejemplo donde la manía afecta de manera positiva el proceso de creatividad.

También Eliot Slater y Alfred Meyer concluyen que la carrera de Schumann estuvo influenciada varios años por su estado de ánimo (Slater and Meyer, 1959). De la información

biográfica, registros médicos y correspondencia de Schumann, Slater y Meyer concluyeron que su trabajo fue mayor en sus periodos hipomaniacos que en sus años de depresión. A esta afirmación algunos investigadores como Weisberg hacen algunas críticas, pues haciendo una comparación de las composiciones de Schumann y sus depresiones y manías, estas conclusiones no se ven muy claras, ya que aunque en los periodos de hipomanía de Schumann, sí hubo un incremento en el número de obras producidas, el número de obras creativas no es mucho mayor respecto a otros años (Weisberg, 1993, p. 40).

Henri Poincaré apoya la idea de que los procesos inconscientes influyen de manera importante en la creatividad, denominando a este fenómeno la inconsciencia cognitiva (Poincaré, 1952). Él cree que las ideas creativas provienen de la combinación de ideas viejas en el inconsciente, en un proceso de incubación. Si una combinación útil se realiza, el pensador experimenta una "iluminación" también llamada reacción "aja".

Koestler, con base en análisis de casos históricos, plantea que mientras el pensamiento ordinario usa asociaciones, el pensamiento creativo usa disociaciones del pensamiento para combinar dos asociaciones antes separadas y producir nuevas ideas (Koestler, 1964).

Basándose en los reportes de Poincaré y otros, Graham Wallas propone cuatro etapas en todo proceso creativo (Wallas, 1926):

- **Preparación:** involucra un largo periodo de trabajo consciente. En esta etapa las ideas útiles son consideradas.
- **Incubación:** las ideas son combinadas de nuevas formas de manera inconsciente.
- **Iluminación:** cuando la incubación ha sido realizada surge una posible solución a algún problema.
- **Verificación:** se comprueba si la idea es correcta y resuelve el problema.

Existen muchas otras teorías a cerca de la creatividad, el libro "The Creativity Question", es una referencia muy completa al respecto.

Para finalizar la descripción de estos planteamientos acerca de la creatividad, mencionaremos que, a decir de varios investigadores, algunas veces su utilidad es limitada para la comprensión del proceso creativo. Por ejemplo, Weisberg hace las siguientes críticas a dichos planteamientos: una dificultad es que con el análisis Freudiano no se realizan experimentos u otra forma que presente evidencia o contradiga su análisis. Un problema similar se presenta cuando se usan casos históricos, en el sentido de que estamos limitados para obtener evidencia experimental que ayude en el estudio de dichos casos. Para el caso de desordenes afectivos, han existido diversas explicaciones del por qué se presenta una alta frecuencia de los desordenes afectivos en los individuos creativos, pero esta misma comparación entre desordenes afectivos y muestras de creatividad en la población en general, no presenta suficiente evidencia para afirmar las ideas anteriores.

3.3. Sharples y su teoría del proceso de escritura

Como hemos visto en las secciones anteriores, se han realizado diversos trabajos alrededor de cómo el humano realiza algunas labores creativas; en el área de la escritura, Sharples estableció una serie de ideas general de este proceso denominado *Engagement &*

Reflection (Sharples, 1999), (Sharples, 1996). El modelo propone la existencia de dos fases: la fase de *engagement*, la cual está relacionada con la generación de ideas; la segunda fase, la fase de *reflection*, en donde las ideas son revisadas, evaluadas y transformadas; entonces la escritura creativa se realiza en un ciclo entre estas dos fases.

Sharples indica cinco aspectos importantes en su descripción del proceso creativo de la escritura:

- La importancia de las restricciones.
- Generación y análisis de texto.
- Similitudes entre problemas de diseño y escritura.
- Escritores en su ambiente.
- La escritura como diseño creativo: el ciclo engagement-reflection.

Sharples indica que se deben definir diferencias entre novedad y creatividad, ya que una frase puede ser gramaticalmente correcta y nueva pero sin sentido. Hace notar que un texto debe ser además de correcto y novedoso, apropiado para la tarea y la audiencia. Propone que una manera de obtener texto considerado como adecuado es definiendo restricciones apropiadas.

La propuesta de Sharples plantea la existencia de restricciones internas y externas. Las restricciones internas están relacionadas con el autor, sus creencias, conocimiento, experiencia, entre otras; mientras que las restricciones externas están relacionadas con el ambiente, como pueden ser las peticiones del editor, recursos externos. Según Sharples, las restricciones actúan como filtros, en la fase de *engagement*, y como una parte de la estructura conceptual en la fase de *reflection*.

El principio de generación y análisis del texto como parte del proceso de escritura usado por Sharples se basa en las ideas de Scardamall y Bereiter (Bereiter and Scardamalia, 1987). En su propuesta, Sharples denomina a estas actividades como la recuperación y transformación del conocimiento. Durante la recuperación del conocimiento se producen ideas que influyen la generación de las siguientes, de forma que al final se tiene una secuencia de ideas relacionadas entre sí de acuerdo al conocimiento del autor. Sharples asemeja a esta fase con el soñar despierto. Durante la transformación del conocimiento el material producido es analizado y reestructurado, de acuerdo a las creencias y conocimientos del autor.

Sharples menciona que al igual que el diseño, la escritura presenta dificultades que no presentan los problemas clásicos de cognición e inteligencia artificial, como puede ser el no tener un objetivo tangible o una métrica bien establecida que ayude a evaluar cada paso de la creación, así como de no contar con una metodología paso a paso para la realización de un trabajo.

Asevera que los factores del ambiente del escritor afectan su obra, desde el dominio del medio sobre el cual escribe, hasta los recursos con los que cuenta.

Bajo estas consideraciones, propone un ciclo entre las fases *engagement* y *reflection*. El ciclo inicia sin un objetivo simple, pero con varias restricciones internas y externas, las cuales guían el progreso de la escritura que se mueve entre escritura de fase *engagement* y, evaluaciones y transformaciones de la fase *reflection*.

La fase de *engagement* involucra la producción continua de material a través de una serie de ideas asociadas. Luego, cuando el escritor necesita reflexionar sobre el material producido, se detiene la fase de *engagement* e inicia la fase de *reflection*. Durante la fase de *reflection*, el escritor realizará tres actividades: revisión, contemplación y planeación. La revisión consiste de leer e interpretar el material escrito, buscando obtener otras representaciones del conocimiento utilizado en el escrito. Durante la contemplación nuevas ideas se forman, por ejemplo, a través de conceptos análogos ligados por emociones, temas o experiencia o bien a partir de la exploración de conocimiento relacionado. En la planeación, se crean nuevos planes para guiar las fases de *engagement* siguientes, basados en los resultados obtenidos de la contemplación.

3.3.1. El modelo E-R

Basados en las ideas propuestas por Sharples, Pérez y Pérez desarrolló un modelo en computadora, denominado *Modelo E-R* (Pérez y Pérez and Sharples, 2004) (Pérez y Pérez, 2001) (Pérez y Pérez, 1999), para la generación de programas creativos en computadora.

El *Modelo E-R* contempla tres tareas básicas:

- Definición de experiencias.
- Transformación de experiencias en estructuras de conocimiento.
- Generación del material novedoso e interesante a través de ciclos E-R.

Pérez y Pérez implementó el modelo E-R en MEXICA, un sistema de computadora que es capaz de producir cuentos acerca de los Mexicas. MEXICA está dividido en dos partes: la primera parte se refiere a la transformación de una base de conocimientos a estructuras en memoria; la segunda hace uso de dichas estructuras para desarrollar historias novedosas.

Definición de experiencias

El Modelo E-R requiere que el usuario defina una serie de casos previos exitosos, que en conjunto forman la experiencia del sistema. Los elementos que constituyen cada uno de los casos previos se les denomina *acciones primarias*, cada una de ellas tiene asociadas precondiciones y poscondiciones. Las precondiciones indican las condiciones que deben ser satisfechas para que una acción se pueda ejecutar. Las poscondiciones son las consecuencias de ejecutar una acción.

En MEXICA, las experiencias previas son secuencias de acciones que ejemplifican historias construidas de forma correcta.

El modelo usa una estructura llamada *contexto*, la cual almacena todas las poscondiciones que se van activando cada vez que se ejecuta una acción primaria. De esta manera, el contexto representa el estado actual del sistema de cómputo.

Transformación de experiencias en estructura del conocimiento

La transformación de experiencias en las estructuras del conocimiento en memoria se realiza procesando caso por caso y acción por acción el conjunto de experiencias. El procesamiento se realiza de la siguiente forma:

1. Se obtiene una acción de un caso del conjunto de experiencias y se ejecuta; las consecuencias o poscondiciones de dicha acción modifican el estado actual del ambiente del sistema, es decir, se genera un nuevo contexto.
2. Dicho contexto se copia a memoria en una nueva estructura denominada átomo.
3. La siguiente acción que indica el caso actual se asocia a dicho átomo.
4. Se regresa al paso 1 hasta que las acciones que forman el caso terminen.

Este proceso se repite para cada uno de los casos del conjunto de experiencias.

Puede darse el caso en que luego de ejecutar algunas acciones se obtenga un contexto que ya fue producido antes, en este caso no se genera un nuevo átomo sino que se le asocia otra acción a él. De esta manera, si las experiencias son suficientemente representativas es posible tener varias acciones asociados a cada átomo.

Con este proceso se construyen en memoria diversos átomos y podemos decir que los átomos nos indican las acciones adecuadas para un cierto estado del sistema.

Ciclos E-R

Luego de la transformación de experiencias en estructuras del conocimiento en memoria, el modelo plantea un proceso cíclico entre dos modos de operación: estado-E y estado-R.

Estado-E, en este estado se recuperan acciones primarias de la memoria para realizar la tarea asignada. Pérez y Pérez propone el siguiente funcionamiento:

1. Se escoge una acción.
2. La acción es ejecutada y las poscondiciones generan un nuevo contexto.
3. Se busca en memoria un átomo igual al nuevo contexto.
4. Se recuperan todas las acciones asociadas a ese átomo, se escoge una y vuelve a comenzar el ciclo.

Durante este proceso se ignoran por completo las precondiciones: el contexto producido por cada acción es una guía para encontrar un átomo y recuperar las acciones de memoria adecuadas a su tarea. En caso de no encontrar un átomo en memoria útil para el contexto actual, se pueden emplear diferentes estrategias para seleccionar alguno similar o bien declarar un bloqueo.

Luego de recuperar el conjunto de posibles acciones a ejecutar, se utilizan diversos filtros para eliminar aquellas acciones que no satisfagan los requerimientos de la tarea. Existen dos tipos de constricciones asociadas a los filtros:

- Constricciones estáticas, se encuentran definidas dentro del código del programa.
- Constricciones dinámicas, este tipo de constricciones varía de acuerdo a la ejecución del sistema.

Si alguna de las acciones recuperadas de memoria no satisface todas las constricciones estáticas y dinámicas, los filtros se ocupan de eliminarla.

Estado-R, en este estado se deben realizar las siguientes acciones:

- Verificar que todas las precondiciones de las acciones primarias empleadas hasta ese momento estén satisfechas. En caso contrario inserta acciones para cumplir con ese requerimiento.
- Evaluar el material producido durante el estado-E para revisar que se cumplan los requerimientos de la tarea asignada. Si la evaluación resulta negativa, el sistema modifica el valor de las constricciones dinámicas para que en un nuevo estado-E las acciones inadecuadas sean eliminadas.
- Romper bloqueos indicados en un estado-E anterior.

3.3.2. Resumen

Luego de una revisión de varias descripciones acerca de la creatividad se presentó un modelo que lleva a la práctica algunas de esas ideas, el modelo E-R, de Pérez y Pérez. El modelo fue diseñado siguiendo las ideas de Sharples sobre el proceso de escritura, así que en el capítulo se incluyó una sección donde se resume el planteamiento de Sharples.

El siguiente capítulo describe el funcionamiento del sistema, desde la adquisición del conocimiento, las diferentes estructuras que maneja y el proceso de improvisación utilizado.

Capítulo 4

El Novato

4.1. Introducción

En el capítulo 2 se describieron algunos sistemas que abordan el tema de la composición musical automática utilizando diversas técnicas computacionales; con esta revisión, se obtuvo una visión acerca de las características de la composición musical que se han considerado en dichas investigaciones. Así mismo, se han indicado las características sobresalientes de dichos sistemas, lo mismo que sus problemas más importantes. A partir de este análisis, podríamos intentar construir un sistema que tome las mejores características de algunos de ellos y trabajar en la corrección de algunos de sus defectos; pero más que diseñar un sistema de cómputo que aborde en mayor o menor medida la composición musical, el objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de cómputo dirigido a entender más acerca del proceso de composición musical y la creatividad.

Para este fin, en el capítulo anterior se presentaron algunos trabajos que abordan los tópicos de composición musical y creatividad. En particular, este trabajo toma como referencia el modelo utilizado por Pérez y Pérez en MEXICA (Pérez y Pérez, 2001), ya que MEXICA no pretende ser un modelo de un escritor humano, más bien es una herramienta para explorar una teoría cognitiva acerca de la creatividad. Entonces, tomando como base esta propuesta, plantearemos un modelo que sirva para explorar los procesos creativos utilizados en la improvisación de Jazz.

Este trabajo no usa de manera explícita el modelo propuesto por Pérez y Pérez, pero sí lo utiliza de manera general pues también usa las tareas básicas definidas en el modelo E-R (ver sección 3.3.1):

- Definición de experiencias.
- Transformación de experiencias en estructuras de conocimiento.
- Generación del material novedoso a través de ciclos E-R.

Este capítulo está organizado como sigue: la sección 4.2 describe las características principales del método de John LaPorta para la improvisación de Jazz; la sección 4.3 plantea el funcionamiento y organización del "NOVATO", un sistema de cómputo para la improvisación de Jazz por computadora; se describe el funcionamiento general del sistema (sección 4.4) y después se detalla la manera en que se construyen las estructuras en la memoria del sistema (sección 4.5); finalmente, en la sección 4.6 se plantea el método de improvisación que se utilizará.

4.2. ¿Cómo se improvisa?

4.2.1. John LaPorta

En 1967, John LaPorta se encontraba impartiendo una clínica acerca de la improvisación para universitarios en Pittsburgh. Incluía en su presentación los fundamentos básicos: tonalidades mayores, acordes y escalas fundamentales. Luego de hora y media se suponía que los estudiantes tendrían una idea de cómo empezar a improvisar; pero al comenzar la sesión de preguntas y respuestas, un estudiante le preguntó: "Si, pero, ¿tú, cómo improvisas?" (LaPorta, 2000, p. 30).

En el momento, LaPorta consideró que hubo una "desconexión", algo común en los primeros intentos por aprender a improvisar. A decir de él, muchas veces se enseña la teoría y se espera que los estudiantes sean capaces de realizar algo de acuerdo con dicha teoría. Plantea que esto debe ser al revés, los estudiantes deben de tener experiencia en la improvisación y luego aprender teoría para entender qué es lo que realmente están haciendo (LaPorta, 2000).

LaPorta cuenta que en la mañana siguiente, mientras esperaba abordar su vuelo de regreso a Boston, esbozo una nueva propuesta. Dicha metodología se fundamenta en el uso de la escala pentatónica, una escala simple y natural para hacer melodías, con la cual los estudiantes pueden evitar tocar tonos equivocados de la escala con los acordes incorrectos, lo cual sucede a menudo cuando se emplea el estilo clásico. LaPorta sostiene que utilizando este método los estudiantes son capaces de realizar una creación de manera correcta, y que se debe enseñar la teoría de acordes después de que el estudiante tiene la sensación del sentido de los acordes.

En 1968 LaPorta publicó la primera versión de su método "*A Guide to Jazz Improvisation*" (LaPorta, 2000) donde plantea tales ideas, el cual se ha convertido en un clásico para la enseñanza de la improvisación. El método propuesto por él es básicamente el siguiente: en doce lecciones presenta actividades que enseñan las técnicas de la improvisación, que luego son aplicadas a ejemplos reales.

4.2.2. El método de LaPorta

Cabe hacer una observación respecto a la propuesta de LaPorta sobre la improvisación de jazz. Aunque indica que es necesario adquirir la experiencia en la improvisación antes de conocer toda la teoría involucrada, eso no significa que la enseñanza se hará ignorando absolutamente a ésta, ya que sí es importante revisar los principios teóricos básicos, por ejemplo, las escalas o notas comúnmente usadas.

Analizando más a detalle el método de LaPorta, podemos observar que cada capítulo está organizado en cuatro partes: la teoría básica, el entrenamiento rítmico, el entrenamiento del oído para la ejecución, la ejecución de improvisaciones. Cada una de estas partes depende una de la otra, de tal forma que el conocimiento adquirido en cada una de estas etapas se enriquece a partir de lo aprendido en la parte anterior, como lo muestra la figura 4.1

Cada una de estas partes tiene un fin muy específico. La parte de teoría plantea algunos principios teóricos útiles para la improvisación, los cuales son descritos y ejemplificados en secuencias melódicas sencillas. En esta sección de la metodología de LaPorta se presentan

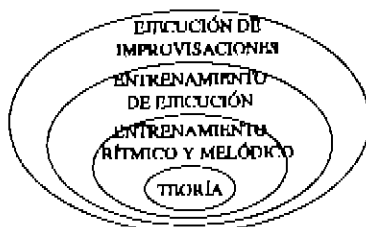


Figura 4.1: Organización de cada capítulo

algunas escalas útiles para la improvisación, como la escala pentatónica, así como el uso de algunas notas, articulaciones, entre otras, para dar carácter apropiado al Jazz.

El entrenamiento rítmico, por su lado, se enfoca en la enseñanza de cómo producir variaciones rítmicas utilizando los principios descritos en la parte teórica. Para esto se presentan diversos patrones rítmicos al estudiante de los cuales él aprende sus características, así como las relaciones que existen entre ellos, a fin de que el estudiante sea capaz de producir variaciones de dichos patrones. Otro concepto importante que forma parte del entrenamiento rítmico es la *evolución de melodías*, que describe la producción de variaciones en ejemplos más completos.

El entrenamiento del oído para la ejecución, se refiere a mejorar la capacidad del estudiante para identificar diversos motivos melódicos, los cuales hacen uso de las escalas, notas y figuras presentadas en la parte de teoría.

Finalmente, la ejecución de improvisaciones involucra el uso de los conocimientos adquiridos en cada una de las partes anteriores. El proceso inicia con la presentación del tema sobre el cual se improvisará, también se indican las secciones donde se deben ejecutar las improvisaciones. En este caso se opta por dividir las improvisaciones de manera que el estudiante realiza una de ellas y el profesor otra, estableciendo con esto un diálogo de improvisaciones entre ambos, del cual el estudiante podrá aprender algunos rasgos de las improvisaciones producidas.

4.3. EL NOVATO

El objetivo principal de este trabajo es proponer e implementar un modelo de cómputo para explorar los procesos creativos en la composición musical. Como se presentó en el capítulo 3, existen diversas investigaciones sobre los procesos creativos; este modelo está diseñado siguiendo los lineamientos definidos por la propuesta de *engagement & reflection* (capítulo 3, sección 4), debido a que el trabajo de Pérez y Pérez en el desarrollo de MEXICA (capítulo 3, sección 5) ha mostrado que esta teoría es adecuada para el modelado de los procesos creativos en la escritura. Aquí se examina qué tan adecuada es esta propuesta para dichos procesos en la música.

La idea de considerar teorías del proceso cognitivo de la escritura para, a su vez, desarrollar modelos acerca de la composición musical, no es nueva; diversos investigadores, como Irvine (Irvine, 2003), han buscado aprovechar los resultados de los trabajos sobre la escritura y extenderlos hacia la composición musical.

Cabe mencionar que este proyecto se enfoca en la improvisación de Jazz, ya que la metodología definida por LaPorta para la enseñanza de este tipo de improvisación presenta características que se adaptan a la arquitectura y a la forma de procesamiento del modelo *engagement & reflection*.

Así, en esta sección describiremos un sistema de cómputo, denominado el NOVATO, cuya arquitectura y funcionamiento están basados en el modelo *engagement & reflection*, y en la metodología propuesta por LaPorta para la enseñanza de la improvisación del Jazz.

Debemos tener en cuenta que la metodología de LaPorta propone una forma de iniciar a los estudiantes a la improvisación de jazz, con la ayuda de la teoría básica, ejercicios y ejemplos de improvisación; pero LaPorta no indica de manera específica cómo los ejercicios ayudan a la producción de una improvisación, ni un procedimiento claro para la producción de una de ellas. Por lo que es el estudiante quien decide cómo la construirá: cada estudiante prestará atención a las diferentes características, tanto de la teoría como de los ejercicios y ejemplos de improvisación, construyendo su propia y única manera de improvisar. Por lo anterior, para tratar de explorar algunos de los procesos cognitivos utilizados en la improvisación, es necesario considerar tanto la adquisición del conocimiento como el uso de dicho conocimiento para la producción de la improvisación.

El modelo propuesto en este trabajo incluye los dos componentes básicos del proceso de improvisación: la adquisición del conocimiento y la generación de improvisaciones.

La adquisición del conocimiento tomará como fuente de información el libro de LaPorta "A Guide to Jazz Improvisation" (LaPorta, 2000) y se dará seguimiento a cada una de las lecciones. Con dichas lecciones, se definirá el conocimiento que el sistema utilizará para la construcción de las improvisaciones. Se considerarán los ejercicios rítmicos, ejercicios melódicos, los temas y sus respectivas improvisaciones (ver figura 4.2).

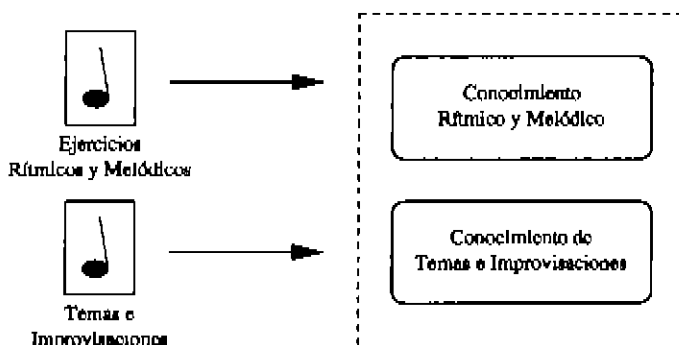


Figura 4.2: Adquisición del conocimiento

El otro componente del proceso de improvisación de jazz es la generación de la propia improvisación; aquí es donde resulta útil el modelo de *engagement & reflection*. Como mencionamos, la metodología de LaPorta no define explícitamente la manera de realizar una improvisación; por el contrario, sólo indica que ésta se realizará tomando como referencia el tema de una melodía e indica que pueden existir secuencias melódicas útiles para la producción de improvisaciones. El NOVATO definirá su proceso de improvisación tomando esta idea, es decir, considerará como punto de partida el tema de la melodía, a

partir del cuál producirá una secuencia melódica (llamada *background*) que será el punto de partida de la improvisación producida. Esta secuencia y la improvisación serán definidas mediante un procedimiento basado en el modelo de *engagement & reflection*.

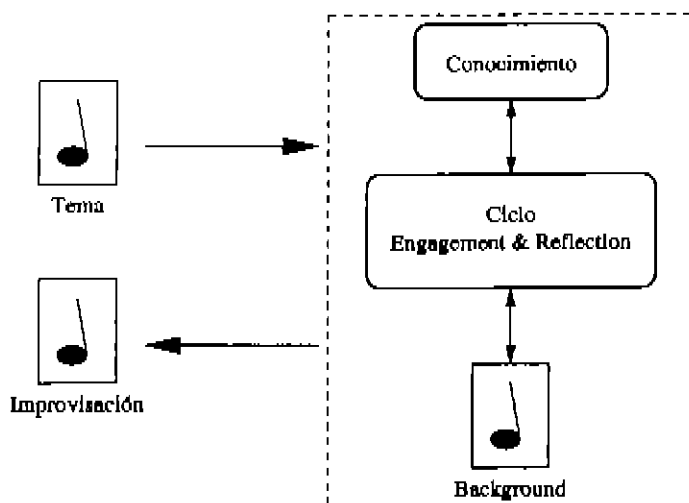


Figura 4.3: Generación de la improvisación

4.4. Funcionamiento general

Tomando como referencia la descripción de la sección anterior del método de LaPorta, podemos identificar dos etapas: una de estas etapas es la del aprendizaje de los motivos rítmicos y melódicos básicos, tanto sus características, como su uso y algunas de sus variaciones; la otra etapa es la del uso de los motivos o sus variaciones en improvisaciones, para esto es necesario tomar en cuenta la melodía o tema principal sobre el cual se improvisa.

Bajo estas consideraciones, planteamos el diseño e implementación de un modelo en computadora que trate de simular parte de algunos de los procesos realizados a lo largo de estas dos fases.

De esta forma, el NOVATO dividirá su comportamiento en dos etapas.

En la primer etapa, el sistema debe "aprender" acerca de los *elementos básicos* utilizados en las improvisaciones, así como de las relaciones que existen entre las improvisaciones y su respectivo tema. Como se indicó antes, el método de LaPorta presenta motivos melódicos al estudiante, a partir de los cuales él abstraerá algunas características. En esta versión del sistema se analizan estos motivos melódicos y con base en este análisis se define su uso para producir diversas improvisaciones. En esta misma etapa de "aprendizaje", se analizan diversas improvisaciones realizadas por un experto, con el fin de que el sistema conozca las relaciones entre el tema y sus improvisaciones.

La siguiente etapa está relacionada con la generación de improvisaciones por el sistema. Para producir una improvisación el sistema analizará un tema principal, o simplemente

te llamado tema, proporcionado por el usuario, y de este análisis se establecerán algunos parámetros para dirigir la generación de una improvisación, la cual se realizará siguiendo los lineamientos del modelo de *Engagement & Reflection* (ver figura 4.3). La información del análisis del tema principal y su relación con lo ya conocido, se almacenará en una memoria temporal, de forma que, una vez terminada esta etapa dicha información se perderá.

4.5. Etapa de aprendizaje

La información que alimentará a la base de conocimientos del sistema será tomada del libro de LaPorta. Este método incluye diversas partituras, tanto de los motivos melódicos, como de los temas sobre los cuales se debe improvisar; así que se deben transformar estas partituras a información que el sistema pueda manipular.

Para realizar la "abstracción" de las características de los motivos melódicos, se analizará la información desde tres diferentes puntos de vista: análisis rítmico, análisis melódico y análisis tema-improvisaciones.

El primero, el análisis rítmico, se enfocará en detectar algunas de las variaciones rítmicas útiles en el jazz. Para esto se tomarán como fuente de información una secuencia proporcionada por un experto, denominada *secuencia base* y un grupo de secuencias también proporcionadas por un experto, nombradas *secuencias destino*, que son variaciones de la secuencia base. El objetivo de este análisis es encontrar la manera de transformar cada secuencia base en sus respectivas secuencias destino, con el fin de identificar diversas maneras de transformar una secuencia musical para obtener variaciones rítmicas empleadas a menudo en el jazz.

El análisis melódico está dirigido a identificar patrones melódicos que son útiles en la generación de variaciones. Utilizará la misma idea de la fase anterior: identificar relaciones entre una secuencia base y diversas secuencias destino, buscando determinar la forma de adaptar la figura melódica de la secuencia base a otra nueva secuencia.

El análisis final considera la relación que existe entre el tema y algunas improvisaciones de ella. LaPorta propone una serie de secuencias para cada tema que pueden servir de apoyo al estudiante para la construcción de una improvisación adecuada a dicho tema; indica que si el estudiante produce variaciones de estas secuencias, dichas variaciones pueden ser utilizadas en una improvisación apropiada al tema. LaPorta denomina a estas secuencias *backgrounds*. El sistema analizará cómo se relaciona cada background con su tema, para tener la capacidad de construir un background para otro tema y así generar una improvisación de ella.

Es importante resaltar que estos datos, secuencias base, destino y *backgrounds*, son proporcionadas por un experto en la improvisación de Jazz.

En las siguientes secciones se describirá más a detalle cada uno de los análisis.

4.5.1. Entrenamiento Rítmico

Una parte importante del método de LaPorta es el *entrenamiento rítmico*. En esta fase, como ya mencionamos, se presentan una secuencia base y diversas variaciones de

ella. La figura 4.4 muestra una secuencia base junto con sus respectivas variaciones o secuencias destino.

The figure displays musical notation on a single staff. On the left, a single measure is labeled 'Secuencia base'. It contains four quarter notes: G4, A4, B4, and C5. To the right, three measures are grouped by a large curly brace and labeled 'Variaciones o secuencias destino'. Each measure contains the same four notes (G4, A4, B4, C5) but with different rhythmic values: the first variation has a quarter note, an eighth note, a quarter note, and a quarter note; the second variation has a quarter note, a quarter note, a quarter note, and a quarter note; the third variation has a quarter note, a quarter note, a quarter note, and a half note.

Figura 4.4: Figura base y sus variaciones rítmicas

El sistema encontrará las relaciones entre la secuencia base y las secuencias destino en término de operaciones y operandos. Estas operaciones indicarán cómo transformar una secuencia en otra.

Se utilizarán dos operaciones, la unión y la división. Cada una de estas operaciones tiene dos operadores: el índice y el número de notas a operar, que especifican el comportamiento de la operación. Se utilizan sólo dos operaciones porque luego de un análisis se observó que con ellas es más que suficiente para encontrar una relación entre cualquier secuencia base y secuencias destino. A continuación describiremos cada una de estas operaciones.

Antes de comenzar con la descripción a detalle de las operaciones, cabe hacer una observación acerca de la manera de enumerar las notas de una secuencia. Para una secuencia de notas cualquiera, cada nota tendrá un índice asociado. La indexación de notas comenzará en cero. De tal forma que para la secuencia:

The figure shows a musical staff with four quarter notes. Above each note is an index number: 0, 1, 2, and 3. The notes are G4, A4, B4, and C5.

La primer nota tendrá índice cero, la segunda uno y así sucesivamente.

La operación unión, como su nombre lo indica, realiza la unión de varias notas, es decir, sustituirá a las notas indicadas por una cuya duración sea equivalente a la duración de las notas operadas. Los operandos para esta operación indican el índice de la nota a partir de donde se realizará la unión, y cuantas notas se deberán unir. Por ejemplo, la operación:

unión (1,3)

indica que se realizará una unión de la nota con índice uno con las siguientes dos notas, es decir, al aplicarla a la secuencia:



obtenemos como resultado la secuencia:



La operación división, al contrario de la unión, realiza el remplazo de una nota especificada por otras que juntas tendrán la duración de la nota original. Para esta operación indicamos el índice de la nota a dividir y en cuántas notas será dividida, por ejemplo, la operación

división (1,4)

indica que la nota cuyo índice es uno será dividida en cuatro notas de igual duración, que juntas tiene la misma duración que la nota uno, es decir, al aplicar la operación a la secuencia:



obtenemos la secuencia:



La figura 4.5 muestra cómo la división y la unión modifican algunas notas; la división realiza las transformaciones de arriba hacia abajo de la figura y la unión funciona en el sentido inverso.

Al calcular la o las nuevas notas, éstas reemplazarán a las anteriores en la secuencia original, como se muestra en los ejemplos anteriores.

Entonces, dada una secuencia (denominada *secuencia original*) y una segunda secuencia (*secuencia objetivo*) podemos calcular las operaciones necesarias para transformar la secuencia original en la secuencia objetivo. Por ejemplo, si consideramos como *secuencia original* a la secuencia

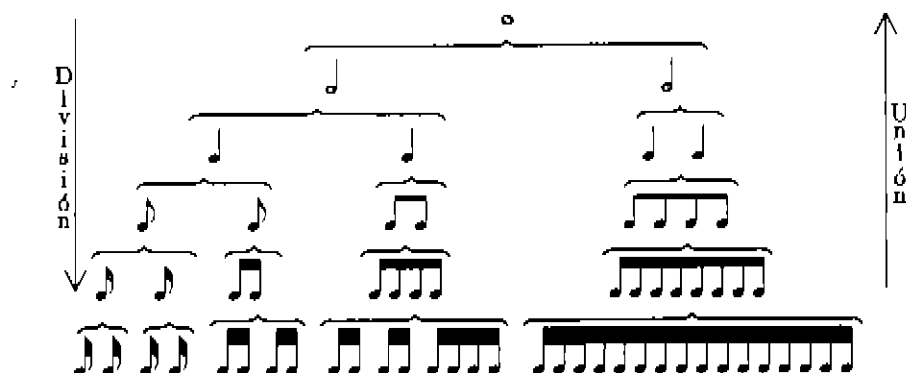


Figura 4.6: Operaciones



y como *secuencia objetivo* a la *secuencia*:



diremos que las operaciones:

1. división(0,2).
2. división(2,2).
3. división(4,4).
4. unión(4,3).

aplicadas en ese orden sobre la *secuencia original*, la transforman en la *secuencia objetivo*. A una lista de operaciones que transforman una *secuencia base* en una *secuencia destino*, la denominaremos **transformación (T)**.

De esta manera, se pueden determinar diversas formas para modificar una *secuencia* y transformarla en otras.

El NOVATO utilizará el siguiente procedimiento para generar la información relativa a los ritmos:

- se le indica una secuencia original y una lista de secuencias objetivo,
- el sistema determina las transformaciones para llegar de la secuencia original a cada una de las secuencias objetivo de la lista,
- finalmente, el sistema hace un recuento del número de operaciones y operadores usados en dichas transformaciones, para almacenarlos en la memoria.

Al final de este proceso el sistema puede determinar cuáles son las operaciones comunes, esto es, puede determinar cuántas uniones o divisiones de dos, tres o cuatro notas se hicieron. Esta información es organizada como lo muestra el cuadro 4.1. La tabla indica el total de uniones y divisiones realizadas; además, indica cuántas divisiones con dos, tres y hasta treinta y dos notas se realizaron, e información equivalente para las uniones.

	2 notas	3 notas	...	31 notas	32 notas	total
divisiones	10	5	...	0	0	40
uniones	12	7	...	1	0	31

Tabla 4.1: datos obtenidos

4.5.2. Entrenamiento melódico

El conocimiento rítmico no es suficiente para la producción de una improvisación; con este conocimiento el sistema podría ser capaz de producir variaciones rítmicas de una secuencia específica, pero no podría hacer modificaciones en la melodía.

Para resolver este problema LaPorta propone una serie de ejercicios que serán utilizados para lo que llamaremos el *entrenamiento melódico*.

Al igual que en la sección anterior se trata de encontrar las relaciones entre diversas secuencias. El sistema determina cómo se relacionan una secuencia base y sus diversas secuencias destino (ver figura 4.6).

Secuencia base
Variaciones o secuencias destino

Figura 4.6: Secuencia base y sus variaciones melódicas

La relación se obtiene a partir de una revisión nota a nota entre la secuencia base y una secuencia destino. Este análisis calcula el número de semitonos entre cada nota.

El sistema transforma la representación tradicional de la secuencia melódica a una representación que preserva únicamente la altura de cada nota. La altura de cada nota tiene asignada un valor único a partir del cual se realiza la comparación (ver tabla 4.2).

Nota	Valor	Nota	Valor	Nota	Valor
Silencio	Indefinido	Do ₃	0	Sol ₅ #	8
⋮	⋮	Do ₄ #	1	La ₅	9
Fa ₄ #	-6	Re ₅	2	La ₅ #	10
Sol ₄	-5	Re ₅ #	3	Si ₅	11
Sol ₄ #	-4	Mi ₅	4	Do ₆	12
La ₄	-3	Fa ₅	5	Do ₆ #	13
La ₄ #	-2	Fa ₅ #	6	Re ₆	14
Si ₄	-1	Sol ₅	7	⋮	⋮

Tabla 4.2: Valores para la altura de las notas

El silencio es un caso especial, pues no tiene una altura, pero es necesario tenerlo en cuenta para la transformación de las secuencias.

Con base en dicha asignación de valores, podemos construir una representación gráfica de una secuencia musical. Por ejemplo, para la secuencia siguiente:



obtenemos la secuencia de pares:

$$\{(0, 9), (1, 11), (2, 12), (3, \text{indef.}), (4, 7), (5, 4)\},$$

donde el primer elemento del par es el índice de la nota y el segundo es el valor asociado a su altura. Gráficamente la secuencia musical está representada por la figura 4.7.

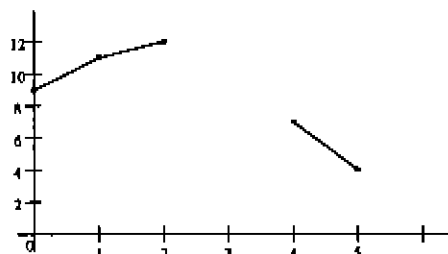


Figura 4.7: representación melódica

Así, la determinación de la diferencia en semitonos entre una secuencia y otra se obtendrá a partir del cálculo de la diferencia entre cada una de las notas de cada secuencia. Por ejemplo, para la secuencia base:



y la secuencia destino:



que internamente son representadas como:

- Secuencia base - $\{(0, 7), (1, 5), (2, 5), (3, 7), (4, 7)\}$
- Secuencia destino - $\{(0, 4), (1, 2), (2, 2), (3, 4), (4, 4)\}$

debemos determinar la distancia punto a punto en esta representación (figura 4.8), es decir, calcular, para cada par con el mismo índice de nota, la diferencia de su valor asociado:

1. $(0,7)$ y $(0,4)$: $|7 - 4| = 3$ semitonos
2. $(1,5)$ y $(1,2)$: $|5 - 2| = 3$ semitonos
3. $(2,5)$ y $(2,2)$: $|5 - 2| = 3$ semitonos
4. $(3,7)$ y $(3,4)$: $|7 - 4| = 3$ semitonos
5. $(4,7)$ y $(4,4)$: $|7 - 4| = 3$ semitonos

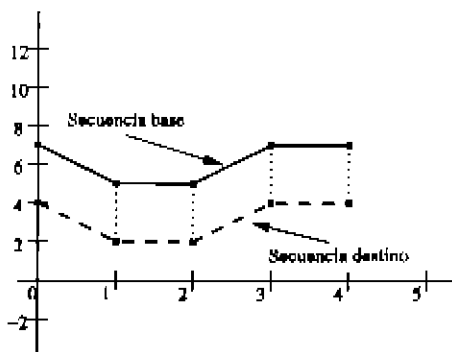


Figura 4.8: Relación melódica

obteniendo finalmente la lista de valores:

$$\{3, 3, 3, 3, 3\}$$

a la que llamaremos *distancia punto a punto*.

Pero esta distancia no es suficiente para determinar las características de modificación de una secuencia, pues para las secuencias musicales



y



internamente representadas (figura 4.9) como :

- Secuencia base - $\{(0, 7), (1, 5), (2, 5), (3, 7), (4, 7)\}$
- Secuencia destino - $\{(0, 4), (1, 8), (2, 8), (3, 10), (4, 10)\}$

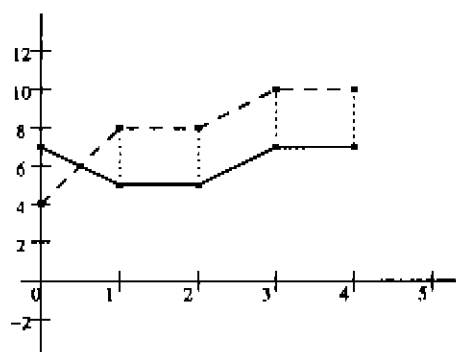


Figura 4.9: Relación melódica

obtendríamos la misma distancia punto a punto anterior

$$\{3, 3, 3, 3, 3\}$$

cuando se puede observar que la modificación a la secuencia base es diferente. Por lo anterior, agregaremos un signo a cada número de la lista que indique si la nota se transporta hacia "arriba" o hacia "abajo", de tal manera que para el ejemplo de la figura 4.9 la distancia punto a punto obtenida es:

$$\{-3, 3, 3, 3, 3\}$$

Con este análisis a las figuras, determinamos las relaciones utilizadas entre notas en cada secuencia y podemos imitar estos resultados aplicándolos a nuevas secuencias que no estén completamente terminadas. Estas relaciones serán muy útiles si consideramos que el procedimiento de transformación por operaciones sólo modifica el ritmo de la secuencia y con esta información podemos terminar de definir la secuencia.

El proceso antes descrito requiere una restricción importante respecto a las secuencias destino: cada secuencia destino deberá tener la misma cantidad de notas que la secuencia base y cada una de ellas debe tener la misma duración que su contra-parte, pues necesitamos hacer una comparación nota a nota para encontrar la relación entre una y otra.

La restricción antes mencionada no afecta mucho a nuestro sistema, pues para cada par de secuencias podemos encontrar otro par equivalente con el mismo número de notas. Por ejemplo, para el par de secuencias:



Secuencia A



Secuencia B

observamos que las secuencias A y B no pueden ser comparadas nota a nota pues difieren en el número de notas: la secuencia A tiene cinco notas y la secuencia B tiene seis. Pero la secuencia A es equivalente a la siguiente secuencia, denominada A':



así el nuevo par de secuencias A' y B sí pueden ser comparadas de la manera antes descrita:



Secuencia A'



Secuencia B

4.5.3. Melodías y backgrounds

El análisis descrito en las secciones previas da información sobre cómo transformar secuencias melódicas simples que no necesariamente forman una melodía. Esta información describe algunas características de un conjunto de patrones comúnmente usados pero no indica cómo construir una improvisación.

Como ya lo mencionamos anteriormente, la metodología de LaPorta no plantea un procedimiento para la producción de una improvisación; más bien su objetivo es que el estudiante adquiera una habilidad para producir variaciones rítmicas y melódicas y

esta habilidad la aplique en la construcción de una improvisación. Pero para esta construcción, LaPorta propone un punto de partida que facilite la labor de improvisación. LaPorta ofrece una serie de secuencias melódicas para cada tema, a las que él llama *backgrounds*, que a su juicio pueden servir de apoyo para el estudiante en la generación de una improvisación adecuada. El método de LaPorta indica que el estudiante puede producir variaciones de alguno de los *backgrounds* que él indica y estas variaciones pueden ser utilizadas en una improvisación. También dice que se pueden utilizar las variaciones de diferentes *backgrounds* en una improvisación, siempre y cuando dichos *backgrounds* correspondan al mismo tema.

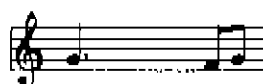
A continuación presentaremos un ejemplo de un *background* para describir algunas propiedades de ellos. Consideremos la melodía:



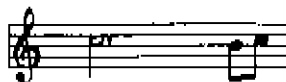
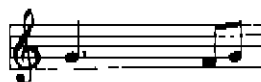
Su *background* es:



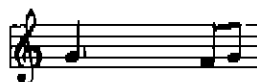
En este *background* podemos identificar rasgos de la melodía. De manera superficial podemos indicar algunos de estos rasgos; por ejemplo, el compás tres de ambas secuencias es el mismo:



Además el compás cinco

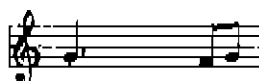


y el compás siete



pueden considerarse una variación uno del otro. Con un análisis más profundo se pueden determinar más rasgos en común, pero para nosotros será suficiente con saber que un experto indica que el background es útil para la generación de una improvisación del tema en cuestión.

También es importante resaltar que los backgrounds están basados en alguna figura sencilla que se repite constantemente en el tema. Para nuestro ejemplo, dicha secuencia es:



Entonces, de acuerdo con LaPorta, cada uno de los backgrounds propuestos por él nos da suficiente información para construir una improvisación de cada tema. Nosotros nos interesaremos en la relación de cada background con su tema, para poder definir un mecanismo para construir un background para cualquier tema y así generar una improvisación de ella.

Cabe mencionar que LaPorta no define la forma de obtener un background a partir del tema, ni tampoco indica qué propiedades debe tener una secuencia melódica para ser considerada como un background válido para un tema. Por esta razón, una de las aportaciones más importantes del NOVATO es el desarrollo de un algoritmo para la creación de "backgrounds". Más adelante, en la descripción de la etapa de improvisación, se describe a detalle el proceso de construcción de un background. Por el momento describiremos el análisis que se realiza en la fase de entrenamiento.

En este trabajo extendéremos el concepto de LaPorta de un background: un **background+** incluye la secuencia musical a la que LaPorta llama background más la transformación que modifica dicha secuencia hasta obtener el tema asociado a él. Notese que para cada transformación podemos calcular la transformación inversa, es decir, aquella transformación que modifica la transformación destino en la transformación origen; de esta forma, para cada tema existe una transformación que la modifica hasta obtener el background y viceversa.

Así que en esta etapa de entrenamiento tomamos cada tema y sus respectivos backgrounds para obtener las transformaciones de cada uno y construir **backgrounds+** completos (secuencia y transformación) que son almacenados en la memoria del sistema.

Por ejemplo para el tema:



y su background:



obtenemos la transformación:

$$T = \{ \text{división}(0, 6), \text{división}(8, 4), \text{división}(13, 3), \text{división}(10, 6), \text{división}(24, 4), \\ \text{división}(29, 3), \text{división}(32, 6), \text{división}(40, 4), \text{división}(45, 3), \text{división}(48, 6), \\ \text{división}(56, 8), \text{unión}(2, 2), \text{unión}(3, 2), \text{unión}(6, 4), \text{unión}(11, 6), \text{unión}(14, 4), \\ \text{unión}(19, 6), \text{unión}(22, 4), \text{unión}(27, 6), \text{unión}(30, 8) \}$$

con lo que tenemos totalmente definido un background+ para el tema especificado.

4.6. Etapa de improvisación

La sección anterior describe cómo el NOVATO construye su conocimiento base, las diversas estructuras que se utilizan para representar a las secuencias musicales y las relaciones entre ellas. En esta sección describiremos el mecanismo para la producción de las improvisaciones por el sistema.

A continuación se presenta una breve descripción del proceso de improvisación del NOVATO para luego hacer una descripción más profunda de cada uno de los pasos que se mencionan en la descripción general.

Una improvisación se realiza sobre un tema en particular (llamado de aquí en adelante *tema base* o simplemente *tema*). El ciclo de *engagement & reflection* del NOVATO considera como punto de partida el tema proporcionado por el usuario.

El proceso de improvisación del NOVATO inicia al "escuchar" el tema proporcionado por el usuario: el sistema transforma dicho tema a una representación interna (ver figura 4.10).

El usuario debe especificar la longitud de la improvisación.

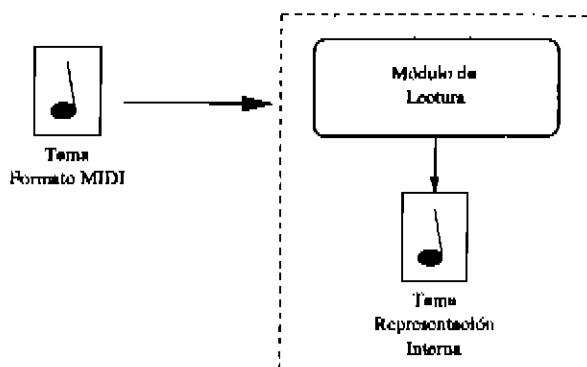


Figura 4.10: Transformación a representación interna

Una vez transformado a su representación interna debemos construir un background+ que nos sirva para generar una improvisación de él. Para realizar esto el sistema utiliza los background+ que conoce. Se busca en la base de conocimientos aquellos background+ que se consideren útiles para la generación del nuestro (figura 4.11).

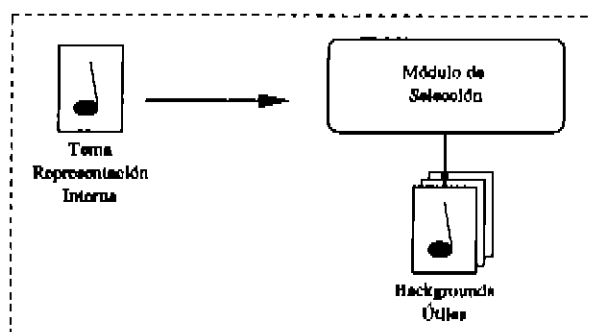


Figura 4.11: Selección de backgrounds útiles

La decisión de cuáles background+ son útiles y cuáles no se basa en la similitud de cada background y el tema: entre más similar sea un background al tema será considerado como más útil. Para determinar la similitud entre secuencias musicales se utiliza el análisis del contorno de cada una de ellas. Este análisis será descrito a mayor detalle en la sección de backgrounds útiles que está más adelante.

Una vez determinado el conjunto de background+ útiles, el sistema emplea dicho conjunto, así como el tema proporcionado por el usuario para generar un background+ original que permita crear una nueva improvisación (ver figura 4.12).

Ahora se producirá una improvisación del tema partiendo del background+ generado por el NOVATO. Primero se modifica el ritmo del background y luego se alteran las alturas de las notas de la variación producida para obtener finalmente la nueva improvisación (figura 4.13). Para modificar el ritmo del background el sistema construye una transformación a partir del conocimiento rítmico y el número de compases de la improvisación

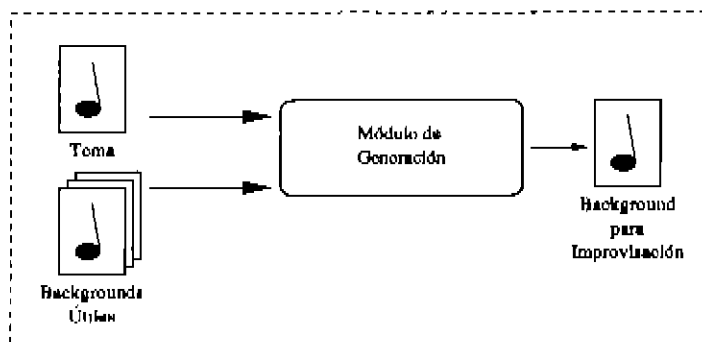


Figura 4.12: Generación del background para la improvisación

que se desea obtener. Una vez construida esta transformación es aplicada al background. Luego de aplicar cada una de las operaciones, el sistema revisa si la operación produjo una nota inválida en cuyo caso regresa a la fase de construcción del background+ para hacer una corrección en la operación que produce el error. Luego de la aplicación de la transformación rítmica el módulo de transformación melódica busca una distancia punto a punto adecuada a la secuencia obtenida a partir del background y se le aplica.

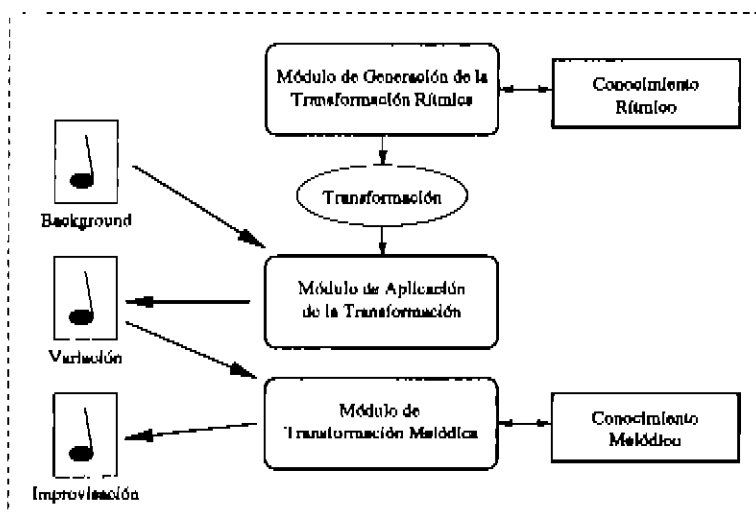


Figura 4.13: Generación de la improvisación

4.6.1. Transformación a la representación interna

En esta versión el sistema sólo permite al usuario indicar el tema en formato MIDI. La transformación se hace con la ayuda de JMusic.

El API de jMusic provee de una serie de funciones que toman como entrada un archivo de formato MIDI y construyen una estructura que contiene la información del archivo (ver

Apéndice C, las estructuras de datos en jMusic). Con la ayuda de la clase `jm.util.Read` y la función `midi` el sistema toma el tema indicado por el usuario y se obtiene un objeto de tipo `Score`, que será la representación interna del dicho tema.

4.6.2. Selección de backgrounds útiles

La selección de backgrounds considera a todos los backgrounds+ que el sistema tiene en su base de conocimientos y busca entre ellos cuáles son adecuados para el tema sobre el que se realiza la improvisación.

Para determinar cuáles serán los backgrounds+ útiles es necesario poder identificar a aquellos que compartan algunas características importantes con el tema; pero ¿cuáles son estos rasgos?, esta es la cuestión fundamental para encontrar dichos backgrounds.

Hay que hacer notar que la representación que hasta el momento se tiene del tema es una representación llana, por así decirlo, muy parecida a su versión escrita en una partitura; es decir, no contiene información respecto a las relaciones que existen entre las notas, compases o frases. Sin embargo, construir una representación que brinde tal información no es una tarea fácil, incluso a niveles de la teoría de la música se encuentran diversos planteamientos sobre este tipo de relaciones (Schoenberg, 1990), (Grabner, 2001). Por ejemplo, se ha indicado que la forma de establecer estas correspondencias depende de la experiencia de cada persona en el estudio de la música, de tal manera que un NOVATO muchas veces centra su atención en características superficiales, mientras que el experto se fija en aspectos más relevantes (Irvine, 2003).

La manera en que cada persona representa a una secuencia musical también influye en su habilidad para identificar cuándo una secuencia es similar a otra pues su experiencia influye en los rasgos que se comparan. Al respecto también se han desarrollado diversas teorías (McNab et al., 1996), (Themefinder, 1999) (Search by Humming, 1996). Algunos investigadores como Dowling (Dowling, 1978) sostienen que el contorno melódico (la manera en que asciende y desciende la melodía a lo largo del tiempo) es una cualidad muy útil para determinar la similitud entre melodías e incluso se han desarrollado proyectos para demostrar que el contorno melódico es una buena representación de una secuencia musical (Klim et al., 2000).

A decir de dichos investigadores el contorno melódico puede ser una representación muy superficial de la secuencia, ya que únicamente se enfoca en la manera en que asciende y desciende la melodía (enfoque en tres dimensiones: ascenso, descenso y mantenerse a la misma altura), pero para este trabajo es suficiente, pues recordemos que nuestro modelo de la improvisación se está haciendo desde el punto de vista de un novato, así que una representación sencilla es adecuada.

Por lo tanto, el NOVATO realiza un análisis estadístico sencillo de las secuencias musicales, es decir, se revisan algunos elementos de su contorno melódico: los rangos de los valores de la altura y ritmo en la secuencia y la longitud de ella (Sorensen and Brown, 2003).

Para ejemplificar este tipo de análisis consideremos a la siguiente secuencia:





Para dicha secuencia este análisis produce como resultado los datos mostrados en la tabla 4.3. Cada nota de la secuencia es revisada para calcular cada uno de estos valores.

Característica	Valor
Nota más baja	65
Nota más alta	71
Nota más corta	0.5
Nota más larga	4
Longitud de la melodía	31
Movimientos hacia arriba	11
Movimientos hacia abajo	0

Tabla 4.3: Análisis estadístico sencillo

El valor para la **nota más baja** y para la **nota más alta** se calcula siguiendo el estándar MIDI (ver apéndice B); el estándar asigna un valor entre 0 y 127 a cada nota. Es un caso similar para el valor de la **nota más corta** y la **nota más larga**, cada nota tiene un atributo (llamado `rhythmValue` en el API de `jMusic`) que indica su duración en el compás. La **longitud de la melodía** indica el número de notas en la secuencia. Los **movimientos hacia arriba** y **movimientos hacia abajo** indican los cambios en la altura de las notas de la secuencia.

Basándose en este análisis, el sistema evaluará los backgrounds para determinar cuáles son útiles para la construcción de cada improvisación. Para determinar a los más útiles o más similares para cada tema el sistema realiza el análisis estadístico al tema y a un background, luego compara que tanto asciende y desciende en promedio el tema y el background, y finalmente estos valores (el ascenso y descenso promedio) del tema y background son comparados para determinar qué tan similares son las secuencias. Esta comparación devuelve un valor entre cero y uno, entre más cercano a cero sea el valor más similares son las secuencias.

El NOVATO permite al usuario elegir entre dos métodos para generar el conjunto de backgrounds útiles: *selección basada en la aptitud* y *selección basada en el uso*. Ambas técnicas utilizan un algoritmo de muestreo estocástico conocido como *selección de ruleta*, el cual brinda a todos los individuos del espacio de selección, en este caso los backgrounds+ de la base de conocimientos del NOVATO, la posibilidad de ser elegidos; pero los individuos mejor calificados tienen más posibilidades de ser escogidos.

Selección basada en la aptitud

Este tipo de selección evalúa primero a todos los backgrounds+ de la base de conocimientos del sistema, identifica cuáles son los más aptos para construir una improvisación y después realiza la selección de uno de ellos de acuerdo con un valor de aptitud (figura 4.14).

Para conocer cuál es dicho valor para cada *background+* se utiliza la función de análisis estadístico antes descrito. Comparamos el resultado obtenido al realizar el análisis de cada *background* contra el resultado de realizar dicho análisis al tema. Esta comparación entrega un número entre 0 y 1, donde los valores más cercanos a cero indican mayor aptitud.

Una vez evaluados todos los *backgrounds+* del sistema obtenemos su aptitud, dichos valores son utilizados por la función de selección de ruleta para definir las probabilidades de elección de forma que los *backgrounds* con valor más cercano a cero tendrán mayor probabilidad de ser escogidos por esta función.

Siguiendo este principio la función de selección elige n *backgrounds+* (llamados *backgrounds útiles*) que serán la base de la construcción del *background+* para la improvisación.

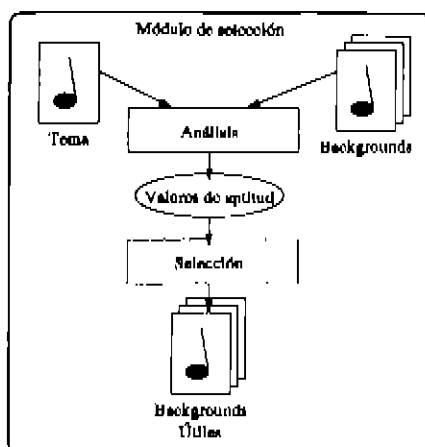


Figura 4.14: Selección basada en aptitud

Selección basada en el uso

Para determinar qué *background+* es útil para la improvisación, este tipo de selección utiliza las estadísticas del uso de cada *background+*. El sistema lleva un conteo del uso de los *backgrounds+* y esta información define las probabilidades de elección para la función de selección; en este caso los más usados tendrán mayor probabilidad de ser escogidos.

Una vez elegido un *background candidato*, éste debe ser comparado con el tema, mediante el análisis estadístico, para determinar si es lo suficientemente apto para producir una improvisación del mismo. Para poder decidir si un *background+* es "lo suficientemente" apto, el usuario debe indicar al sistema un porcentaje de qué tan parecido deben de ser los *backgrounds útiles*. Una vez especificado dicho rango el sistema puede determinar si el *background+* candidato está dentro de dichos límites; en caso de ser así, se agregará a la lista de *backgrounds útiles*, de lo contrario, se descartará de los *backgrounds* elegibles (figura 4.15).

Este proceso se repite hasta tener n *backgrounds+* o cuando ya no existan más *backgrounds+* elegibles. Si el sistema no puede seleccionar alguno, se extienden los límites para aceptar un *background+* y se repite el proceso anterior, pero sólo considerando a los *backgrounds+* descartados.

4.6.3. Generación del background

Es importante recordar que cada *background* está especialmente construido para un tema en específico, lo cual implica que ambas secuencias musicales, el *background* y el tema, tienen algunos rasgos en común; por lo que, en general, no podemos tomar el *background* de un tema y utilizarlo en otro tema, pues no está hecho para este último.

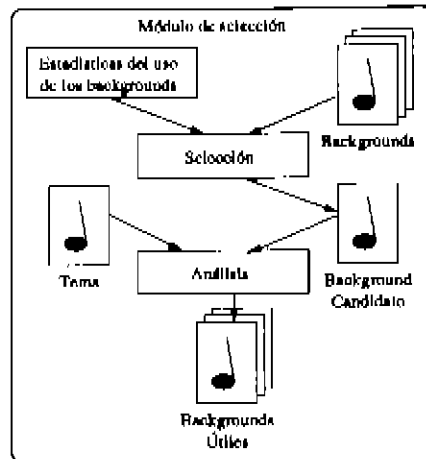


Figura 4.15: Selección basada en el uso

Sin embargo, sí puede darse el caso de que un fragmento del background sea "útil" para un tema distinto de aquel para el cual fue diseñado; en otras palabras, para un tema cualquiera podemos escoger de un conjunto de backgrounds, a un subconjunto de ellos tales que cada background en el subconjunto contenga un fragmento con características comunes al nuevo tema.

El proceso de generación del background+ del NOVATO sigue esta idea, es decir, produce un background+ para un tema a partir de un grupo de backgrounds+ que sean adecuados a dicho tema. Para definir cuáles son los backgrounds útiles para este proceso se utiliza la metodología descrita en la sección anterior y para la construcción del background+ se emplea un algoritmo evolutivo.

Para el procedimiento evolutivo del NOVATO se consideró como punto de inicio a los n backgrounds útiles elegidos en la fase anterior. Aquí cabe recordar que cada background+ incluye una transformación, la cual indica cómo obtener su tema base; además, para dicha transformación existe la transformación inversa, es decir, aquella que a partir del tema puede construir un background+ (figura 4.16). Tomando en cuenta esta observación, para construir un background+ del tema base podemos encontrar la transformación que lo produzca o bien directamente construir uno que tenga los rasgos del tema.

El NOVATO brinda estas dos opciones: la construcción directa del background+ o la construcción de la transformación que lo produce.

El algoritmo evolutivo que utilizamos es el siguiente:

1. Generar población inicial
2. Evaluación
3. Mientras el número de generaciones sea menor que el máximo
 - a) Selección.
 - b) Cruzamiento.

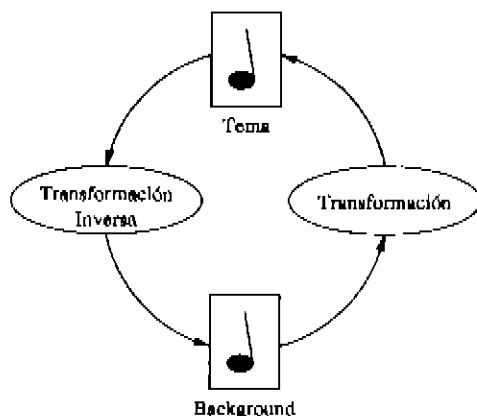


Figura 4.16: Transformación y transformación inversa

c) Evaluación.

En nuestro caso la población inicial, como ya se mencionó, son todos los backgrounds útiles que fueron seleccionados anteriormente. La evaluación se hace utilizando la función de análisis estadístico ya descrita. La selección se realiza mediante la técnica de selección basada en aptitud (ver sección 4.6.2). El número máximo de generaciones es definido por el usuario antes de iniciar el proceso.

Se utiliza cruzamiento de un sólo punto, así que se debe escoger un punto en la secuencia de notas del background o bien en la transformación. Por ejemplo, supongamos que debemos cruzar el background cuya secuencia es:



y tiene asociada la transformación:

$$T_1 = \{\text{unión}(1,2), \text{división}(0,3), \text{división}(2,2), \text{división}(8,6), \text{división}(18,3)\}$$

con el background con secuencia:



y transformación:

$$T_4 = \{\text{unión}(1,2), \text{división}(0,3), \text{división}(2,2), \text{división}(8,8), \\ \text{división}(18,3), \text{unión}(1,2), \text{división}(10,2), \text{división}(22,2)\}$$

Considerando la construcción directa, el sistema escoge una nota como punto de cruce, digamos la nota con índice seis, así que obtendríamos dos nuevas secuencias:



En cambio considerando la construcción de la transformación, el sistema escoge una operación como punto de cruce, digamos la operación tres, obteniendo las nuevas transformaciones:

$$T'_1 = \{\text{unión}(1,2), \text{división}(0,3), \text{división}(2,2), \text{división}(8,6), \\ \text{división}(18,3), \text{unión}(1,2), \text{división}(10,2), \text{división}(22,2)\}$$

$$T'_2 = \{\text{unión}(1,2), \text{división}(0,3), \text{división}(2,2), \text{división}(8,6), \\ \text{división}(18,3)\}$$

Al final de este procedimiento obtenemos una secuencia melódica o una transformación que nos servirá como base de la improvisación.

4.6.4. Generación de la improvisación

El siguiente paso es modificar el background para producir la improvisación. Esto se realiza teniendo en cuenta la información de las figuras rítmicas y melódicas de la base de conocimientos.

Primero se modifica el ritmo del background aplicando una transformación y luego se alteran las alturas de las notas para terminar de definir a la secuencia producida.

Modificación del ritmo

Para modificar el ritmo del background debemos crear una transformación que lo haga; dicha transformación será construida a partir de la generación de operaciones. Para esta generación se toma en cuenta cuál es la operación más utilizada y cuáles son los operandos más frecuentes para cada tipo de operación.

El procedimiento para generar cada operación consta de tres pasos:

1. *Selección del tipo de operación.* El tipo de operación lo elegimos tomando como referencia la información del uso de las operaciones, de forma que tenga más probabilidad de ser seleccionado el tipo de operación más usado; es decir, si el entrenamiento rítmico indica que de 30 operaciones realizadas 10 de ellas son divisiones y el resto son uniones, entonces es más probable que se elija la unión como el tipo de operación.
2. *Selección de la nota donde se aplica la operación.* Elegimos el índice sobre el cual se aplicará la operación de manera aleatoria en un rango de cero a ocho veces el número de compases de la improvisación. Se decide poner como límite a 8 veces el número de compases de la improvisación deseada, porque luego de analizar los ejercicios y backgrounds la nota más pequeña que aparece es la corchea, eso significa que en general cada compás tendrá a lo más ocho notas.
3. *Selección del número de notas a operar.* Elegimos el número de notas a operar revisando la información de los operadores para el tipo operación antes seleccionado y dando mayor probabilidad de ser elegidos a aquellos que más son usados.

notas	división	unión	notas	división	unión	notas	división	unión
2	10	8	13	0	0	24	0	0
3	5	4	14	0	0	25	0	0
4	8	3	15	0	0	26	0	0
5	1	1	16	0	0	27	0	0
6	4	1	17	0	0	28	0	0
7	1	0	18	0	0	29	0	0
8	1	1	19	0	0	30	0	0
9	0	0	20	0	0	31	0	0
10	0	0	21	0	0	32	0	0
11	0	0	22	0	0	Total	30	18
12	0	0	23	0	0			

Tabla 4.4: Datos del entrenamiento rítmico

A continuación vemos un ejemplo de este procedimiento: supongamos que del entrenamiento rítmico hemos obtenido los datos mostrados en la tabla 4.4 y que queremos una improvisación de cuatro compases.

De acuerdo con la tabla es más probable que en el paso 1 se seleccione una división, pues el número de divisiones es mayor que el de uniones. Entonces, generamos una operación división(X, Y) y debemos ahora determinar los valores para X (el índice de la nota donde se aplica la división) y para Y (el número de notas a operar).

El valor de X se obtiene de manera aleatoria en un rango de 0 a 8×4 , para nuestro ejemplo supongamos que el valor de X es 24.

El valor de Y se calcula a partir de los operadores más utilizados para la división, es decir, se escoge un valor de la lista $\{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$, donde el 2 y el 4 tienen mayor probabilidad de ser elegidos, por ser los operadores más usados. Si el valor seleccionado es 4, la operación construida por este procedimiento es:

división(24,4)

Este proceso se realiza mientras no se alcance el número máximo de operaciones, pero puede detenerse de manera aleatoria en cada paso para una revisión de la transformación generada hasta el momento. Esta revisión verifica que el porcentaje de divisiones y uniones sea similar al porcentaje de esas operaciones en el entrenamiento rítmico. Para determinar si son similares los porcentajes de las operaciones se comparan los valores actuales con los porcentajes obtenidos en el entrenamiento rítmico, permitiendo sólo una variación de un cinco por ciento en los porcentajes.

Por ejemplo, de la tabla 4.4 observamos que los porcentajes de cada tipo de operación son:

$$\text{división} = 62.5\% \quad \text{unión} = 37.5\%$$

así que revisaremos que el porcentaje de divisiones en la transformación generada se encuentren entre 57.5 y 67.5 y el de uniones entre 32.5 y 42.5.

Supongamos que debemos verificar la transformación:

$$t = \{\text{división}(2, 4), \text{división}(4, 2), \text{unión}(20, 4), \text{división}(10, 4), \text{división}(18, 2), \\ \text{unión}(10, 2), \text{división}(12, 4), \text{división}(1, 6), \text{unión}(5, 3), \text{división}(25, 2)\}.$$

Esta transformación tiene 7 divisiones y 3 uniones, por lo que los porcentajes no caen dentro de los límites permitidos.

Cuando la transformación no cumple la condición de similitud, se cambia el tipo de la última operación agregada a la transformación. En nuestro ejemplo se cambiaría la operación:

$$\text{división}(25, 2)$$

por la nueva operación:

$$\text{unión}(25, 2)$$

obteniendo la nueva transformación:

$$t = \{\text{división}(2, 4), \text{división}(4, 2), \text{unión}(20, 4), \text{división}(10, 4), \text{división}(18, 2), \\ \text{unión}(10, 2), \text{división}(12, 4), \text{división}(1, 6), \text{unión}(5, 3), \text{unión}(25, 2)\}.$$

que sí cumple con los valores de similitud.

Luego de que es verificada una transformación se decide de manera aleatoria si el proceso de construcción de la transformación continúa o termina, sin importar que aún no se tengan el número máximo de operaciones.

Aplicación de operaciones

Después de la generación de las operaciones, éstas se aplicarán al background, pero antes de aplicar una operación debemos verificar que se pueda aplicar a la secuencia actual y no se produzca una secuencia ilegal.

La verificación de una operación consiste de dos puntos:

1. Verificamos que el índice de la nota en donde se aplicará la operación sea válido para la secuencia actual.
2. Verificamos que la operación se pueda realizar.

La primera verificación comprueba que la secuencia actual tenga una nota con el índice que especifica la operación, es decir, que el índice que indica la operación este en el rango de 0 a $l - 1$, donde l es el número de notas y silencios de la secuencia actual. En caso de que el índice sea inválido, generamos un número de forma aleatoria entre 0 y $l - 1$ que será el índice de la nota donde se aplicará la operación.

La segunda verificación se encarga de comprobar que la operación pueda ser aplicada a la secuencia actual, esto se realiza dependiendo del tipo de operación:

- Si la operación es una división, revisamos que al dividir la nota especificada obtenemos notas válidas, es decir, que la duración de las notas producidas por la operación sea mayor a la de duración mínima (por defecto, la nota de duración mínima es una semicorchea).
- Si la operación es una unión, revisamos que no se quieran unir más notas de las que tiene la secuencia a partir del índice de la nota donde se debe aplicar.

En caso de encontrar problemas con una operación de tipo división, reducimos el número de divisiones que se deben realizar a la mitad y volvemos a hacer la verificación.

En caso de que el error se produzca en una unión, reducimos el número de notas a unir en la mitad.

Si la verificación de la operación no produjo ningún error, se transforma la secuencia melódica de acuerdo con la definición de la operación.

De esta manera modificamos el background con la transformación y el siguiente paso es alterar las alturas de algunas notas.

Variaciones melódicas

Una vez que el background ha sido modificado por cada una de las operaciones de la transformación, se modificarán algunos de los compases de la nueva secuencia melódica, a la cual nos referiremos como *secuencia actual*.

De la etapa de entrenamiento melódico podemos observar que cada una de las secuencia origen y destino tienen únicamente dos compases, pues así fueron propuestos por LaPorta. De esta manera, dividiremos a la secuencia actual en subsecuencias de dos compases y sobre esas subsecuencias realizaremos las modificaciones melódicas.

Para cada una de las subsecuencias decidiremos de manera aleatoria si se modificarán las alturas de las notas de la secuencia.

Una vez que se ha decidido realizar la modificación de las subsecuencias buscaremos una distancia punto a punto que pueda ser utilizada en dicha subsecuencia. Por ejemplo, consideremos la siguiente secuencia:



Las distancias punto a punto que pueden ser aplicadas a S_1 dependen de la nota de mínima duración de S_1 . Observando la secuencia S_1 vemos que la nota de mínima duración es:



Así que buscaremos una distancia punto a punto de 8, 16 o 32 elementos, pues dichas distancias punto a punto se obtuvieron de comparar secuencias con la misma nota de mínima duración o alguna que sea divisora de ella.

De acuerdo a dicho criterio, la siguiente distancia punto a punto podría ser aplicable a la secuencia S_1 :

$$d_1 = \{-3, -3, -5, -7, -7, -3, -3, -3\}$$

Cada uno de los valores se aplicará a alguna nota según su duración, recordando que cada valor de la distancia representa una nota de cierta duración. En el caso de d_1 , cada valor está asociado a la duración de la nota:



por lo tanto, la asociación de notas y valores es la siguiente:

$S_1 =$

Esta asociación de valores y notas indica el desplazamiento de cada nota, es decir, la primera nota debe desplazarse tres semitonos hacia abajo, la segunda cinco semitonos hacia abajo y la tercera siete semitonos hacia abajo. De acuerdo con esto, el primer compás quedaría de la siguiente manera:

Pero observando la asociación de valores y la primera nota del segundo compás, dichos valores indican un desplazamiento de siete semitonos hacia abajo y otro desplazamiento de tres semitonos, así que como no hay un único desplazamiento, la distancia d_1 no puede ser aplicada a S_1 y se debe buscar otra distancia.

Cuando existan más de una distancia punto a punto aplicables a una misma secuencia, se utilizará la primera. Cuando no haya ninguna distancia punto a punto aplicable, la secuencia permanecerá sin alteraciones.

Finalmente se unen todas las subsecuencias y se obtiene la improvisación.

4.6.5. Resumen

En este capítulo se describió el programa de computadora para la exploración de los procesos creativos en música, en particular en la improvisación de Jazz, mediante el sistema denominado el NOVATO. El NOVATO basa su funcionamiento en el modelo

ER, el cual fue originalmente diseñado para la exploración de los procesos creativos en la escritura.

El comportamiento del NOVATO está influenciado por la propuesta de John LaPorta acerca de la enseñanza del Jazz, así que antes de describir a detalle el funcionamiento del sistema, se analizaron las principales características de esta metodología.

Se definieron las diversas fases de entrenamiento: entrenamiento rítmico, melódico y de producción de improvisaciones simples. Toda la información utilizada en cada una de las fases de entrenamiento fue tomada del libro de John LaPorta sobre la improvisación de Jazz "A Guide to Jazz improvisation".

Luego de la descripción del entrenamiento se describió el proceso de improvisación, que puede ser dividida en dos: la construcción de un **background+** apropiado al tema sobre el que se improvisa y la generación de la improvisación basada en el **background+** antes generado.

Una vez descrito el funcionamiento, en el capítulo siguiente se describirá, paso a paso, cómo el NOVATO realiza una improvisación.

Capítulo 5

Funcionamiento a detalle

5.1. Ejemplo paso a paso

En este capítulo vamos a revisar a mayor detalle la construcción de una improvisación por el novato. Revisaremos desde la fase de entrenamiento hasta la generación de una improvisación para un tema en específico y terminando con un análisis del comportamiento del NOVATO.

El tema que se utiliza como base de la improvisación para este ejemplo se muestra a continuación:



Con base en dicho tema el NOVATO genera la siguiente improvisación de cuatro compases:



Revisaremos cómo el sistema construye la improvisación anterior, así como una descripción de los algoritmos que son utilizados para ello.

Utilizaremos una versión reducida de las secuencias de entrenamiento con el objetivo de que sea más sencilla la explicación del funcionamiento del sistema.

La siguiente sección explica cómo se obtiene la información rítmica y melódica para la formación de la base de conocimientos del sistema y en la sección posterior se explica paso a paso la generación de la improvisación anterior.

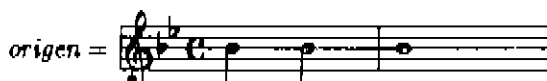
5.2. Etapa de aprendizaje

Cada lección del método de LaPorta viene acompañada de ejercicios que son utilizados en la etapa de aprendizaje para el entrenamiento rítmico y melódico siguiendo el proceso descrito en el capítulo 4. En este ejemplo paso a paso usaremos sólo los ejercicios de la lección 1.

5.2.1. Entrenamiento rítmico

El entrenamiento rítmico se basa en el algoritmo de transformación mostrado en la figura 5.1. Revisemos su funcionamiento para la construcción de las transformaciones para un grupo de secuencias en específico.

Realizamos la construcción de la transformación tomando como punto de base a la siguiente secuencia:



y como secuencias rítmicas destino cada una de las secuencias mostradas en la figura 5.2.

Empezaremos construyendo la transformación para la secuencia rítmica destino 1:



El paso 1 del algoritmo consiste en encontrar el valor de la variable *ritmoBase*, que es la nota de máxima duración en que podemos dividir a cada elemento de la secuencia origen y la secuencia destino, con el fin de obtener dos nuevas secuencias equivalentes a las anteriores pero donde todas sus notas son de igual duración. Por ejemplo para las notas diferentes de la secuencia *origen*:



observamos que la nota de máxima duración en que se pueden dividir es:



y en base a dicha nota podemos obtener la secuencia:

Algoritmo de Transformación Rítmica:

0. Sea *origen* la secuencia rítmica base y *destino* la secuencia rítmica destino.
Sea *t* una transformación vacía.
1. *ritmoBase* es el valor del ritmo máximo en que podemos dividir a cada nota de secuencias *origen* y *destino*.
2. Mientras la secuencia *origen* tenga notas con duración mayor al valor de *ritmoBase*.
 - a) Sea *notaActual* una nota de la secuencia *origen* con duración mayor a *ritmoBase*.
 - b) Sea *indiceActual* el índice de *notaActual*.
 - c) Sea *numDivisiones* un número en que podemos dividir a *notaActual* y obtenemos notas válidas.
 - d) Aplicamos la operación *division(indiceActual, numDivisiones)* a la secuencia *origen*.
 - e) Agregamos la operación *division(indiceActual, numDivisiones)* a la transformación *t*.
3. Revisando nota a nota de izquierda a derecha. Para cada una de las notas de la secuencia *origen* y *destino* de duración distinta.
 - a) Sea *notaDestino* la siguiente nota a revisar de la secuencia *destino*.
 - b) Sea *notaOrigen* la siguiente nota a revisar de la secuencia *origen*.
 - c) Sea *indiceOrigen* el índice de *notaDestino*.
 - d) Sea *numNotas* el número de notas a la derecha de *notaOrigen* tales que junto a *notaOrigen* tienen la misma duración que *notaDestino*.
 - e) Aplicamos la operación *unión(indiceOrigen, numNotas)* a la secuencia *origen*.
 - f) Agregamos la operación *unión(indiceOrigen, numNotas)* a la transformación *t*.
4. *t* es la transformación que convierta a la secuencia *origen* en la secuencia *destino*.

Figura 5.1: Algoritmo de transformación rítmica

ya que podemos dividir a la nota de máxima duración de la secuencia origen en dos notas como la anterior.

El paso 2 del algoritmo busca dividir a la secuencia *origen* en base al *ritmoBase*. 2a selecciona la primer nota de *origen* cuya duración es mayor a *ritmoBase*, en este caso la primera es:

f

En 2b asignamos el valor de *indiceActual* que en este caso es 0.

En 2c calculamos en cuántas notas de duración *ritmoBase* se puede dividir la nota *notaActual*, así que el valor de *numDivisiones* es 2.

Con estos pasos podemos definir la operación *división* (0, 2), la cual se aplicará a la secuencia *origen* en el paso 2d, obteniendo la secuencia:



Y en el paso 2e agregamos dicha operación a t:

$$t = [\text{división}(0, 2)]$$

De esta manera vamos dividiendo cada nota de la secuencia *origen*. En la siguiente iteración del paso 2 obtenemos la operación *división*(2, 2), que es aplicada a *origen*₁ obteniendo:



Finalmente obtenemos la operación *división*(4, 4) a *origen*₂:



con esta secuencia termina el paso 2 pues cada nota tiene una duración igual a *ritmoBase*.

Ahora en 3 uniremos algunas notas de *origen*₃ para obtener una secuencia igual a *destino*. Observando a *origen*₃ y *destino* nota a nota vemos que la primera de ellas con duración diferente es la nota con índice 4, aquí se puede aplicar el paso 3.

Por 3a, *notaDestino* es:

f

por 3b, *notaOrigen* es:



y por 3c, *indiceOrigen* es 4.

Luego debemos determinar cuántas notas de *origen* a partir de *notaOrigen* son necesarias para alcanzar la duración de *notaDestino*; en 3d calculamos este valor (*numNotas*) que es 3.

Se aplica la operación *unión(4,3)* a *origen₃* y obtenemos:



Agregamos la operación *unión(4,3)* en 3f a *t*

$$t = [\text{división}(0, 2), \text{división}(2, 2), \text{división}(4, 4), \text{unión}(4, 3)]$$

En este punto *origen₄* ya no cuenta con notas con duración diferente a las de *destino*, así que el algoritmo termina y encontramos que la transformación que lleva de *origen* a *destino* es *t*.

La tabla 5.1 muestra las transformaciones que el algoritmo obtiene para transformar la secuencia *origen* en cada una de las secuencias *destino*.

Revisaremos brevemente alguna de las secuencias producidas, consideremos como secuencia destino 10:



Para dicha secuencia el algoritmo encontró la transformación:

$$t = \{\text{división}(0, 4), \text{división}(4, 4), \text{división}(8, 8), \text{unión}(0, 2), \text{unión}(1, 2), \text{unión}(6, 2), \text{unión}(7, 2), \text{unión}(8, 4)\}$$

Aplicando la transformación a la secuencia obtenemos las siguientes secuencias:



división(0, 4)



No.	Transformación
1	<i>división</i> (0, 2) <i>división</i> (2, 2) <i>división</i> (4, 4) <i>unión</i> (4, 3)
2	<i>división</i> (0, 2) <i>división</i> (2, 2) <i>división</i> (4, 4) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (3, 3)
3	<i>división</i> (0, 2) <i>división</i> (2, 2) <i>división</i> (4, 4) <i>unión</i> (2, 2) <i>unión</i> (5, 2)
4	<i>división</i> (0, 2) <i>división</i> (2, 2) <i>división</i> (4, 4)
5	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (3, 2) <i>unión</i> (4, 2) <i>unión</i> (5, 6) <i>unión</i> (6, 2)
6	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (3, 2) <i>unión</i> (6, 4) <i>unión</i> (7, 4)
7	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (1, 2) <i>unión</i> (2, 2) <i>unión</i> (3, 2) <i>unión</i> (4, 2) <i>unión</i> (7, 4)
8	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (3, 2) <i>unión</i> (4, 2) <i>unión</i> (5, 2) <i>unión</i> (8, 4)
9	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (4, 2) <i>unión</i> (5, 2) <i>unión</i> (6, 2) <i>unión</i> (7, 2) <i>unión</i> (8, 4)
10	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (1, 2) <i>unión</i> (6, 2) <i>unión</i> (7, 2) <i>unión</i> (8, 4)
11	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (1, 2) <i>unión</i> (2, 2) <i>unión</i> (3, 2) <i>unión</i> (8, 2) <i>unión</i> (9, 2)
12	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (7, 2) <i>unión</i> (10, 4)
13	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (1, 2) <i>unión</i> (2, 2) <i>unión</i> (9, 4)
14	<i>división</i> (0, 4) <i>división</i> (4, 4) <i>división</i> (8, 8) <i>unión</i> (0, 2) <i>unión</i> (1, 2) <i>unión</i> (2, 2) <i>unión</i> (3, 2) <i>unión</i> (10, 2)

Tabla 5.1: Transformaciones

división(4, 4) 

división(8, 8) 

unión(0, 2) 

unión(1, 2) 



Podemos observar que la última secuencia obtenida es igual a la secuencia *destino*.

Después del entrenamiento con estas secuencias el sistema tiene la información mostrada en la tabla 5.2 acerca de la modificación de ritmos.

notas	división	unión	notas	división	unión	notas	división	unión
2	8	42	13	0	0	24	0	0
3	0	2	14	0	0	25	0	0
4	24	8	15	0	0	26	0	0
5	0	0	16	0	0	27	0	0
6	0	1	17	0	0	28	0	0
7	0	0	18	0	0	29	0	0
8	10	0	19	0	0	30	0	0
9	0	0	20	0	0	31	0	0
10	0	0	21	0	0	32	0	0
11	0	0	22	0	0	Total	42	53
12	0	0	23	0	0			

Tabla 5.2: Datos del entrenamiento rítmico

5.2.2. Entrenamiento melódico

El entrenamiento melódico utiliza el algoritmo de distancia punto a punto mostrado en la figura 5.3. Al igual que en la sección anterior analizaremos su funcionamiento con un ejemplo.

En esta caso tomaremos como secuencia melódica *origen* a la secuencia:



y como secuencias melódicas *destino* a cada una de las secuencias mostradas en la figura 5.4.

Algoritmo de Distancia punto a punto:

0. Sea *origen* la secuencia rítmica base y *destino* la secuencia rítmica destino.
1. *ritmoBase* es el valor del ritmo máximo en que podemos dividir a cada nota de secuencias *origen* y *destino*.
2. Mientras la secuencia *origen* tenga notas con duración mayor al valor de *ritmoBase*.
 - a) Sea *notaActual* una nota de la secuencia *origen* con duración mayor a *ritmoBase*.
 - b) Sea *indiceActual* el índice de *notaActual*.
 - c) Sea *numDivisiones* un número en que podemos dividir a *notaActual* y obtenemos notas válidas.
 - d) Aplicamos la operación *división(indiceActual, numDivisiones)* a la secuencia *origen*.
3. Mientras la secuencia *destino* tenga notas con duración mayor al valor de *ritmoBase*.
 - a) Sea *notaActual* una nota de la secuencia *destino* con duración mayor a *ritmoBase*.
 - b) Sea *indiceActual* el índice de *notaActual*.
 - c) Sea *numDivisiones* un número en que podemos dividir a *notaActual* y obtenemos notas válidas.
 - d) Aplicamos la operación *división(indiceActual, numDivisiones)* a la secuencia *destino*.
4. Comparamos nota a nota las secuencias *origen* y *destino* para obtener la distancia punto a punto de ellas.

Figura 5.3: Algoritmo de Distancia punto a punto

Figura 5.4: Secuencias melódicas destino

Analizaremos el algoritmo viendo su funcionamiento respecto a la secuencia *origen* y la secuencia destino 2:

destino =

La primera parte del algoritmo de distancia punto a punto es similar al algoritmo de transformación, el paso 1 busca el ritmo máximo que divida a la secuencia *origen* y destino. Para nuestro caso este ritmo es:



El paso 2 divide cada nota de la secuencia *origen* hasta que todas ellas sean de la misma duración que el ritmoBase obteniendo la secuencia *origen₁*:

origen₁ =

El paso 3 hace lo propio para la secuencia *destino* resultando la secuencia *destino₁*:



Una vez realizados los pasos 2 y 3 tenemos dos secuencias que podemos comparar nota a nota. El paso 4 obtiene la distancia punto a punto de ambas secuencias, para esto consideremos su representación en secuencia de pares:

$$\begin{aligned} \text{origen}_1 &= \{5, 5, 5, 5, 5, 5, 7, 7, 7, 7, 7, 5, 5, 5, 5\} \\ \text{destino}_1 &= \{2, 2, 2, 2, 0, 0, 0, 0, 2, 2, 0, 2, 2, 2, 2\} \end{aligned}$$

Entonces su distancia punto a punto es:

$$\{-3, -3, -3, -3, -5, -5, -7, -7, -5, -5, -7, -3, -3, -3, -3\}$$

La tabla 5.3 muestra la distancia punto a punto que el sistema calculó para cada una de las secuencias destino.

1	{-3, -3, -3, -3, -5, -5, -7, -7, -7, -7, -3, -3, -3, -3}
2	{-3, -3, -3, -3, -5, -5, -7, -7, -6, -5, -7, -3, -3, -3, -3}
3	{-5, -5, -5, -5, -7, -7, -9, -9, -9, -9, -5, -5, -5, -5}
4	{-5, -5, -5, -5, -3, -3, -5, -5, indef., indef., -7, -3, -3, -3, -3}
5	{-3, -3, -3, -3, 0, 0, -2, -2, indef., indef., -5, 0, 0, 0, 0}
6	{0, 0, -3, -3, 0, 0, indef., indef., -2, -2, -2, -3, -3, -3, -3}
7	{-3, -3, -3, -3, 0, 0, -2, -2, 0, 0, 2, 2, 2, 2}
8	{-3, -3, 0, 0, -3, -3, -2, -2, 0, 0, 0, 0, 0, 0}
9	{0, 0, 0, 0, 2, 2, 0, 0, 0, -2, 5, 5, 5, 5}
10	{2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 5, 5, 5, 7, 7, 7}
11	{7, 7, 7, 7, 5, 5, 3, 3, 5, 5, 3, 2, 2, 2}
12	{2, 2, 2, 2, 0, 0, indef., indef., -5, -5, -5, 0, 0, 0, 0}
13	{0, 0, 0, 0, -3, -3, -2, -2, -5, -5, -5, -5, -5, -5}
14	{-5, -5, -3, -3, -5, -5, -7, -7, -7, -7, -5, -7, -7, indef., indef.}

Tabla 5.3: Performance

5.2.3. Melodía y backgrounds

En el caso de las melodías y los backgrounds, se realiza el análisis del tema y sus respectivas backgrounds para construir los backgrounds+ que son almacenados en la memoria del sistema.

Consideraremos dos temas con sus dos backgrounds respectivos para cada tema, todas las secuencias fueron tomadas del método de LaPorta. El tema 1 es:



y sus backgrounds son:

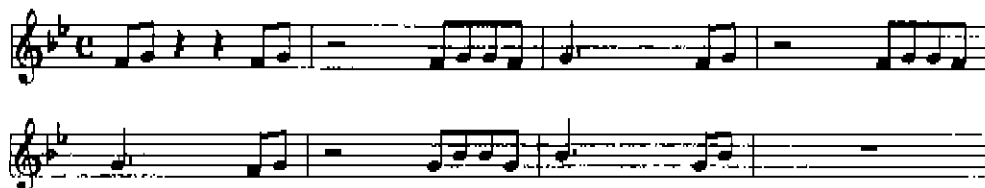
Background 1



Background 2



El tema 2 es:



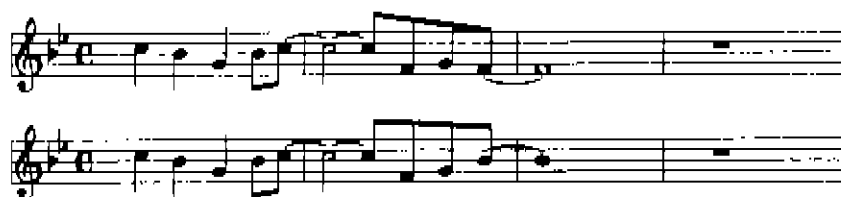
y sus backgrounds son:

Background 3





Background 4



A partir de estas secuencias el NOVATO construye los backgrounds+ que serán utilizados para la generación de la improvisación. A continuación se muestran los background+ obtenidos del análisis del sistema, los background+ 1 y 2 corresponden al tema 1 y los background+ 3 y 4 al tema 2:

Background 1



$$T_1 = \{ \text{división}(0, 6), \text{división}(8, 4), \text{división}(13, 3), \text{división}(16, 6), \\ \text{división}(24, 4), \text{división}(29, 3), \text{división}(32, 8), \text{división}(40, 4), \\ \text{división}(45, 3), \text{división}(48, 6), \text{división}(56, 8), \text{unión}(2, 4), \\ \text{unión}(5, 4), \text{unión}(10, 6), \text{unión}(13, 4), \text{unión}(18, 6), \text{unión}(21, 4), \\ \text{unión}(20, 6), \text{unión}(29, 8) \}$$

Background 2



$T_2 = \{ \text{división}(0, 2), \text{división}(2, 2), \text{división}(4, 2), \text{división}(8, 4), \text{división}(13, 3),$
división(16, 2), *división*(18, 2), *división*(20, 2), *división*(24, 4),
división(30, 2), *división*(32, 2), *división*(34, 2), *división*(36, 2),
división(40, 4), *división*(45, 3), *división*(48, 2), *división*(50, 2),
división(52, 2), *división*(56, 8), *unión*(2, 4), *unión*(5, 4), *unión*(10, 6),
unión(13, 4), *unión*(18, 6), *unión*(21, 4), *unión*(26, 6), *unión*(29, 8) \}

Background 3



$T_3 = \{ \text{división}(0, 2), \text{división}(2, 2), \text{división}(4, 2), \text{división}(7, 2), \text{división}(11, 4),$
división(16, 2), *división*(18, 2), *división*(20, 2), *división*(23, 2),
división(27, 2), *división*(32, 2), *división*(34, 2), *división*(36, 2),
división(39, 2), *división*(43, 4), *división*(48, 2), *división*(50, 2),
división(52, 2), *división*(55, 2), *división*(59, 4), *unión*(0, 2), *unión*(1, 2),
unión(2, 2), *unión*(4, 6), *unión*(7, 9), *unión*(8, 8), *unión*(9, 2), *unión*(10, 2),
unión(11, 2), *unión*(13, 6), *unión*(16, 9), *unión*(17, 8) \}

Background 4



$T_4 = \{ \text{división}(0, 4), \text{división}(4, 4), \text{división}(8, 2), \text{división}(16, 8), \text{división}(24, 2),$
división(32, 4), *división*(36, 4), *división*(40, 2), *división*(48, 8),
división(58, 2), *división*(60, 2), *división*(62, 2), *unión*(0, 2), *unión*(1, 2),

*unión(2, 2), unión(4, 6), unión(7, 9), unión(8, 8), unión(9, 2), unión(10, 2),
unión(11, 2), unión(13, 6), unión(16, 9), unión(17, 8)}*

5.3. Etapa de improvisación

5.3.1. Transformación a la representación interna

La etapa de improvisación comienza con la especificación del tema por parte del usuario. El tema utilizado es el siguiente:



Este tema estará codificado en un archivo MIDI y será especificado al sistema, éste usará el API de jMusic para leerlo y obtener un objeto de tipo *Score* que es su representación interna.

5.3.2. Selección de backgrounds útiles

La selección considera a todos los *backgrounds+* del sistema, que en este ejemplo paso a paso son los cuatro *backgrounds+* mostrados en la sección anterior. Como la selección se basará en el análisis estadístico de cada uno de ellos, la tabla 5.4 muestra los resultados de dicho análisis para cada *background+* y el tema.

Característica	Bg 1	Bg 2	Bg 3	Bg 4	Tema
Nota más baja	65	65	58	65	58
Nota más alta	70	77	72	72	79
Nota más corta	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25
Nota más larga	4	4	2	4	3.5
Longitud de la melodía	22	31	36	24	59
Movimientos hacia arriba	4	9	15	7	11
Movimientos hacia abajo	7	11	1	7	20

Tabla 5.4: Resultados del análisis estadístico

Para poder realizar la selección de los backgrounds+ útiles es necesario elegir un método de selección.

Consideremos primero la *selección basada en la aptitud*, para ésta necesitamos hacer el cálculo de la aptitud para cada background+ con respecto al tema base. En esta implementación usamos una técnica denominada análisis del contorno, que toma como referencia a los movimientos hacia arriba, movimientos hacia abajo y la longitud de la secuencia. Con base en dicha técnica obtenemos los valores de aptitud mostrados en la tabla 5.5. Cabe recordar que entre más cercano a cero sea el valor de un background, éste será más apto para la improvisación.

Background	Valor de aptitud
1	0.016178737
2	0.088026244
3	0.230340510
4	0.152542373

Tabla 5.5: Valores de aptitud de los backgrounds

Para este tipo de selección es necesario que se le indique al sistema cuántos backgrounds+ deberán ser elegidos, en este ejemplo elegiremos 3.

Recordemos que se utilizará una función de selección de ruleta de forma que todos los backgrounds+ pueden ser elegidos, pero tiene mayor probabilidad los más aptos. De forma que nuestra función de selección elige como backgrounds+ útiles a 1, 2 y 4.

Para el caso de la *selección basada en el uso*, debemos conocer cuántas veces han sido usados cada uno de los backgrounds+ y qué tan parecidos al tema deben ser los backgrounds+ seleccionados. En este ejemplo supondremos que ya han sido generadas algunas improvisaciones anteriormente, de manera que la información del uso de los backgrounds+ es la mostrada en la tabla 5.6. Otro parámetro necesario para este tipo de selección es límite de similitud, en este ejemplo consideraremos que debe ser 80 por ciento similar. El último parámetro requerido es el número de backgrounds+ a elegir, que en este caso serán 3.

Background	Uso
1	5
2	2
3	3
4	2

Tabla 5.6: Información de uso de backgrounds

Con base en la información anterior la función de selección elegirá un background+ candidato, teniendo mayor probabilidad de ser elegidos aquellos que han sido más usados.

Supongamos que el primer background+ elegido es el 1, ahora se analiza el background+ elegido para determinar si supera el límite de similitud indicado. De la tabla de valores de aptitud 5.5 observamos que el valor para dicho background+ es 0.016178737, lo que indica que tiene un $(1 - 0.016178737 = 0.983821263) \sim 98$ por ciento de similitud; ya que el background+ sí supera el límite de aptitud entonces es considerado como

background+ útil y continua el proceso de selección para buscar a los background+ restantes.

El siguiente background+ escogido con esta función es el 3, analizando su valor de aptitud se resuelve que no sobrepasa el límite de similitud ($1 - 0.236346516 = 0.763653484 \sim 76\%$), así que se descarta de los background+ elegidos. El proceso continua y se elige como background+ útiles a 2 y 4, terminando con esto la selección de background+ útiles.

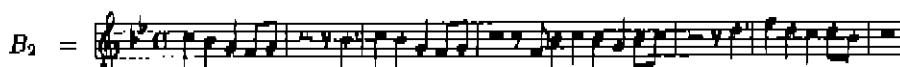
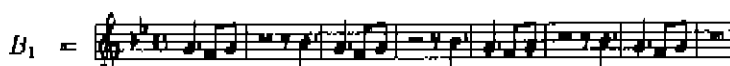
5.3.3. Generación del background

El proceso de selección (basada en aptitud o en uso) entrega como resultado a los background+ útiles 1, 2, 4. En esta sección describiremos cómo son usados esos background+ para producir uno para nuestra improvisación. Como la generación del background+ se hace con la ayuda de un procedimiento evolutivo, el usuario debe indicar los valores para cada uno de los parámetros de dicho procedimiento: el número máximo de generaciones, background+ seleccionados en cada generación y probabilidad de cruzamiento.

Utilizaremos primero la construcción directa del background+ con los siguientes valores para el procedimiento evolutivo:

- número máximo de generaciones: 20
- background+ seleccionados: 4
- probabilidad de cruzamiento: 0.8

La población inicial es:



La evaluación calculó sus valores de aptitud los cuales son los mostrados en la tabla 5.7.

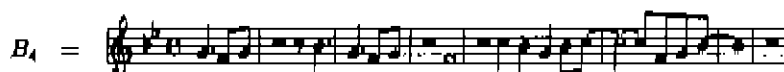
Background	Valor de aptitud
B_1	0.016178737
B_2	0.088026244
B_3	0.152542373

Tabla 5.7: Valores de aptitud de la población inicial

Tomando como referencia los valores de aptitud la función de selección elige cuatro background+ para cruzar: (B_1 , B_2) y (B_1 , B_3).

Ahora que han sido seleccionados algunos backgrounds+ para cruzar, para cada par se decidirá si al azar se cruzan o no antes de ser agregados a la siguiente generación:

- Para el par (B_1, B_2) , sí se realiza cruzamiento. Se elige como punto de cruce al azar a 10, con lo que obtenemos las siguientes secuencias:



- Para el par (B_1, B_3) , no se realiza cruzamiento.

$$B_6 = B_1$$

$$B_7 = B_3$$

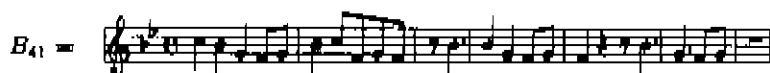
Se evalúan los nuevos backgrounds+ y se agregan a la población actual. La tabla 5.8 muestra los valores para la población de la generación 1.

Background	Valor de aptitud
B_1	0.016178737
B_2	0.088026244
B_3	0.152542373
B_4	0.152542373
B_5	0.016178737
B_6	0.016178737
B_7	0.152542373

Tabla 5.8: Valores de aptitud de la población 1

El proceso continúa hasta alcanzar las 20 generaciones o cuando se obtenga un background+ con aptitud cero. La tabla 5.9 muestra los valores de aptitud del mejor background+ en cada generación.

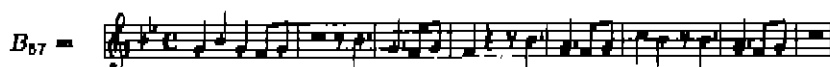
Observando la tabla de mejores backgrounds+ durante el proceso, vemos que el primer mejor background+ que es producido aparece en la generación 10 (el background+ 1 no se considera producido pues él proviene de los backgrounds+ que el sistema ya conocía):



y finalmente el mejor individuo obtenido surge en la generación 14 que será el background+ base de nuestra improvisación.

Generación	Background	Valor de aptitud
1	B_1	0.016178737
2	B_1	0.016178737
3	B_1	0.016178737
4	B_1	0.016178737
5	B_1	0.016178737
6	B_1	0.016178737
7	B_1	0.016178737
8	B_1	0.016178737
9	B_1	0.016178737
10	B_{41}	0.014124294
11	B_{41}	0.014124294
12	B_{41}	0.014124294
13	B_{41}	0.014124294
14	B_{67}	0.001302424
15	B_{67}	0.001302424
16	B_{67}	0.001302424
17	B_{67}	0.001302424
18	B_{67}	0.001302424
19	B_{67}	0.001302424
20	B_{67}	0.001302424

Tabla 5.9: El mejor background de cada generación



Por otro lado, si quisiéramos obtener la transformación que construye el background+ debemos trabajar con las transformaciones que tienen asociadas cada uno de los backgrounds+ útiles. En este caso dichas transformaciones son:

- $$T_1 = \{ \text{división}(0, 6), \text{división}(8, 4), \text{división}(13, 3), \text{división}(16, 6), \text{división}(24, 4), \text{división}(29, 3), \text{división}(32, 0), \text{división}(40, 4), \text{división}(45, 3), \text{división}(48, 6), \text{división}(50, 8), \text{unión}(2, 4), \text{unión}(5, 4), \text{unión}(10, 8), \text{unión}(13, 4), \text{unión}(18, 6), \text{unión}(21, 4), \text{unión}(26, 6), \text{unión}(29, 8) \}$$
- $$T_2 = \{ \text{división}(0, 2), \text{división}(2, 2), \text{división}(4, 2), \text{división}(8, 4), \text{división}(13, 3), \text{división}(16, 2), \text{división}(18, 2), \text{división}(20, 2), \text{división}(24, 4), \text{división}(30, 2), \text{división}(32, 2), \text{división}(34, 2), \text{división}(30, 2), \text{división}(40, 4), \text{división}(45, 3), \text{división}(48, 2), \text{división}(50, 2), \text{división}(52, 2), \text{división}(58, 8), \text{unión}(2, 4), \text{unión}(5, 4), \text{unión}(10, 0), \text{unión}(13, 4), \text{unión}(18, 6), \text{unión}(21, 4), \text{unión}(26, 6), \text{unión}(29, 8) \}$$
- $$T_3 = \{ \text{división}(0, 4), \text{división}(4, 4), \text{división}(8, 2), \text{división}(10, 8), \text{división}(24, 2), \text{división}(32, 4), \text{división}(36, 4), \text{división}(40, 2), \text{división}(48, 8), \text{división}(58, 2), \text{división}(60, 2), \text{división}(62, 2), \text{unión}(0, 2), \text{unión}(1, 2), \text{unión}(2, 2), \text{unión}(4, 8), \text{unión}(7, 9), \text{unión}(8, 8), \text{unión}(8, 2), \text{unión}(10, 2), \text{unión}(11, 2), \text{unión}(13, 6), \text{unión}(16, 9), \text{unión}(17, 8) \}$$

Pero hasta el momento no hemos definido cómo evaluar una transformación directamente, sólo se ha manejado una forma de evaluación: el análisis estadístico. Para poder

evaluar a cada individuo con dicho análisis debemos encontrar la secuencia musical asociada a la transformación, esto lo haremos aplicando cada transformación al tema asociado al background+ correspondiente.

Para la población inicial obtenemos los valores mostrados en la tabla 5.10.

Background+	Valor de aptitud
$T_1 \sim B_1$	0.016178737
$T_2 \sim B_2$	0.088026244
$T_3 \sim B_3$	0.152542373

Tabla 5.10: Valores de aptitud de la población inicial

Los argumentos para el proceso evolutivo serán los mismos que el método anterior:

- número máximo de generaciones: 20
- backgrounds+ seleccionados: 4
- probabilidad de cruzamiento: 0.8

Al igual que el método anterior elegimos cuatro backgrounds+ para cruzar: (T_1, T_2) y (T_1, T_3) ; y decir para cada par si se realiza cruzamiento:

- (T_1, T_2) no se realiza cruzamiento, las transformaciones asociadas a cada background+ pasan sin cambios a la siguiente generación.

$$T_4 = T_1$$

$$T_5 = T_2$$

- (T_1, T_3) sí se realiza cruzamiento. Se toma como punto de cruce a 15, por lo tanto obtenemos las siguientes transformaciones:

$$T_6 = \{ \text{división}(0, 6), \text{división}(8, 4), \text{división}(13, 3), \text{división}(16, 6), \text{división}(24, 4), \text{división}(29, 3), \\ \text{división}(32, 6), \text{división}(40, 4), \text{división}(45, 3), \text{división}(48, 6), \text{división}(56, 8), \text{unión}(2, 4), \\ \text{unión}(5, 4), \text{unión}(10, 6), \text{unión}(13, 4), \text{unión}(4, 6), \text{unión}(7, 9), \text{unión}(8, 8), \text{unión}(9, 2), \\ \text{unión}(10, 2), \text{unión}(11, 2), \text{unión}(13, 6), \text{unión}(16, 9), \text{unión}(17, 8) \}$$

$$T_7 = \{ \text{división}(0, 4), \text{división}(4, 4), \text{división}(8, 2), \text{división}(16, 8), \text{división}(24, 2), \text{división}(32, 4), \\ \text{división}(36, 4), \text{división}(40, 2), \text{división}(48, 8), \text{división}(56, 2), \text{división}(60, 2), \text{división}(62, 2), \\ \text{unión}(0, 2), \text{unión}(1, 2), \text{unión}(2, 2), \text{unión}(18, 6), \text{unión}(21, 4), \text{unión}(26, 6), \text{unión}(29, 8) \}$$

Se evalúan los nuevos backgrounds+ (tabla 5.11) y se agregan a la población actual.

Se continúa el proceso para llegar a la generación 20 para encontrar el mejor background+. La tabla 5.12 muestra los valores de aptitud de la mejor transformación en cada generación.

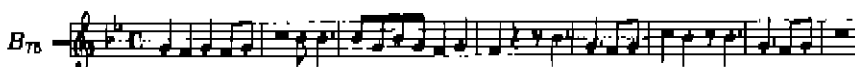
La mejor transformación obtenida es la siguiente:

$$T_{70} = \{ \text{división}(0, 2), \text{división}(2, 2), \text{división}(4, 2), \text{división}(8, 4), \text{división}(13, 3), \\ \text{división}(16, 6), \text{división}(18, 2), \text{división}(20, 2), \text{división}(29, 3), \text{división}(32, 6), \\ \text{división}(40, 4), \text{división}(45, 3), \text{división}(48, 6), \text{división}(56, 8), \text{unión}(2, 4), \\ \text{unión}(5, 4), \text{unión}(13, 4), \text{unión}(21, 4) \}$$

Background+	Valor de aptitud
T_1	0.016178737
T_2	0.088026244
T_3	0.162542373
T_4	0.143598212
T_5	0.109285482
T_6	0.016178737
T_7	0.152542373

Tabla 5.11: Valores de aptitud de la población 1

que está asociada con la secuencia musical



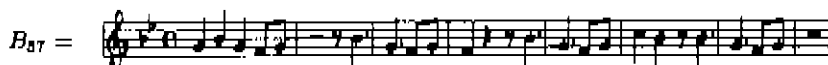
5.3.4. Generación de la Improvisación

En la fase anterior el sistema produjo un background+ para el tema, ahora se hará una variación rítmica y melódica de dicho background+.

Primero describiremos cómo se hace la variación rítmica. Para realizar esta tarea se considera la información obtenida en el entrenamiento rítmico (tabla 5.13).

La variación rítmica se obtiene mediante una transformación que en este caso tendrá a lo más 10 operaciones.

Como en la fase anterior obtuvimos dos backgrounds+, uno con el método de construcción directa y otro con el método de construcción de la transformación que lo produce, analizaremos sólo un caso, pues una vez encontrado el background+ no es relevante cómo se produjo el background+. Así que trabajaremos con el background+ generado por construcción directa:



Para poder construir las operaciones de la transformación necesitamos conocer el número de compases de la improvisación que se desea obtener, en este caso es 8. Cada operación es construida en tres pasos:

1. Se selecciona el tipo de la operación: división o unión.
2. Se elige la nota a la cuál se le aplicará la operación: un valor entre 0 y 64 (8×8).
3. Seleccionamos el número de notas que se operarán.

Generación	Transformación	Valor de aptitud
1	T_1	0.016178737
2	T_1	0.016178737
3	T_1	0.016178737
4	T_1	0.016178737
5	T_{22}	0.015989898
6	T_{22}	0.015989898
7	T_{22}	0.015989898
8	T_{22}	0.015989898
9	T_{22}	0.015989898
10	T_{22}	0.015989898
11	T_{22}	0.015989898
12	T_{22}	0.015989898
13	T_{22}	0.015989898
14	T_{22}	0.015989898
15	T_{22}	0.015989898
16	T_{22}	0.015989898
17	T_{22}	0.015989898
18	T_{73}	0.009658934
19	T_{73}	0.009658934
20	T_{73}	0.009658934

Tabla 5.12: La mejor transformación de cada generación

Al final de la definición de la operación, ésta se agrega a la transformación. En el paso 1 y 3 se utiliza el método de ruleta para la selección del tipo de operación y número de notas, respectivamente, y en el paso 2 una selección aleatoria de un número entre 0 y 64.

De la tabla 5.13, que presenta la información del entrenamiento rítmico, observamos que se realizaron más uniones que divisiones (55% son uniones y 45% divisiones), de manera que se podría esperar que la lista de operaciones contenga más operaciones de este tipo, o bien, un número muy similar de divisiones y uniones. También se observa que la división más común es la de 4 notas y que la unión más común es la de 2 notas.

La primera operación es producida como sigue:

- Se elige división como el tipo de la operación.
- La operación se aplicará a la nota 15.
- Se operarán 4 notas.

De acuerdo con estas selecciones la operación que se obtiene es:

división(15, 4)

La segunda operación se produce así:

- Se elige unión como el tipo de la operación.
- La operación se aplicará a la nota 35.
- Se operarán 2 notas.

notas	división	unión	notas	división	unión	notas	división	unión
2	8	42	13	0	0	24	0	0
3	0	2	14	0	0	25	0	0
4	24	8	15	0	0	26	0	0
5	0	0	16	0	0	27	0	0
6	0	1	17	0	0	28	0	0
7	0	0	18	0	0	29	0	0
8	10	0	19	0	0	30	0	0
9	0	0	20	0	0	31	0	0
10	0	0	21	0	0	32	0	0
11	0	0	22	0	0	Total	42	53
12	0	0	23	0	0			

Tabla 5.13: Datos del entrenamiento rítmico

con lo que obtenemos la operación:

$$\text{unión}(35, 2)$$

Siguiendo estos pasos se construyen las operaciones siguientes:

- $\text{unión}(3, 2)$.
- $\text{unión}(56, 2)$.
- $\text{unión}(22, 3)$.

En este punto el sistema se detiene a revisar la transformación actual, verifica que el porcentaje de uniones y divisiones sea similar ($\pm 5\%$) al de los datos de entrenamiento.

En la transformación actual vemos que el porcentaje de uniones es 80 por ciento y 20 por ciento para las divisiones, por lo tanto no se conserva la proporción de operaciones. En este caso la última unión es transformada en división y se vuelve a verificar el porcentaje de operaciones que ahora sí es similar al del entrenamiento.

Como aún no tenemos 10 operaciones, el sistema selecciona de manera aleatoria si continúa o no. En este caso elige continuar y produce las operaciones:

- $\text{división}(32, 8)$.
- $\text{unión}(40, 2)$.
- $\text{división}(5, 4)$.

Nuevamente este proceso se detiene para revisar la transformación actual:

$$T = \{ \text{división}(15, 4), \text{unión}(35, 2), \text{unión}(3, 2), \text{unión}(56, 2), \\ \text{división}(22, 3), \text{división}(32, 8), \text{unión}(40, 2), \text{división}(5, 4) \}$$

Esta transformación cumple la condición de proporcionalidad de las operaciones por lo que no se realiza ningún cambio. Nuevamente el sistema elige de manera aleatoria si continúa, y en este caso elige terminar el proceso.

El siguiente paso es aplicar la transformación T al background+ B_{57} .

Para cada operación de la transformación hacemos la validación que se indica a continuación:

- Verificamos que el índice de la nota sea válido, es decir, que se encuentre entre 0 y $l - 1$, donde l es el número de notas y silencios del background.
- Verificamos que la operación se pueda llevar a cabo, esta verificación depende del tipo de operación y se realiza de la siguiente forma:

En caso de que la operación sea una división

- Verificamos que al dividir la nota obtenemos notas válidas, es decir, notas de duración mayor o igual a la *nota de duración mínima*.

En caso de que la operación sea una unión

- Verificamos que al unir a las notas que indica la operación, no se especifiquen más notas de las que tiene la secuencia.

En caso de que alguna de las verificaciones falle, corregiremos la transformación modificando únicamente a la operación que produjo el error.

Luego de hacer la verificación de una operación y en caso de que no produzca ningún error será aplicada al background.

Siguiendo esta descripción aplicamos cada una de las operaciones de la transformación T . La primer operación a verificar es:

división(15, 4)

La primera revisión es probar si la nota especificada existe en el background, en este caso, la nota 15 sí existe en el background y es la nota:



La segunda revisión es verificar que al dividir a la nota de índice 15 obtenemos notas válidas. La duración de la nota 15 es 3 partes de un compás (3.0), así que al dividir dicha nota obtendríamos notas de duración 0.75, es decir,



En este caso la operación no produce ningún error por lo que se puede aplicar al background+ obteniendo la secuencia:



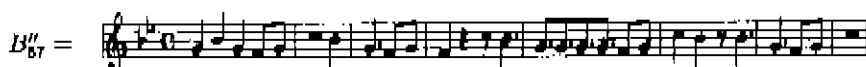
La siguiente operación que se verifica es:

unión(35, 2)

En este caso se encuentra que no existe una nota con índice 35, pues la secuencia actual sólo tiene 29 notas. Como se produce un error recurrimos al módulo generador de operaciones para que nos corrija el índice de la nota, nuevamente el sistema escoge un valor aleatorio entre 0 y 64, que es 6, así que ahora la operación a aplicar es:

$$\text{unión}(0, 2)$$

Como sí existe la nota de índice 6, la operación se aplica:



Ahora la operación a verificar es:

$$\text{unión}(3, 2),$$

esta operación no presenta errores y se aplica:



Siguiendo este proceso se aplican y corrigen en su caso cada una de las operaciones obteniendo la secuencia:



La transformación que le fue aplicada fue:

$$T = \{\text{división}(15, 4), \text{unión}(6, 2), \text{unión}(3, 2), \text{unión}(13, 2), \\ \text{división}(22, 3), \text{división}(27, 8), \text{unión}(33, 2), \text{división}(5, 4)\}$$

Finalmente modificaremos la altura de algunos de los compases de la transformación. Hay que recordar que el entrenamiento melódico se realiza a partir de secuencias de dos compases, así que dividiremos a la secuencia I en subsecuencias de dos compases y para cada una de estas subsecuencias decidiremos de manera aleatoria si realizamos una modificación de alturas.

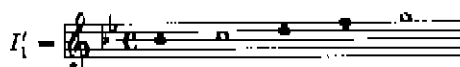
Consideremos primero a la subsecuencia:



Utilizando la información de la distancia 8 para modificar las alturas obtenemos la secuencia:



Una vez realizada la modificación de alturas es necesario hacer una última validación. Hay que recordar que la metodología de LaPorta enfatiza el uso de la escala pentatónica, para evitar que el estudiante toque notas fuera del tono en el que se está improvisando, así que la verificación se hace teniendo como referencia la escala pentatónica. La escala pentatónica para la tonalidad en la que se está improvisando en este caso es:



Revisamos que luego de la modificación no haya notas fuera de esta escala. Observando la secuencia I'_1 encontramos que sí hay notas que no pertenecen a la escala pentatónica, por lo tanto se debe hacer una corrección de dichas notas; hacia la nota de la escala pentatónica más cercana obteniendo la siguiente secuencia:



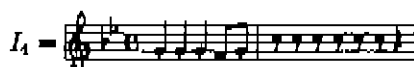
Este procedimiento se realiza para cada subsecuencia de la secuencia I . Para la secuencia I_2



se decide no hacer cambio de alturas, lo mismo que para la secuencia I_3



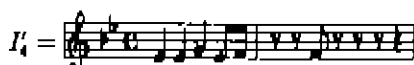
En el caso de la secuencia I_4 :



si se busca una distancia punto a punto, la cual es la distancia 5:

$$\{-3, -3, -3, -3, 0, 0, -2, -2, \text{indef.}, \text{indef.}, -5, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

y se obtiene la secuencia:



que luego de la corrección con base en la escala pentatónica:



Uniendo todas las subsecuencias obtenemos la improvisación:



5.4. Análisis del comportamiento del NOVATO

Una vez descrito el proceso de improvisación del NOVATO realizaremos el análisis del comportamiento del sistema.

Se eligió como método de construcción del background+ un algoritmo evolutivo, porque las características de este tipo de metodologías se adaptan muy bien a una idea recurrente en la composición musical, la evolución. Diversos compositores e improvisadores usan el término "evolucionar una melodía" refiriéndose a la acción de modificar una primera melodía hasta obtener la que ellos consideran adecuada; también LaPorta menciona en su método de improvisación el término "evolucionar ritmos y melodías" bajo una idea similar: indicar al estudiante cómo modificar una primera secuencia para obtener otra con algunos rasgos deseados.

Una razón más práctica para usar técnicas evolutivas en la construcción de un background+ es el hecho de que cada background está construido para un tema en particular,

pero eso no impide que algún fragmento de tal background pueda ser adecuado para otro tema. Esta observación nos sugirió que una manera de obtener un background para cualquier otro tema puede ser mediante la búsqueda de aquellos backgrounds con partes útiles para este otro tema y se encontró en los algoritmos evolutivos una herramienta útil para este tipo de búsquedas.

Si observamos el procesamiento del NOVATO notaremos este comportamiento en la producción del background+. En la población inicial se encuentra el background+ B_1 que tiene un valor de aptitud muy bueno (ver tabla 5.10), eso implica que luego de algunas generaciones podríamos esperar que alguna de las mejores secuencias sea similar a dicho background+. Esto lo podemos observar en las nuevas secuencias producidas en la generación 1 B_4, B_5 , que son secuencias obtenidas a partir de B_1 (ver tabla 5.11). Continuando con esta misma revisión se puede ver que la secuencia B_{41} que es obtenida en la generación 10, fue generada a partir de la secuencia B_5 que era una de las más aptas. Finalmente esta misma observación se puede hacer respecto a la mejor secuencia obtenida, la secuencia B_{87} , quien conserva algunos rasgos de la secuencia B_1 lo cual confirma las suposiciones originales.

El proceso de modificación rítmica de un background es guiado por el entrenamiento rítmico, es decir, en el entrenamiento rítmico se indican algunas formas de realzar variaciones rítmicas, así que de acuerdo con esta información se construyen cada una de las operaciones que modificarán el ritmo del background. Es importante notar que las modificaciones no se hacen de manera aleatoria, sino que son influenciadas por la información estadística del uso de las operaciones en el entrenamiento rítmico. Esto implica que las modificaciones conservarán los patrones rítmicos utilizados en el entrenamiento, pero no se elimina la posibilidad de generar nuevos patrones, ya que el NOVATO puede producir operaciones y operandos que no han sido utilizados, cuando realiza correcciones en generación de la transformación.

Otra característica relevante de la transformación es que ella representa un historial del proceso de improvisación. Cada vez que una operación modifica el background se modifica el estado de la improvisación y cuando es necesario hacer una corrección en alguna operación no se desecha todo el trabajo anterior, sólo se modifica la última acción realizada a partir del último estado de la improvisación.

El proceso de modificación melódica es un proceso un poco más simple que los anteriores, podría decirse que en esta fase se hacen las últimas correcciones a la improvisación para darle más coherencia y un comportamiento adecuado, ya que aquí se hacen las correcciones tonales.

5.5. Resumen

En este capítulo se describió de manera más detallada el comportamiento del NOVATO ejemplificando cada uno de los pasos de su proceso de improvisación. Se mencionaron las cualidades relevantes del comportamiento del sistema para tener una visión más general de su comportamiento y poder establecer los alcances del mismo.

En el siguiente capítulo se presentarán las evaluaciones realizadas a las improvisaciones producidas por el NOVATO con el fin de determinar si su comportamiento cumple las expectativas planteadas o identificar sus limitaciones.

Capítulo 6

Evaluaciones

6.1. Introducción

Luego de la descripción paso a paso se puede tener una visión general acerca del comportamiento esperado del NOVATO, pero es necesario hacer un análisis de diversas secuencias musicales producidas por él con el fin de comprobar si se producen los resultados esperados.

En este capítulo se presentan las evaluaciones de las "improvisaciones" producidas por el NOVATO. Dichas evaluaciones se realizan desde cuatro puntos de vista: evaluaciones desde el punto de vista de la metodología de LaPorta, evaluaciones desde el punto de vista de la creatividad, evaluaciones desde el punto de vista del experto en la improvisación y evaluaciones desde el punto de vista del público.

6.2. Evaluación desde la metodología de LaPorta

La metodología de LaPorta plantea una evolución en la manera de improvisar de los estudiantes paso a paso, es decir, no se pide al estudiante realizar improvisaciones muy complejas desde la primera lección, sino que el estudiante va produciendo improvisaciones cada vez más elaboradas. De acuerdo con esta idea, podemos decir que un estudiante no sería capaz de realizar una improvisación suficientemente buena de la décima lección si sólo ha practicado los ejercicios de la primera. Como el comportamiento del NOVATO está totalmente relacionado con esta metodología podemos hacer una evaluación desde este punto de vista, analizando la evolución de las improvisaciones junto con la información de cada una de las lecciones del método.

Conforme se tenga más información en la base de conocimientos del sistema, es más complicado seguir su avance, lo mismo que describir su comportamiento de manera global, así que haremos la evaluación para las dos primeras lecciones.

En la primera lección LaPorta propone un tema sencillo sobre el cual se debe improvisar, nosotros analizaremos una improvisación producida por el sistema, así como una improvisación propuesta por LaPorta.

El tema sobre el cual se improvisará en la lección uno es:



Se realizaron 10 improvisaciones de ocho compases y con un máximo de diez operaciones para la transformación. Se evaluaron las diferentes improvisaciones de acuerdo con la función del análisis del contorno descrito en el capítulo anterior y con base en dicho análisis se clasificaron las diferentes improvisaciones obtenidas (ver tabla 6.1).

	Improvisación
1	I_2
2	I_6
3	I_9
4	I_8
5	I_1
6	I_3
7	I_7
8	I_4
9	I_{10}
10	I_5

Tabla 6.1: improvisaciones para lección 1

De acuerdo con la tabla 6.1, la mejor improvisación es la secuencia I_2 :



La improvisación peor calificada es la I_6 :



y la improvisación que LaPorta propone es:



Dado que en la primera lección y sólo se han realizado algunos ejercicios de entrenamiento, se espera que las improvisaciones sean sencillas, de tal forma que sea muy fácil identificar los rasgos del tema original. Por ejemplo, observemos la improvisación propuesta por LaPorta y el tema de la lección 1 (figura 6.1): en el primer compás (región marcada con la letra A) hay una variación en la duración de las notas pero se conserva su altura; en el segundo compás (región marcada con la letra B) la similitud es en el ritmo.

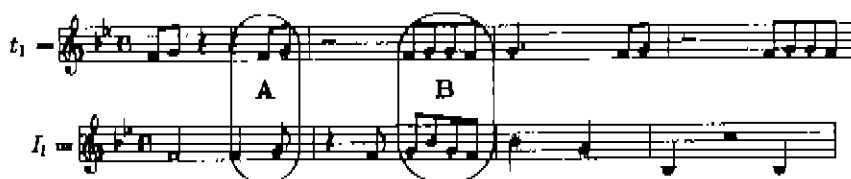


Figura 6.1: Similitudes entre el tema 1 y la improvisación de LaPorta

El comportamiento observado en la improvisación de LaPorta también se observa en las improvisaciones producidas por el sistema, por ejemplo, en los primeros cuatro compases del tema t_1 y la improvisación I_2 observamos similitudes en grupos de notas (ver figura 6.2); en este caso, la similitud es en ritmo de cada grupo de notas.



Figura 6.2: Similitudes entre el tema 1 y la improvisación I_2

Comparando la improvisación I_0 con el tema t_1 (figura 6.3) también observamos similitudes: el tercer compás (región marcada con la letra A) es rítmicamente equivalente, mientras que en el cuarto compás (región marcada con la letra B) vemos que hay un intercambio en la posición del silencio y el grupo de notas que le sigue.

Con las observaciones anteriores vemos que se puede identificar rasgos muy claros del tema t_1 , tanto en la improvisación de LaPorta, como en la improvisación mejor y peor evaluada del NOVATO.

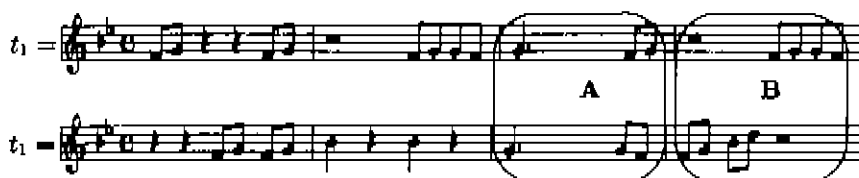


Figura 6.3: Similitudes entre el tema 1 y la improvisación I_6

En la segunda lección, el tema sobre el cual se improvisa es:

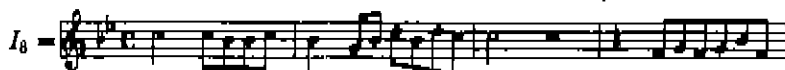


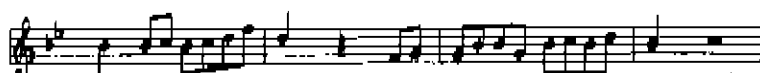
La tabla 6.2 muestra la clasificación de las improvisaciones producidas para esta lección.

	Improvisación
1	I_6
2	I_7
3	I_3
4	I_{10}
5	I_2
6	I_1
7	I_8
8	I_4
9	I_9
10	I_5

Tabla 6.2: improvisaciones para lección 2

Veamos las improvisaciones mejor y peor clasificadas, así como la que propone La-Porta. La mejor improvisación es la secuencia I_8 :





La improvisación peor calificada es la I_6 :



y la improvisación que LaPorta propone es:



Para esta lección, ya son menos obvias las similitudes entre las improvisaciones y el tema. Observando la improvisación I_3 vemos similitudes simples (figura 6.4): en la primera (sección marcada con la letra A) sólo cambia una nota; en el segundo caso (sección marcada con la letra B) se conservan los ritmos aunque hay una variación mayor de alturas.



Figura 6.4: Similitudes entre el tema 1 y la improvisación I_3

Para la improvisación I_6 únicamente hay un compás similar al del tema, el compás dos (figura 6.5).

Finalmente, considerando a la improvisación de LaPorta y el tema (figura 6.6), se identifica que los compases uno (región marcada con la letra A) y cuatro (región marcada con la letra B) son similares.



Figura 6.5: Similitudes entre el tema 1 y la improvisación I_6



Figura 6.6: Similitudes entre el tema 2 y la improvisación de LaPorta

Con estas observaciones vemos que al igual que en la lección 1, se pueden identificar rasgos del tema t_2 , tanto en la improvisación de LaPorta, como en la improvisación mejor y peor evaluada del NOVATO, confirmando con esto que el sistema construye improvisaciones aparentemente adecuadas al tema.

Por otro lado, este tipo de análisis se ve superado por la complejidad de las improvisaciones muy pronto, ya que a partir de la tercera lección ya no se presentan muchas similitudes tan claras entre las improvisaciones y los temas.

Es importante resaltar que aunque este análisis es simple y superficial, y un experto en el tema podría hacer una revisión más completa que le permita identificar algunas otras similitudes más profundas, nos permite evaluar algunos aspectos del comportamiento del sistema.

6.3. Evaluación desde el punto de vista de la creatividad

Desde el punto de vista de la creatividad debemos observar que el sistema produzca material novedoso y adecuado a la tarea (Weisberg, 1993), es decir, que no repita improvisaciones para un mismo tema y que estas improvisaciones sean coherentes con el tema.

Teniendo en cuenta que dos secuencias de notas son diferentes si el número de notas difiere o si alguna de sus notas es distinta, podríamos verificar la novedad del sistema de manera muy sencilla, pero obtendríamos una visión muy limitada de su comportamiento, ya que cambiando una sola nota de la nueva secuencia se obtendría una nueva improvisación. Por esta razón, la evaluación de novedad del NOVATO se enfoca en analizar las estructuras intermedias que el sistema produce, haciendo una primera evaluación de ellas y luego una de la improvisación final.

En el proceso de improvisación del NOVATO hay dos estructuras fundamentales que son la base de la improvisación: el background y la transformación. Considerando a dichas estructuras se podría hacer un razonamiento similar al anterior, en el sentido que sólo cambiando una nota del background o una operación de la transformación, ya tenemos una nueva estructura para construir la improvisación. Por esa razón haremos un análisis que se enfoca en mostrar que los algoritmos de construcción no generan a las estructuras de manera determinista, sino que cada ejecución del algoritmo tiene sus propias cualidades.

Cada background se obtiene mediante un proceso evolutivo, así que una manera de evaluar el procedimiento de construcción de los backgrounds es revisar dicho proceso y comparar las generaciones en las cuales se obtiene el background más apto.

Los valores que fueron empleados para la construcción de los backgrounds fueron:

- número máximo de generaciones: 20
- backgrounds seleccionados: 4
- probabilidad de cruzamiento: 0.8

Para la lección uno (ver tabla 6.3), la mejor improvisación (I_2) se obtuvo partiendo de un background producido en la generación 15, y la peor improvisación (I_6) de un background obtenido en la generación 9. Como los backgrounds tienen diferente valor de aptitud podemos suponer que son distintos y además se observa qué proceso de construcción encuentra al mejor background de cada ejecución en diferentes generaciones.

La tabla 6.3 nos indica que únicamente los backgrounds de las improvisaciones I_1 e I_{10} se obtuvieron en la misma generación, pero sus valores de aptitud y longitud difieren lo cual indica que deben ser distintos backgrounds.

Improvisación	Generación del background	Aptitud del background	Longitud del background
I_2	15	0.001117937	21
I_5	10	0.010147579	19
I_9	11	0.015673224	20
I_6	8	0.014710054	17
I_1	18	0.016598324	17
I_3	17	0.023582187	27
I_7	11	0.029873212	22
I_4	13	0.015643680	19
I_{10}	18	0.01987238	13
I_8	9	0.0688786321	28

Tabla 6.3: Datos de los backgrounds de las improvisaciones para lección 1

De los datos de la tabla 6.3, podemos observar cómo el proceso de construcción de backgrounds, para el caso de la lección 1, no repite el uso del mismo background para la generación de diferentes improvisaciones.

Ahora analizamos la construcción de la transformación que modifica el ritmo del background de cada improvisación. La tabla 6.4 muestra el número de operaciones de la transformación que le fue aplicada a cada una de las improvisaciones. En este caso,

sólo se construyó una transformación con el mismo número de operaciones, pero dichas transformaciones se aplican a diferentes backgrounds, con lo cual podemos suponer que la improvisación será distinta.

	Improvisación	Núm operaciones de la transformación
1	I_2	7
2	I_5	9
3	I_9	3
4	I_6	10
5	I_1	5
6	I_3	7
7	I_7	8
8	I_4	6
9	I_{10}	8
10	I_8	6

Tabla 6.4: Datos de las transformaciones de las improvisaciones para lección 1

De este análisis se puede observar que cada ejecución de los algoritmos de construcción de los backgrounds y las transformaciones es diferente a otra, lo cual hace suponer que las improvisaciones producidas en cada ejecución deben de ser diferentes.

Para la lección dos (ver tabla 6.5), la mejor improvisación (I_8) se obtuvo a partir del background producido en la generación 17, y la peor improvisación (I_6) de un background obtenido en la generación 17. Nuevamente los backgrounds tienen diferente valor de aptitud y como el proceso de construcción encuentra al mejor background en diferentes generaciones tendremos backgrounds distintos.

Improvisación	Generación del background	Aptitud del background	Longitud del background
I_8	17	0.018675925	20
I_7	11	0.019868741	32
I_3	15	0.029873535	36
I_{10}	6	0.0098655892	24
I_2	12	0.019873538	29
I_1	10	0.019835354	31
I_5	14	0.029753225	26
I_4	13	0.026887898	27
I_9	11	0.019057825	22
I_6	17	0.018657122	23

Tabla 6.5: Datos de los backgrounds de las improvisaciones para lección 2

De estos resultados vemos que en general, el sistema no encuentra al background más apto en las primeras generaciones, esto quiere decir que el algoritmo modifica siempre a la población inicial de manera distinta, por lo tanto en la mayoría de las improvisaciones se utilizan diferentes backgrounds.

	Improvisación	Núm operaciones de la transformación
1	I_6	0
2	I_7	8
3	I_3	8
4	I_{10}	10
5	I_2	8
6	I_1	7
7	I_0	6
8	I_4	5
9	I_9	5
10	I_0	4

Tabla 6.6: Datos de las transformaciones de las improvisaciones para lección 2

Por otro lado de las tablas 6.4 y 6.6, se puede observar que en cada improvisación se utilizan transformaciones diferentes, así que ellas deben tener características distintas.

De estas dos observaciones podemos concluir que cada improvisación producida por el NOVATO es nueva.

Finalmente, para determinar si dichas improvisaciones son adecuadas se realizará desde el punto de vista de un experto.

6.4. Evaluación desde el punto de vista de un experto

Determinar si una improvisación es correcta o no es una tarea por demás difícil, pues no existe un consenso de cómo decidir esto. Algunos expertos han propuesto mecanismos para hacer una evaluación rigurosa pero dichas teorías han sido muy debatidas. Sin embargo, sí se pueden hacer algunas comprobaciones para revisar si las improvisaciones cometen un error respecto a la tonalidad o convenciones de inicio y término de frases. Con base en estas reglas realizaremos la evaluación desde el punto de vista del experto.

Todas las pruebas desde el punto de vista del experto se realizan desde fuera del sistema, ninguna de ellas ha sido implementada como parte del NOVATO.

Cada melodía está compuesta de diversas frases, donde cada frase debe tener un principio y un final. El NOVATO construye una improvisación que debe ser una frase completa, por lo que debe tener un inicio y un final, la primera característica que se buscará evaluar es que cada improvisación tenga un principio y un final correcto. Para determinar si son correctos el principio y el final hay que verificar que la primera y la última nota de la improvisación sean el primer grado, el tercer grado o el quinto grado de la tonalidad en la que se está improvisando, en algunos casos se permite un final en el sexto grado.

Todas las improvisaciones se ejecutan en la tonalidad denominada *si bemol*, lo cual indica que el principio y final deben ser alguna de las notas: *si*, *re*, *fa*, *sol*.

Observando los ejemplos de improvisación anteriores, vemos que todas improvisaciones tienen un principio y final correcto. De todas las pruebas realizadas sólo 2 casos presentaron un final incorrecto y una improvisación un inicio incorrecto. Es importante

resaltar que el sistema no cuenta con un procedimiento explícito que modifique el final de la secuencia para que ésta sea correcta.

Una prueba más que realiza el experto es verificar que la improvisación no se salga de la tonalidad en la que se debe desarrollar la improvisación. Esta condición siempre la cumplirán las improvisaciones del NOVATO, pues una de las correcciones que se incluye en el proceso de improvisación es verificar que no se haya generado alguna nota fuera de la tonalidad.

Otra prueba que el experto realiza es que se conserve el tiempo del tema, es decir, existen algunos temas que son más lentos en el comportamiento rítmico que otros. La improvisación debe cubrir este requerimiento, de tal manera que para temas más lentos produzca improvisaciones más lentas. Esta característica no la puede cumplir de manera autónoma el NOVATO, ya que no hay forma de indicarle qué tiempo tiene el tema y por tanto el sistema no lo puede expresar en la improvisación. Sin embargo, sí existe una manera de simular esta información con la longitud máxima de la transformación: para temas con movimiento más acelerado se debe usar una transformación de longitud mayor, mientras que para temas más lentos se usará un valor más pequeño para la longitud máxima de la transformación.

Con estas observaciones podemos concluir que el comportamiento del NOVATO es adecuado desde el punto de vista de la teoría musical, lo cual indica que el proceso de construcción de las improvisaciones presenta rasgos correctos de acuerdo con la metodología de LaPorta.

6.5. Evaluación con el público

La evaluación con el público se realizó con una melodía tomada del método de LaPorta, la cual fue mezclada con ocho improvisaciones producidas por el NOVATO. La melodía obtenida fue presentada a diversos grupos de personas, a quienes se les dijo que se estaba realizando un estudio acerca de un método de improvisación de Jazz, se les indicó que en la melodía escucharía a dos ejecutantes, un flautista y un guitarrista, de los cuales uno aprendió con el método de improvisación en cuestión. Luego de escuchar la melodía se les aplicó el siguiente cuestionario:

1. ¿Qué tan adecuada consideras la improvisación del primer ejecutante (flautista)?
 - Totalmente inadecuada.
 - Inadecuada.
 - Regular.
 - Adecuada.
 - Muy Adecuada.

2. ¿Qué tan adecuada consideras la improvisación del segundo ejecutante (guitarrista)?
 - Totalmente inadecuada.
 - Inadecuada.
 - Regular.

- Adecuada.
 - Muy Adecuada.
3. ¿Cómo clasificarías al primer ejecutante?
 - Novato
 - Intermedio
 - Experto
 4. ¿Cómo clasificarías al segundo ejecutante?
 - Novato
 - Intermedio
 - Experto
 5. ¿Has escuchado música de Jazz antes?
 - Si
 - No
 6. ¿Qué tipo de música te gusta?
 7. ¿Cuál es tu edad?

Las tablas 6.7 y 6.8 muestran los resultados del cuestionario. Las ejecuciones realizadas por el sistema fueron las del flautista.

Pregunta 1	Núm. personas	Pregunta 2	Núm. personas
Totalmente inadecuada	0	Totalmente inadecuada	0
Inadecuada	4	Inadecuada	0
Regular	35	Regular	12
Adecuada	13	Adecuada	36
Muy adecuada	0	Muy adecuada	4

Tabla 6.7: Resultados del cuestionario

Preg. 3	Núm. personas	Preg. 4	Núm. personas
Novato	32	Novato	4
Intermedio	20	Intermedio	44
Experto	0	Experto	4
	Preg. 5	Núm. personas	
	Si	44	
	No	8	

Tabla 6.8: Resultados del cuestionario (continuación)

Antes de examinar los resultados obtenidos del cuestionario es necesario hacer una aclaración respecto a la melodía que se expuso al público: la ejecución del NOVATO fueron realizadas por una computadora, mientras que las ejecuciones de LaPorta fueron

ejecutadas por un músico profesional, esto indica que las ejecuciones de NOVATO son más limitadas que las ejecuciones de LaPorta.

Luego de observar los resultados del cuestionario podemos observar los siguientes resultados:

- El flautista, que ejecutó las improvisaciones realizadas por el NOVATO, fue evaluado como novato, aunque un porcentaje importante de los encuestados consideró que las ejecuciones eran de un estudiante intermedio.
- El guitarrista, que ejecutó las improvisaciones propuestas por LaPorta, fue evaluado como intermedio.
- Las improvisaciones del flautista fueron consideradas entre regulares y adecuadas, sólo un número muy pequeño del público las consideró inadecuadas, pero nadie indicó que eran totalmente inadecuadas.
- Las improvisaciones del guitarrista también fueron consideradas entre regulares y adecuadas, aunque más adecuadas que regulares.
- Si se refleja la superioridad de la ejecución del músico profesional contra la ejecución de una computadora.
- La mayor parte de los entrevistados indicó que ya conocía la música de Jazz, así que podemos suponer que la evaluación de las improvisaciones no era una tarea totalmente nueva.

Esto indica que el público aceptó las improvisaciones producidas por el sistema y así las califica como improvisaciones realizadas por un novato, que era uno de los objetivos principales de la tesis.

Capítulo 7

Conclusiones

Con la aparición de la composición automática surgió una gran polémica respecto de hasta donde debe ser automatizado el proceso de composición musical. Luego, con el uso de la computadora para este fin, la polémica se acentuó. Pero esta unión de música y computadora era inevitable, pues la misma estructura y formalización de la música invita a hacer conexiones con modelos utilizados en otras áreas del conocimiento y por tanto a ser implementados en programas de computadora.

Pero la composición musical abarca tantos aspectos que realizar un análisis completo de ella es prácticamente imposible; por eso los diversos sistemas de cómputo que abordan el tema de la composición se centran en sólo algunas características de ella.

Como se describió en el capítulo 2, han existido sistemas que basan su comportamiento en un análisis (estadístico o de algún otro tipo) de obras de algunos autores y que tratan de simular las características encontradas, de tal manera que son capaces de producir composiciones musicales que presentan algunos de los rangos encontrados; por otra lado se encuentran aquellos sistemas que buscan automatizar la composición mediante reglas, su fundamento es la teoría musical, así que la calidad de sus composiciones depende básicamente de la manera en que dichas reglas son aplicadas en el proceso de composición.

En este trabajo se buscó dar un enfoque diferente al tradicional en los sistemas que "hacen" música, pues más que tratar de simular una manera de componer (o en este caso improvisar) se trata de explorar el proceso de improvisación desde la perspectiva del estudiante que se acerca a la improvisación.

Para poder realizar este proyecto fue necesario escoger una metodología de iniciación a la improvisación. Luego de analizar algunas de ellas se encontró en la metodología de John LaPorta un buen punto de partida, pues su propuesta no hace uso excesivo de reglas y deja mucha libertad al estudiante para formar su propio proceso de improvisación.

Una vez definida la metodología de improvisación era necesario determinar cómo implementar el proceso de improvisación. Para este fin se eligió el modelo E-R de Rafael Pérez y Pérez. El modelo E-R plantea algunos lineamientos de cómo diseñar programas creativos y define tres tareas básicas a realizar:

1. Definición de experiencias.
2. Transformación de experiencias en estructuras de conocimiento.
3. Generación del material novedoso e interesante a través de ciclos E-R.

Con base en estas dos propuestas, la metodología de LaPorta y el modelo E-R de Pérez y Pérez, se diseñó el NOVATO, un sistema de cómputo para la improvisación de jazz.

El NOVATO construye sus estructuras de conocimiento tomando como referencia a los ejercicios propuestos por LaPorta. Con base en la información estadística extraída de dichas estructuras el sistema es capaz de construir variaciones rítmicas y melódicas. El NOVATO utiliza el ciclo E-R y algunas ideas de LaPorta para la construcción de las improvisaciones.

Una vez que el NOVATO fue sometido a diversas pruebas se observaron varios aspectos que es bueno resaltar:

- El hecho de que el NOVATO base su proceso de construcción de variaciones rítmicas y melódicas en datos de la fase entrenamiento y no en reglas, brinda mayor flexibilidad en su comportamiento, ya que cambiando los datos de entrenamiento cambiarán los resultados producidos por el sistema.
- LaPorta indica que los conocimientos acerca de la improvisación del Jazz no se pueden obtener de manera aislada, sino que debe haber una retroalimentación de otros ejecutantes, de tal forma que en su metodología los ejercicios de improvisación incluyen secciones donde el profesor interactúa con el estudiante, es decir, ejemplos con fragmentos donde el estudiante improvisa y fragmentos donde el profesor ejecuta su improvisación, con el fin de que el estudiante aprenda de la improvisaciones del profesor; esta parte no fue incluida en esta versión del NOVATO, así que la única experiencia que pueda adquirir será sólo con base en las improvisaciones que el mismo sistema produzca.
- Por otro lado, hay que recordar que cada melodía esta dividida en frases, y cada una de estas frases debe tener un principio y un fin, lo mismo puede ser aplicado a las improvisaciones, cada improvisación es una frase, por lo que tiene un principio y un fin; pero no necesariamente un sólo ejecutante inicia y termina una frase, en otras palabras, puede ser que un ejecutante inicie la improvisación y en cierta parte ceda la ejecución a otro músico y éste último sea quién la termine. Esta idea fue considerada en el método de LaPorta y para entrenar al estudiante en este tipo de improvisaciones sugiere ejercicios de improvisación donde el estudiante y el profesor intercalan improvisaciones cortas, que en conjunto forman una frase, por lo que ni el estudiante, ni el profesor inician y terminan una improvisación completa en una única ejecución: uno la inicia y luego cede la ejecución al otro quién debe ser capaz de continuar a partir de donde el otro se encontraba. Este tipo de improvisación no la puede realizar el NOVATO, todas sus improvisaciones forman una frase que inicia y termina. Esto no se puede realizar pues el NOVATO no tiene la capacidad para retroalimentarse de otras improvisaciones, así que no hay forma de indicarle una improvisación que debe terminar.
- Como ya lo habíamos mencionado antes, construir un sistema que abarque todos los aspectos de la composición es una labor muy compleja. Otro aspecto que no fue considerado de manera explícita en el proceso de improvisación del NOVATO es el tiempo del tema. Pero de las pruebas realizadas al sistema se observó que el tiempo del tema puede ser establecido mediante el número de operaciones en una

transformación. Para tiempos más rápidos se recomiendan más de 10 operaciones en una transformación, para tiempos más lentos se recomiendan menos de 10.

Un problema recurrente con el uso de programas que "hacen" música es la ejecución de la misma. Suele suceder que aunque el sistema sea capaz de realizar muy buenas obras, al momento de realizar la ejecución de ellas se presentan algunos problemas, como puede ser que dichas ejecuciones carezcan del toque personal que pone cada ejecutante a su obra. Por esta razón muchos sistemas se centran únicamente en la composición, delegando la ejecución a una persona u otro sistema. Aunque el NOVATO sí cuenta con un módulo que ejecuta su improvisación, el tema de la ejecución cae fuera de los alcances de este trabajo, así que la labor del NOVATO debería evaluarse sólo a partir de la secuencia producida y no en cómo es ejecutada por el sistema.

Finalmente, podemos decir que el hecho de considerar las ideas de Sharples acerca de la creatividad (*engagement & reflection*), como punto de inicio para el desarrollo de un sistema de cómputo que explore dicho campo, nos brinda ventajas pues ya se tiene un esquema general de la organización y funcionamiento de él.

7.1. Trabajo a futuro

El trabajo a futuro puede ser dividido en dos ramas, por un lado en la mejora del sistema y por otro en la exploración de los procesos creativos:

Mejoras al sistema. El sistema puede mejorar en la búsqueda de funciones más adecuadas para el análisis, comparación y evaluación de las secuencias musicales, es decir, dijimos que el NOVATO utiliza el análisis de secuencias musicales a partir de su contorno y para este tipo de análisis se han hecho muchas propuestas, nosotros seleccionamos la más simple de ellas.

El NOVATO realiza algunas operaciones sobre las secuencias que involucran la división de ellas y se trabaja sobre cada una de las subsecuencias de manera independiente, esto hace que en ocasiones la improvisación parezca partida, es decir, se puede perder cierta continuidad en la improvisación.

Uso de las ideas de Engagement & Reflection. Luego del planteamiento del modelo E-R de Pérez y Pérez, se han diseñado diversos sistemas que lo usan para la exploración del proceso creativo en diversas áreas. Estos han obtenido resultados interesantes pero aún falta un uso más profundo del modelo.

Esta labor debe venir del lado de los expertos en las áreas de interés, pues ellos podrían hacer un mejor análisis de los resultados y con esto hacer mejoras más profundas sobre los sistemas e incluso en el modelo.

Resumiendo, el trabajo a futuro en esta propuesta debe estar dirigido a cambiar el rol del sistema de "novato" a "experto".

Apéndice A

Improvisación de Jazz

A.1. Breve historia del Jazz

A pesar de existir diversas investigaciones en torno al origen del Jazz, no ha existido un acuerdo total respecto a su origen. Algunos investigadores sitúan la primera grabación de jazz en 1917, pero no niegan la existencia de esta música, por lo menos en su estado primitivo, desde hacía 20 años.

La idea más común es que el jazz era inicialmente interpretado por músicos sin educación musical que tocaban en bandas en Nueva Orleans. Esto es debido a que en la década de 1890, la música era una parte importante de la vida cotidiana de esta ciudad, ya que dichas bandas eran contratadas para tocar en desfiles, funerales, fiestas y bailes. Y a decir de los historiadores, era frecuente que los músicos no leyeran música y además, agregaran variaciones para hacer sus actuaciones más interesantes.

Se tiene conocimiento que el trompetista Buddy Bolden, el primer músico famoso en ser considerado jazzista, formó su banda en 1895, por esta razón se usa ésta como una fecha simbólica del nacimiento del jazz. Durante las siguientes dos décadas no existe mucha documentación del jazz, aunque se sabe que progresó a pasos lentos. Freddie Keppard sucedió a Bolden como el trompetista de más prestigio de Nueva Orleans, pero fue rápidamente superado por King Oliver. Aunque algunos músicos de Nueva Orleans viajaron al norte, el jazz se mantuvo estrictamente como una expresión musical típica de Nueva Orleans hasta la primera guerra mundial.

El 30 de enero de 1917, un grupo de músicos blancos llamado "The Original Dixieland Jazz Band" grabó "Darktown Strutter's Ball" e "Indiana" para la disquera Columbia. Dicha grabación fue considerada demasiado revolucionaria para la época y no se distribuyó, sin embargo, dos meses después, la mencionada banda, grabó para la disquera Victor "Livery Stable Blues" y "The Original Dixieland One Step", temas que tuvieron gran éxito. Otros grupos se unieron al movimiento y también comenzaron a grabar. Así, el jazz se convirtió en moda, por la oportunidad que los promotores vieron de ganar dinero fácilmente.

En la década de los 20, el jazz comenzó a influenciar a las orquestas de baile y hasta los conjuntos más comerciales comenzaron a tener pequeños solos y secciones rítmicas sincopadas.

En 1920, Mamie Smith grabó el primer blues, "Crazy Blues", y la moda del jazz fue

reemplazada por la de los blues. Sin embargo, el jazz continuó progresando y los "New Orleans Rhythm Kings", fueron uno de los primeros grupos que tocaba improvisando solos. El año 1923 fue de gran importancia, porque durante ese año hicieron grabaciones la "King Oliver's Creole Band" (la cual incluía en la trompeta a Louis Armstrong y en el clarinete a Johnny Dodds), la cantante de blues Bessie Smith y el compositor y pianista Jelly Roll Morton. Aunque la banda de King Oliver se consideraba dentro de las más importantes de Nueva Orleans por sus improvisaciones en conjunto, sería Louis Armstrong quien tendría la mayor influencia y eventualmente cambiaría el jazz.

La movilización de los negros del sur de los Estados Unidos, también contribuyó a que a los músicos de jazz salieran de Nueva Orleans hacia otras ciudades del norte y oeste y, a principios de los años 20, Chicago se convirtió en el centro del jazz. Armstrong se unió a la banda de Fletcher Henderson en Nueva York en 1924, y con sus solos dramáticos y explosivos en la banda de Henderson, tuvo una inmensa influencia al cambiar la manera de frasear solos, abriendo así nuevos caminos de improvisación.

La espectacular serie de grabaciones de Louis Armstrong y sus Hot Five y Hot Seven inspiró a otros músicos a crecer y al mismo tiempo popularizó el canto en scat y una manera relajada de frasear vocalmente las canciones, lo cual influenció a Bing Crosby y a futuros cantantes. Músicos como el trompetista Bix Beiderbecke, que tenía un sonido menos cálido que el de Armstrong, el pianista Jelly Roll Morton, tanto como solista o con su grupo Red Hot Peppers, el pianista James P. Johnson, el compositor y arreglador Duke Ellington y el emergente saxo tenor Coleman Hawkins, se transformaron en importantes fuerzas en el mundo del jazz.

El período de 1935 a 1946 se conoce como la época de las Big Bands, o grandes orquestas, que dominaron los primeros lugares de la música popular. También en la misma década, el jazz fue una parte importante de la música popular, Glenn Miller y Artie Shaw vendieron millones de discos y Benny Goodman, Count Basie y Duke Ellington eran nombres reconocidos por el público en general.

Por esos años el jazz se desarrolló de varias maneras. Nuevos solistas, como los pianistas Art Tatum y Teddy Wilson y los trompetistas Roy Eldridge y Bunny Berigan, inventaron estilos alternativos. Los arreglos de las Big Bands se tornaron más sofisticados, el Dixieland revivió y se celebraba el jazz como una parte importante de la cultura norteamericana.

El saxofonista Charlie Parker y el trompetista Dizzy Gillespie fueron los fundadores principales de un nuevo estilo llamado bebop o bop, pero no fueron los únicos y docenas de otros se les unieron. Una de las características del bebop era introducir el tema rápidamente para luego iniciar las improvisaciones. Las armonías y ritmos se hicieron mucho más complicados y, más importante aún, la música que se tocaba era cada vez menos apta para bailar.

Al ser elevada a nivel de música de arte, el jazz se aisló del mundo de la música popular y su público disminuyó drásticamente, mientras otros estilos más simples se creaban para llenar el vacío.

Pese a la decaída comercial, el Jazz no frenó el crecimiento artístico. El bebop, inicialmente considerado un estilo revolucionario, se transformó en la parte más importante de la corriente del jazz al comenzar la década de los 50. El cool jazz, jazz de la costa oeste, que daba más énfasis a tonos y arreglos más suaves y que llegó a la cima de su popularidad a media década; y el hard bop, que incorpora los elementos de más sensibi-

lidad del jazz (soul), fueron ramas del bebop que tuvieron sus aficionados. Pero con el surgimiento de la *avant garde*, o *free jazz*, la música improvisada experimentó el mayor salto, abandonando aún a más seguidores.

Cuando Ornette Coleman y su cuarteto se presentaron en el Five Spot en Nueva York en 1959, muchos aficionados que comenzaban a aceptar la música de Thelonious Monk quedaron perplejos. Ornette y su grupo interpretaban un tema en unísono y luego improvisaban muy libremente sin utilizar ningún acorde. Durante el mismo período, John Coltrane, quien había llevado el bebop a los extremos con el interminable número de acordes que usó al grabar "Giant Steps", comenzó a improvisar apasionadamente sobre *vamps* (acompañamientos improvisados repetitivos). La atonalidad percusiva del pianista Cecil Taylor debía tanto a la música clásica contemporánea como a los estilistas de jazz de épocas anteriores y los exagerados saltos de intervalos de Eric Dolphy eran completamente imposibles de predecir. El jazz *avant garde* había llegado.

A mitad de los 60, el *free jazz* estaba lleno de improvisaciones de mucha energía por medio de las cuales se exploraba tanto el sonido como las notas. Dentro de pocos años, cuando surgieron el Art Ensemble of Chicago y Anthony Braxton, el espacio en la música fue utilizado mucho más libremente y a fines de los 70 muchos artistas *avant garde* dedicaban más tiempo a integrar improvisaciones con composiciones complejas. La música ya no era una forma libre continua, sino que los músicos gozaban de libertad completa en sus solos para crear cualquier sonido que les pareciera adecuado. Aunque este estilo ha sido oscurecido por otros desde los 70, es todavía una opción viable para los improvisadores y sus innovaciones continúan influyendo indirectamente en la corriente moderna del jazz.

A la década de los 70 se reconoce también como la época de la fusión, pues muchos de los jazzistas integraron aspectos del rock, R&B (rhythm and blues), y música bebop con su propia música. Hasta fines de los 60, el jazz y el rock se mantuvieron separados, pero con el surgimiento del teclado electrónico hubo mucha experimentación. Miles Davis, quien fue innovador en el bebop, *cool jazz*, *hard bop* y su propia estilo de *avant garde*, estableció los patrones de la fusión cuando grabó "In a Silent Way" y "Bitches Brew". Se comenzaron a formar grupos que combinaban la improvisación y musicalidad del jazz con la fuerza y ritmos del rock. Dentro de los más notables están "Return to Forever", "Weather Report" y "Mahavishnu Orchestra". Ya en 1975, este movimiento comenzó a quedarse sin combustible artístico, pero debido a su potencial comercial ha continuado hasta hoy, frecuentemente en una forma como mezcla del pop instrumental y recibiendo el nombre de "jazz contemporáneo" o "acid jazz".

A mediados de la década de 1980 los artistas de jazz utilizaban nuevamente una gran variedad de estilos para públicos distintos y diferentes audiencias, y había un renovado interés por el jazz serio (en oposición al de orientación al pop). Uno de los interesados era el trompetista Winston Marsalis, también aclamado por sus interpretaciones de música clásica.

A.2. Improvisación y composición

La improvisación de Jazz es el proceso de creación de melodías nuevas sobre el ciclo de cambios que toma como referencia los acordes de una melodía. El improvisador puede

basarse en el contorno de la melodía original, o solamente sobre las opciones que ofrece la armonía. Mucha veces, la composición musical y la improvisación musical se han considerado como opuestos, pero el Jazz los combina en una mezcla única.

Una concepción común acerca de la improvisación de jazz es que es realizada al aire. Esta noción surge ya que muchos grupos de jazz no leen música cuando tocan. Debido a que los músicos de Jazz escogen las frases basados en lo que han aprendido antes, se considera que intuitivamente conocen que es lo que harán, pese a que se este creando en ese instante ante la audiencia. Los músicos crean espontáneamente intrincadas formas del tema y variaciones, conociendo la melodía y el rol de su instrumento. Las estructuras del Jazz son tan flexibles que el solista se puede aventurar en varias direcciones, dependiendo de su inspiración en el momento.

Según Winston Marshall, "el jazz, como cualquier lengua, tiene su propia gramática y vocabulario, pero no es correcto o incorrecto, solo hay algunas elecciones mejores que otras".

El Jazz no es sólo improvisación, compositores como Duke Ellington y Charles Mingus ocasionalmente escribieron composiciones de Jazz prácticamente desprovistas de improvisación. El verdadero desafío viene cuando un compositor integra la improvisación en una pieza, mezclando la composición y la improvisación en un acto de creatividad.

A lo largo de la historia, se ha reconocido en diferentes compositores como Bach, Handel, Mozart, Beethoven y Liszt sus capacidades de improvisación. En un sentido, todos los músicos de Jazz también son compositores. Pero no es necesario que se sienten con pluma en mano a escribir sus solos en una partitura de papel, sus solo requieren la misma disciplina que la de cualquier compositor.

A decir de Steve Lacy, la diferencia entre la composición y la improvisación está en que en la composición tienes todo el tiempo para decidir qué decir en quince segundos, mientras que en la improvisación tienes quince segundos.

Se considera que los tres métodos de improvisación del Jazz son: melódico, armónico y relativo al motivo. La improvisación melódica ocurre cuando los músicos utilizan alzas, notas alternas y la síncope para reconstruir la melodía de manera nueva. El improvisar armónicamente se basa en el uso de acordes y tonos centrales para inspirar nuevos solos. La improvisación sobre motivos involucra el refinamiento de dichos motivos, las frases y los "párrafos" sirven para hacer sofisticada la organización musical. Así como dos artistas no pintarían una escena de la misma manera, dos músicos no improvisan de la misma forma. Los músicos más experimentados del Jazz combinan estas técnicas para crear nuevas obras, inspirados en la melodía original, la armonía y la estructura pero representando sus pasiones creativas únicas.

Apéndice B

Midi

Con una computadora u otro controlador MIDI se pueden manejar varios instrumentos simultáneamente, montando así nuestra propia orquesta electrónica. MIDI cuenta con una gran variedad de mensajes que se ocupan de cosas como cambios de modo, señales de temporización, cambios de variación del pitch y cambios generales de control.

B.1. MIDI

Un desarrollo importante en la industria de la música electrónica es un estándar de comunicación conocido como MIDI (Musical Instrument Digital Interface). MIDI es un lenguaje de software que permite una sincronización simultánea de la comunicación de datos entre instrumentos electrónicos musicales. Estos datos tienen una estructura idéntica cuando son enviados o recibidos. Están diseñados para transmitir dos formas de información:

- Un lenguaje especializado para describir y controlar los eventos musicales en tiempo real.
- Un concepto de distribución de la información para un canal específico o equipo destino.

MIDI trabaja de la siguiente forma: Si una tecla es tocada en un teclado equipado con MIDI, el instrumento emitirá la nota requerida. Al mismo tiempo, es transmitida al puerto de salida de MIDI como un conjunto codificado de palabras que pueden ser leídas por cualquier dispositivo equipado con MIDI.

MIDI permite la distribución de datos para un destino específico, el cual incluye conexiones unidas de manera serial en un modelo de conexión continua (daisy-chain). Este concepto de distribución del canal permite a un controlador MIDI (llamado secuenciador o programa secuenciador) comunicarse con múltiples dispositivos electrónicos musicales de similar o muy distinta función. Una línea simple puede ser distribuida en 16 canales a lo más.

B.2. Mensajes MIDI

Los mensajes MIDI se pueden dividir en dos categorías principalmente: tipo canal y tipo sistema. Los mensajes de sistema se envían a todos los equipos en el sistema y cada elemento del equipo responde un mensaje cuando sea el caso. Los mensajes de canal llevan asociado un número de canal, en binario, que va del 0 al 15. Sin embargo, la convención MIDI numera los canales del 1 al 16. Estos mensajes se subdividen a su vez en voz y modo.

Mensajes de voz - Los mensajes de voz realizan la comunicación de datos y tienen los siguientes parámetros:

Nota ON/OFF : estos valores comunican el momento exacto en que una nota es tocada y cuál nota fue tocada.

Velocidad : este dato comunica qué tan fuerte una nota es tocada, así el funcionamiento dinámico puede ser controlado.

Presión de tecla : después de tocar una tecla, sin que esta sea soltada puede haber cambios en la vibración o brillo. Esta información también es comunicada.

Cambio de programa : los sintetizadores actuales pueden almacenar configuraciones en memoria, estas configuraciones pueden ser aplicadas y la información es transmitida.

Modificación del pitch y modulación : los cambios en el pitch y la modulación deben ser transmitidos.

Información de los controladores continuos : los sintetizadores tienen controladores y switches que pueden ser operados durante una ejecución (por ejemplo vibrato, portamento).

Mensajes de modo - los modos de MIDI controlan cómo responde un determinado equipo a los mensajes del canal.

- En el modo **omni** un dispositivo musical responderá a cualquier conjunto de palabras distribuidas a lo largo de la cadena de información, a pesar de la fuente.
- En el modo **poly** un dispositivo musical responderá a palabras que recibe de un conjunto asignado de canales origen.
- En el modo **mono** un dispositivo musical responderá solo a las propiedades de una nota que serán enviada por un canal específico.

B.3. Sincronización en MIDI

La sincronización es el mayor concepto en la especificación de MIDI, el cual divide la duración de la nota en 24 partes para asegurar que todos los dispositivos equipados con MIDI trabajen al mismo tiempo.

B.4. La interfaz MIDI

La interfaz MIDI transmite y recibe datos MIDI. Una interfaz MIDI en general tiene tres tipos de puertos:

- MIDI IN para recibir datos.
- MIDI OUT para transmitir datos.
- MIDI THRU para transmitir una copia exacta de los datos recibidos.

Las interconexiones entre las interfaces están hechas vía un conector DIN de 5-pines. Los datos son transmitidos a través del sistema a una velocidad de 3,25 kBaud y entonces requiere al menos un milisegundo para transmitir la nota y la velocidad de datos.

Apéndice C

JMusic

JMusic es una biblioteca de programación escrita en el lenguaje de programación Java que está dirigida principalmente hacia músicos; está soportada por el departamento de música de la Queensland University of Technology (QUT) en Brisbane, Australia.

JMusic fue diseñada para ser una herramienta auxiliar en los procesos de composición ya que proporciona un ambiente abierto pero parcialmente estructurado para la exploración musical: puede ser usado tanto para el análisis musical como la educación musical por computadora (Sorensen and Brown, 2003).

JMusic permite la exportación e importación de archivos MIDI y de audio en diversos formatos, lo cual facilita la interoperabilidad con otro software de música.

C.1. Las estructuras de datos en JMusic

La información musical en JMusic está organizada siguiendo el estilo de una partitura en papel: Una partitura (*Score*) contiene cualquier número de partes, una parte (*Part*) contiene cualquier número de frases, una frase (*Phrase*) contiene cualquier número de notas y una nota (*Note*) contiene la información acerca de un evento musical simple.

La estructura anterior es adecuada principalmente para la composición que no se realiza en tiempo real, pero JMusic también proporciona algunas estructuras para el audio en tiempo real: un objeto *RTMixer* agrupa diversos flujos de audio *RTLine*; un objeto *RTLine* es un flujo de audio que contiene notas.

A continuación describiremos un poco más las diversas estructuras que forman JMusic.

C.1.1. Nota

Una nota estará representada mediante la clase `jm.music.data.Note` que será la estructura básica en JMusic. Este objeto contiene la siguiente información:

- *Pitch*, el tono de la nota.
- *Dynamic*, el volumen de la nota.
- *Rhythm Value*, la duración de la nota respecto al compás.
- *Pan*, la posición de la nota en el espectro estereo.

- *Duration*, la duración de la nota en milisegundos.
- *Offset*, una desviación a partir del tiempo "normal" de inicio de la nota.

C.1.2. Frase

Una frase estará representada mediante la clase `jm.music.data.Phrase`. La manera más simple de definir una frase es indicar que es lo equivalente a una voz en el lenguaje musical. Desde el punto de vista estructural la frase solo contiene un atributo: una lista de notas. La frase permite la manipulación de tal lista por el usuario.

Existe un tipo especial de frase que permite que algunas notas se ejecuten a la vez, este tipo de frases están representadas con la clase `jm.music.data.CPhrase`.

C.1.3. Parte

Una parte agrupa las notas (en frases) para que sean ejecutadas por un instrumento. Está representada con la clase `jm.music.data.Part` y contiene:

- Una lista de frases.
- Título.
- Un canal.
- Un instrumento.

C.1.4. Partitura

Una partitura (`jm.music.data.Score`) es la estructura de más alto nivel y contiene una lista de partes y un título.

C.1.5. RTLine

Un objeto `RTLine` es similar a una parte, pero permite definir la lógica de procesamiento del audio.

C.1.6. RTMixer

Un `RTMixer` agrupa diversos flujos de audio procesados mediante un `RTLine`, mezcla estos flujos y los dirige hacia la salida de audio de la computadora.

La descripción de métodos y tipos asociados a cada uno de los atributos de las distintas estructuras de datos de `JMusic` puede ser encontrada en la documentación del paquete `JMusic` (Sorensen and Brown, 2004).

Bibliografía

- Alpern, A. (1995). Techniques for algorithmic composition of music. <http://hamp.hampshire.edu/~adaF92/algocomp/algocomp95.html>.
- Anderson, J. A. (1977). Neural models with cognitive implications. En LaBerge, D. y Samuels, S. J., editores, *Basic Process in Reading Perception and Comprehension Models*, páginas 27-90, Hillsdale, N.J. Erlbaum.
- Baker, D. (1988). *David Baker's Jazz Improvisation*. Alfred Publishing Co., Inc.
- Bereiter, C. y Scardamalia, M. (1987). *The Psychology of Written Composition*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- Clarke, J. R. y Voss, R. F. (1978). 1/f noise in music: music from 1/f noise. *Journal of The Acoustical Society of America*, 63(1):258-263.
- Cood, E. F. (1968). *Cellular Automata*. Academic Press, London.
- De Jong, K. A. (1985). Genetic algorithms: A 10 years perspective. En *Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and their Applications*, Hillsdale, NJ. Lawrence Erlbaum Associates.
- De Jong, K. A. (1987). On using genetics algorithms to search program spaces. En *Genetic Algorithms and their Applications: Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms*, Hillsdale, NJ. Lawrence Erlbaum Associates.
- De Jong, K. A. (1988). Learning with genetic algorithms: an overview. *Machine Learning*, 3(2):121-138.
- De La Cruz, G. y León, K. (2002). Composición musical por computadora: Creación por grados de refinamiento. En Garijo, F., Riquelme, F. C., y Toro, M., editores, *Open Discussion Track Proceedings of Iberamia 2002*, páginas 185-194, Sevilla. Universidad de Sevilla.
- Dewdney, A. K. (1980). A cellular universe of debris, droplets, defects and demons. *Scientific American*, (2):102-105.
- Dodge, C. y Bahn, C. R. (1986). Music fractals. *Byte*, (666):186-196.
- Dowling, W. J. (1978). Scale and contour: two components of theory of memory for melodies. *Psychological Review*, 85(4):341-354.
- Freud, S. (1964). *Leonardo da Vinci and a memory of his childhood*. Norton, New York.

- Gedo, M. M. (1980). *Picasso. Art as autobiography*. University of Chicago Press, Chicago.
- Goldberg, D. (1989). *Genetic Algorithms in Search and Machine Learning*. Reading: Addison Wesley.
- Goodwin, F. y Jamison, K. (1990). *Manic-depressive illness*. Oxford University Press, New York.
- Grabner, H. (2001). *Teoría General de la Música*. Akal, Madrid, España.
- Grout, D. K. y Palisca, C. V. (1996). *A History of Western Music*. W. W. Norton & Company, New York, 5 edición.
- Habb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior*. Wiley, New York.
- Hiller, L. y Baker, R. (1984). Computer cantata: a study in compositional method. *Perspectives of New Music*, 3:62-90.
- Hiller, L. y Isaacson, I. (1959). *Experimental Music*. McGraw-Hill, New York.
- Holland, H. J. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems, an introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence*. Ann Arbor. The University of Michigan Press.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Science*, (79):2554-2558.
- Irvine (2003). A personal journey of differential engagement: Coming to terms with the meaning of 'doctorate'. *Mini Conference on Research Higher Degree Study*.
- Kim, Y. E., Chai, W., García, R., y Vercoe, B. (2000). Analysis of a contour-based representation for melody. En *ISMIR2000*, Plymouth, Massachusetts.
- Koestler, A. (1964). *The act of creation*. Macmillan, New York.
- Kohonen, T. (1977). *Associative Memory: A System-Theoretical Approach*. Springer-Verlag.
- Koza, J. R. (1992). *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Kraepelin, E. (1976). *Manic-depressive insanity and paranoia*. Arno Press, New York.
- Kröse, B. y van der Smagt, P. (1996). *An Introduction to Neural Networks*. University of Amsterdam, 8 edición.
- LaPorta, J. (2000). *A Guide to Jazz Improvisation*. BerkLee Press, Boston, MA USA.
- Lewis, J. P. (1991). Creation by refinement and the problem of algorithmic music composition. En Todd, P. M. y Loy, D. G., editores, *Music and Connectionism*, páginas 212-228, Cambridge, Massachusetts. The MIT Press.
- Lipmann, R. P. (1987). An introduction to computing with neural nets. *IEEE Acoustic, Speech and Signal Processing Magazine*, 4(2):4-22.

- McAlpine, K. (1999). *Applications of Dynamical Systems to Music Composition*. PhD thesis, Department of Mathematics, University of Glasgow.
- McCulloch, W. S. y Pitts, W. (1943). A biological calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, (5):115-133.
- McNab, R. J., Smith, L. A., Witten, I. H., Henderson, C. I., y Sunningham, S. J. (1990). Toward the digital music library: tune retrieval from acoustic input. En *ACM Digital Libraries*. Bethesda.
- McNabb, M. (1981). Dreamsong: the composition. *Computer Music Journal*, 5(4):36-53.
- McNabb, M. (1980). Computer music: some aesthetic considerations. En Emmerson, S., editor, *The Language of Electroacoustic Music*, páginas 141-154, New York. S. Emmerson, Harwood Academic.
- Miranda, E. R. (2001). *Composing Music with Computers*. Focal Press, London.
- Murray, P. (1989). *Genius. The history of an idea*. Blackwell, Oxford.
- Neumann, J. V. (1951). The general and logical theory of automata. En Neumann, E., editor, *The World of Mathematics*, páginas 2070-2098, New York. Simon and Schuster.
- Poincaré, H. (1952). Mathematical creation. En *The foundation of science*. The Science Press, New York.
- Pope, S. (1986). Music notations and the representation of musical structure and knowledge. *Perspectives of New Music*, 24(2):156-189.
- Pérez y Pérez, R. (1999). *MEXICA: a Computer Model of Creativity in Writing*. PhD thesis, SUSSEX, England.
- Pérez y Pérez, R. (2001). Mexica: A computer model of a cognitive account of creative writing. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 13(2):119-139.
- Pérez y Pérez, R. y Sharples, M. (2004). Three computer-based models of storytelling: Brutus, minstrel and mexica. *Knowledge Based Systems Journal*, 17(1):15-29.
- Roads, C. (1976). A systems approach to compositions. Master's thesis, La Jolla: University of California, San Diego.
- Roads, C. (1992). Composition with machines. En *Companion to Contemporary Musical Thought*, páginas 143-185, London. Routledge.
- Roads, C. (1996). *The Computer Music Tutorial*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Rosenblatt, F. (1958). El perceptron: A probabilistic model for information storage and organization of the brain. *Psychological Review*, (64):369-408.
- Ruco, M. (1992). *Problem finding*. Ablex, Norwood, N.J.
- Schoenberg, A. (1990). *Fundamentals of musical composition*. Gerald Strang.

- Search by Humming (1998). University of Southampton.
<http://audio.ocs.soton.ac.uk/sbh>.
- Sharples, M. (1996). An account of writing as creative design. En M., L. C. y Ramødell, editores, *The Science of Writing*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Sharples, M. (1999). *How we Write: Writing as Creative Design*. Routledge, London, England.
- Slater, E. y Meyer, A. (1959). Contributions to a pathography of musicians: I. robert schumann. *Confinia Psychiatrica*, 2:65-94.
- Sorenson, A. y Brown, A. (2003). Jmusic tutorials and lessons.
<http://jmusic.ci.qut.edu.au/jmtutorial/t1.html>.
- Sorenson, A. y Brown, A. (2004). Jmusic documentation.
<http://jmusic.ci.qut.edu.au/jmDocumentation/>.
- Spector, L. y Alpern, A. (1994). Criticism, culture and the automatic generation of artworks. En *Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-94*.
- Themefinder (1999). Stanford University. <http://www.ccarh.org/themefinder>.
- Wallas, G. (1920). *The art of thought*. Harcourt Brace, New York.
- Waschka, R. y Kurepa, A. (1990). Using fractals in timbre construction: an exploratory study. En Arnold, S. y Hair, G., editores, *Proceedings of the 1990 International Computer Music Conference*, páginas 159-161, San Francisco. International Computer Music Association.
- Weisberg, R. W. (1993). *Creativity: Beyond the Myth of Genius*. W. H. Freeman and Company, New York, USA.
- Widrow, B. y Hoff, M. E. (1960). Adaptive switching circuits. En *IRE WESCON Convention Record*, páginas 96-104. DUNNO.
- Xenakis, I. (1971). *Formalized Music. Thought and Mathematics in Composition*. Indiana University Press.