

---

# PRODUCCIÓN DE AUDIO BASADA EN INTERACCIÓN POR MOVIMIENTO CORPORAL

---



Camilo Andrés Argüello Rincón

Proyecto de Grado

Directora:

Ing. Marcela Iregui, Ph.D

Universidad Militar Nueva Granada  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería en Multimedia  
Bogotá  
2015

# PRODUCCIÓN DE AUDIO BASADA EN INTERACCIÓN POR MOVIMIENTO CORPORAL

Camilo Andrés Argüello Rincón

*Trabajo de Grado para optar por el título de:*

Ingeniero en Multimedia

*Dirigido por:*

Ing. Marcela Iregui, Ph.D

Universidad Militar Nueva Granada

2015

Copyright © UMNG - Camilo Andrés Argüello Rincón

*#allinornothing*  
*por la multimedia*

*#viejostrucos*

# Agradecimientos

Todos tenemos una fuente de motivación e inspiración en la vida, en mi caso es mi familia. Quiero iniciar agradeciendo a mi papá, el hombre más sabio y correcto que puede existir, sin sus consejos y ejemplos no hubiera alcanzado nada. A mi mamá ya que ella es mi fuente de inspiración y de amor más grande además de que con sus esfuerzos ha logrado más de lo que se ha prometido. A Edison le agradezco por su apoyo y por sus consejos tan sabios y tan correctos, a Carlos quiero agradecerle por lo excelente hermano que es, y su bondad que no tienen límites. Finalmente a la niña que más quiero, a mi hermana Ángela, ya que ella es una fuente de cariño, ternura y apoyo.

A la profe Marcela no tengo palabras para agradecerle su dedicación, su valioso tiempo dedicado a este proyecto, siempre asesorándome a tomar el mejor camino para afrontar en todas las dificultades presentadas y especialmente por su paciencia conmigo mil gracias, además para mí es una fuente de admiración e inspiración muy grande.

Quiero agradecer a mis amigos que de alguna u otra manera me motivaron para culminar este proyecto de la mejor manera, entre ellos: Cristhian Cepeda, Juan Garay, Sebastián Díaz, Daniel Valenzuela, Cristian Narváez, Daniela Sánchez A, Sebastián Sastoque, Diana Moreno y a muchos más.

También quiero agradecer a los profesores, ya que su sabiduría influyó en mi formación profesional y también al grupo de investigación ACCEDER por su gran labor investigativa y productiva que me ayudaron a darle un correcto enfoque al proyecto.

Finalmente a aquellas personas con las que he compartido grandes momentos, que motivan a crecer como persona y profesional.

# Resumen

El estudio del movimiento humano ha sido fuente de interés para la creación de sistemas interactivos, entre ellos los musicales. Este trabajo busca explorar y aportar al desarrollo de aplicaciones enfocadas en fortalecer aspectos del movimiento del cuerpo como el ritmo. Gran cantidad de dichos sistemas han sido construidos con el fin de darle a la persona una retroalimentación tanto visual como auditiva, varios de ellos implementados por consolas de videojuegos, estos cuentan con diversidad de métodos, algunos con la detección de movimiento, otros con solo respuesta por parte del sistema ante un evento. Actualmente se destacan algunas aplicaciones que brindan dar una experiencia de usuario cada vez más agradable.

Por tal razón el presente trabajo presenta conceptos fundamentales y propone métodos preliminares para la creación de sistemas interactivos musicales que a través del ritmo, que sirvan de apoyo en terapias del Trastorno del desarrollo de la coordinación o con fines de entretenimiento, para este fin se desarrolla un prototipo de aplicación interactiva que por medio del análisis de los patrones de movimiento de una persona, genere una respuesta tanto visual como auditiva de la acción realizada.

# Índice

Agradecimientos

Resumen

<b>1.</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1.	Objetivos .....	2
1.1.1.	Objetivo General .....	2
1.1.2.	Objetivos Específicos .....	2
1.2.	Motivación .....	2
1.3.	Organización .....	3
<b>2.</b>	<b>Estado del Arte</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>7</b>
3.1.	Trastorno del desarrollo de la coordinación (TDC) .....	7
3.2.	La danza .....	8
3.3.	Teoría Musical .....	9
3.3.1.	Sonido .....	9
1.	Propiedades del sonido .....	9
3.3.2.	Síntesis de Audio .....	10
1.	Frecuencia .....	10
2.	Series y Transformada de Fourier .....	10
3.	Frecuencia Fundamental .....	10
3.3.3.	Música .....	11
1.	Melodía .....	11
2.	Armonía .....	11
3.	Ritmo .....	11
3.3.4.	Claves .....	11
3.3.5.	Figuras Musicales .....	11
3.3.6.	Compás .....	12
3.3.7.	Géneros Musicales .....	12
1.	Salsa .....	12

2.	Merengue .....	13
3.3.8.	Psicología Musical .....	14
3.4.	Transformación del Color .....	15
3.4.1.	Espacio de Color RGB .....	15
3.4.2.	Espacio de Color YUV .....	16
3.5.	Detección de Movimiento .....	16
3.5.1.	Sigma Delta .....	16
3.5.2.	Change Detection Mask .....	18
3.6.	Análisis de Componentes Principales ( <i>siglas en inglés: PCA</i> ) .....	19
<b>4.</b>	<b>Planteamiento Método</b>	<b>21</b>
4.1.	Pre – Procesamiento .....	22
4.2.	Detección de Movimiento .....	23
4.3.	Extracción de patrones periódicos de movimiento .....	24
4.4.	Análisis de las características periódicas del movimiento .....	25
4.5.	Mapeo de los patrones de los movimientos periódicos a síntesis de sonido	
<b>5.</b>	<b>Descripción del sistema</b>	<b>28</b>
5.1.	Introducción .....	28
5.2.	Modelo del sistema .....	29
5.2.1.	Procesos del cliente .....	30
5.2.2.	Procesos del Servidor .....	30
5.3.	Casos de uso .....	30
5.4.	Diagrama de Flujo .....	31
5.5.	Interfaz Gráfica .....	32
5.6.	Módulo de Aprendizaje .....	33
5.7.	Módulo de Ejecución .....	35
5.8.	Módulo de Evaluación .....	36
5.9.	Definición de Reglas .....	37
5.9.1.	Pasos de Baile .....	37
5.9.2.	Tipos de Sonido .....	39
<b>6.</b>	<b>Evaluación</b>	<b>40</b>
6.1.	Introducción .....	40
6.2.	Diseño .....	40
6.2.1.	Prueba de Precisión .....	41
6.2.2.	Evaluación de usuario .....	41
6.2.3.	Experiencia de usuario .....	41

<b>7.</b>	<b>Resultados</b>	<b>43</b>
7.1.	Resultados Prueba de Precisión ... ..	43
7.2.	Resultados Evaluación de usuario ... ..	46
7.3.	Experiencia de usuario ... ..	50
7.4.	Resultados Trabajo de Grado ... ..	51
<b>8.</b>	<b>Discusión</b>	<b>53</b>
<b>9.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>54</b>
<b>10.</b>	<b>Recomendaciones y Trabajo Futuro</b>	<b>55</b>

## **Apéndices**

### **A. Casos de Uso**

- A.1. Caso de uso Módulo Aprendizaje
- A.2. Casos de uso Módulo Ejecución
- A.3. Casos de uso Módulo Evaluación

### **B. Resultados Método**

- B.1. Resultados Paso 1
- B.2. Resultados Paso 2
- B.3. Resultados Paso 3
- B.4. Resultados Paso 4

### **C. IV Concurso Neogranadino de Investigación Formativa**

- C.1. Certificado de Asistencia

### **D. Encuentro Regional y Nacional de Semilleros de Investigación (RedColSi)**

- D.1. Certificado de Participación

### **E. Recursos Tecnológicos**

- E.1. Matlab
- E.2. Python 2.7.10
- E.3. Django 1.8.2
- E.4. Sublime Text
- E.5. Adobe after Effects CC
- E.6. Adobe illustrator CC

## **11. Referencias**

# Lista de Graficas

Fig. 1. Clave de Sol

Fig. 2. Clave de Fa

Fig. 3. Clave de Do

Fig. 4. Figuras Musicales

Fig. 5: Figuras musicales y su tiempo

Fig. 6: Representación gráfica paso de baile. Los tiempos 4 y 8 no aparecen, debido a que son denominados: tiempos muertos

Fig. 7: Ejemplo clave rítmica de la salsa en 2 – 3

Fig. 8: Algunos pasos básicos de la salsa

Fig. 9. Representación visual del espacio de color RGB con su notación aritmética.

Fig. 10: Resultados obtenidos por Manzanera usando Sigma-Delta

Fig. 11. Señales obtenidas por Manzanera al tomar un píxel a través del tiempo y mostrar sus cambios. Si hay picos de diferencia abruptos, se sabe que hay movimiento, en el caso de la gráfica izquierda no hay movimiento, y la derecha sí.

Fig. 12. Ejemplificación de PCA

Fig. 13. Proyección de datos  $\mathbb{R}^3$  a  $\mathbb{R}^2$ , realizada por Blei

Fig. 14: Diagrama de flujo de transformación de color

Fig. 15: Resultados Detección de Movimiento de la secuencia de una persona realizando un movimiento

Fig.16. Representación de la sumatoria de perfiles para 1 y para todos los fotogramas para obtener una imagen con los valores de las sumatorias

Fig. 17. Representación 2D de imagen normalizada, con los patrones de movimiento

Fig. 18. Representación 3D de imagen normalizada, con patrones de movimiento

Fig. 19. Representación señal reducida con PCA

Fig. 20. Representación señal en el dominio de la frecuencia

Fig. 21. Representación convolución sonido entrante y tren de impulsos

Fig. 22. Representación del modelo general de la aplicación

- Fig. 23. Diagrama de los casos de uso del sistema
- Fig. 24. Flujo general del sistema
- Fig. 25. Personajes de la aplicación
- Fig. 26. Pantalla aplicación “Rhythm Machine”
- Fig. 27: Diagrama de casos de uso módulo de Aprendizaje
- Fig. 28: Flujo Modulo Aprendizaje
- Fig. 29: Interfaz gráfica Modelo Aprendizaje
- Fig. 30: Diagrama de casos de uso módulo de Ejecución
- Fig. 31: Flujo Modulo Ejecución
- Fig. 32: Interfaz gráfica Modelo Ejecución
- Fig. 33: Diagrama de casos de uso módulo de Ejecución
- Fig. 34: Flujo Modulo Ejecución
- Fig. 35: Interfaz gráfica Modelo Ejecución en el caso que se haya hecho más rápido el movimiento
- Fig. 36. Ejemplo paso 1 pierna derecha
- Fig. 37. Ejemplo paso 2 pierna derecha
- Fig. 38. Ejemplo paso 3
- Fig. 39. Ejemplo paso 3
- Fig. 40: Modelo de pruebas de precisión

# Lista de Tablas

Tabla 1: Porcentaje de TDC en los niños y adolescentes.

Tabla 2: Flujo del método.

Tabla 3: Resultados del proyecto realizado con respecto a los objetivos planteados.



# Capítulo 1

## Introducción

**RESUMEN:** En este capítulo se presenta una breve descripción de los temas que se van a tratar en este documento, entre ellos el planteamiento del problema, la motivación, objetivos y la organización del trabajo.

El ritmo es uno de los aspectos más importante en la vida de las personas [1]. Especialmente se utiliza en muchas actividades que requieren expresiones corporales repetitivas, por ejemplo en la música, donde actúa como un vehículo que une los lenguajes sonoros y la forma como se articula el cuerpo, las extremidades, los sentidos, etc [1]. De este modo, el ritmo se convierte en una actividad vital debido a que, por el movimiento del cuerpo, se involucra la capacidad motriz, visual y auditiva del ser humano [2]. Es por ello que Bagés afirma que: “El cuerpo es música, tiene incorporado el ritmo, la expresión corporal, la danza y la estética”. Todo lo anterior es prueba de que el ritmo y la melodía, siempre han estado ligados a la forma de vida del ser humano y que promueven en él, la sensibilidad de movimiento y el desarrollo de una buena motricidad [3]. Aunque los estudios sobre la influencia de la música y el movimiento siempre fueron relacionados con conceptos como emocionales, artísticos o simplemente estéticos, desde hace unos años se ha comprobado que existe una gran relación fisiológica entre la influencia del ritmo y el sistema motor [18].

Estudios previos demuestran que la habilidad de entrenar el ritmo se desarrolla en el ser humano entre los 4 y los 8 años, edad en la que los niños comienzan a desarrollar su mayor capacidad motora [4]. De esta manera, tener la capacidad de seguir un ritmo musical con el movimiento del cuerpo, primordial en aspectos como el baile, implica poder percibir cambios en las velocidades y el tipo de sonidos. Sin embargo, algunas personas se ven limitadas al coordinar algún movimiento, debido al poco desarrollo de sus procesos cognitivos, psicológicos o motrices. Esto es conocido por los terapeutas como el Trastorno del Desarrollo de la Coordinación (TDC) [5], el cuál abarca limitaciones en los tres procesos mencionados anteriormente, dificultando la expresión corporal en las actividades que las requieran [1].

Según lo anterior, el proyecto se enmarca en el problema de generación de aplicaciones multimedia dirigidas a fortalecer los procesos de motricidad en personas a quienes se les dificulta coordinar algún movimiento con el ritmo musical.

Por medio de este trabajo se busca ayudar en el fortalecimiento de expresiones de movimientos corporales repetitivos como el ritmo, por medio de la tecnología computacional, usando técnicas de interacción basadas en algoritmos de visión por computador, procesamiento de señales y síntesis de audio.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo General

Diseñar un piloto de aplicación interactiva, basado en estímulos visuales y auditivos, usando algoritmos de visión artificial y síntesis de audio, para apoyo en tratamientos de los trastornos del desarrollo de la coordinación.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

1. Definir un conjunto de reglas, movimientos y sonidos para identificar los requerimientos en materia de técnicas y algoritmos necesarios para la producción de audio y de las teorías neuropsicológicas asociadas.
2. Diseñar un método de visión artificial, para detectar y analizar el movimiento de una persona en un entorno controlado, teniendo en cuenta su velocidad, y el tipo de acción efectuada.
3. Especificar un método de procesamiento de audio para generar efectos o sonidos a partir de un conjunto de entradas predefinidas, para la generación de secuencias rítmicas.
4. Evaluar el sistema piloto integrado para identificar su correcto funcionamiento, desde el punto de vista de su coherencia musical.

## 1.2. Motivación

Salamanca [6], muestra que entre el 2 y 30 % de niños y niñas de edades escolares (7-10) pueden estar en riesgo de padecer el trastorno (TDC). Estas cifras muestran que aunque la gran mayoría de niños no está en riesgo, debe estar contemplado que las personas que lo padecen puedan acceder a tratamientos y en este caso apoyadas con desarrollos tecnológicos que mejoren el proceso de recuperación. Además está contemplado que demás personas que

aunque no tengan problemas de motricidad, puedan acceder a la aplicación con el fin de aprender un nuevo paso de baile.

Este trabajo posee una gran motivación ya que se busca generar una retroalimentación, es decir, darle la posibilidad al usuario de poder escuchar el sonido de su ritmo, a partir de sus movimientos y recibir por parte de la aplicación imágenes y sonidos acordes con dichas acciones, todo esto enfocado en apoyar el proceso de desarrollo motriz de la persona a la hora de tratar de coordinar sus movimientos para crear un ritmo musical, igualmente se desarrolla una interfaz de usuario, la cual es un complemento a la respuesta auditiva del sistema, todo esto para darle una percepción más completa al usuario en estos sentidos, tomando como base la captura de movimiento y aplicándola en la producción de sonidos todo esto soportado desde todas las herramientas que nos brinda la Ingeniería en Multimedia.

### 1.3. Organización

La organización de este documento está escrita para la comprensión del sistema, basado en capítulos, este documento está estructurado de la siguiente manera:

1. El capítulo 2 hace una revisión del Estado del Arte en temas como aplicaciones interactivas enfocadas en fortalecer el desarrollo de la motricidad.
2. El capítulo 3 hace un estudio teórico de los temas usados para este proyecto.
3. El capítulo 4 explica el planteamiento del método.
4. El capítulo 5 muestra la descripción del sistema, con sus respectivos componentes.
5. El capítulo 6 presenta la evaluación del sistema.
6. El capítulo 7 provee los resultados de las pruebas realizadas.
7. En el capítulo 8 se hace una discusión de los resultados obtenidos.
8. En el capítulo 9 se muestran las conclusiones.
9. El capítulo 10 provee algunas recomendaciones de su uso y el trabajo futuro.

# Capítulo 2

## Estado del Arte

**RESUMEN:** Este capítulo hace un estudio de los métodos y teorías acerca del análisis de los movimientos de las personas específicamente en pasos de baile y sus diferentes aplicaciones.

Entre los aportes encontrados en la literatura, en cuanto a aplicaciones musicales, que usen la interacción con el computador y específicamente la detección de los movimientos corporales y la síntesis de audio, varios autores han desarrollado trabajos que evidencian el uso de nuevas tecnologías. Por ejemplo, Chattopadhyay [8] utiliza la consola Microsoft Xbox con Kinect para etiquetar ciertas posiciones del cuerpo en notas musicales, por medio del seguimiento en tiempo real del esqueleto de una persona y varias características como la velocidad o aceleración. A partir de estas posiciones se generan notas musicales y sonidos oscilatorios que representan el movimiento realizado [8]. Este trabajo toma un factor muy importante que es ‘tiempo real’. Usando tecnologías existentes como en este caso el Kinect, pero su enfoque no es la creación de sonidos rítmicos, sino la creación y variación de un tono ante unos parámetros de entrada, como en este caso la captura de movimiento.

Otro trabajo que hace parte del dominio de aplicaciones con fines de entretenimiento, se encuentra el desarrollado por Weiß y otros [9], llamado EyeCon. El cual es un sistema de video basado en movimiento, que permite a las personas tener un control musical, texto, iluminación y que además proyecta imágenes mediante sus movimientos. Este sistema hace la detección de movimiento de acuerdo a unos parámetros de movimiento establecidos [9]. Dado que es un sistema para presentaciones musicales interactivas, no brinda una retroalimentación que esté enfocada a la creación de sonidos musicales coherentes con pasos o movimientos de la cotidianidad del baile. Así mismo Cédric [19], presenta un sistema que reconoce patrones de baile desde una captura de datos en 3D. Este por medio del cálculo de la trayectoria del cuerpo desde un sensor. Posteriormente realiza una representación esquelética, creando así un reconocimiento efectivo del cuerpo humano, pero solo aplicados para procesos de detección en pasos de baile y no enfocados a la producción de sonidos.

Otro trabajo desarrollado, también del dominio de la detección de movimiento es el presentado por Shiratori [22]. En el cual, la idea principal es realizar una síntesis de audio, a partir de una presentación de baile basadas en análisis de vídeo y musical. Para esto, en primer lugar se establece una relación entre el movimiento corporal, representado por las poses principales que hacen los bailarines y el ritmo musical. El segundo objeto de estudio, es hacer una comparación entre la velocidad de la parte superior del cuerpo y el ritmo musical. Todo esto para evidenciar el hecho de que los bailarines omiten algunos detalles cuando realizan los movimientos esenciales del baile, con el fin de seguir la velocidad de la música un poco más rápido. El tercer objeto de estudio es definir si el espectáculo de baile, está bien adaptado a la música de entrada, y las posibles emociones que puede generar dicho espectáculo. Basados en los tres campos de estudio, se diseña un algoritmo para sintetizar una nueva presentación de baile tomando la relación entre el movimiento y la intensidad musical. Finalmente se desarrolló una aplicación para la animación de personajes CG (en inglés “character generator”) y robots humanoides [22]. Trabajos como el de Shiratori hacen el análisis y posterior síntesis del movimiento humano basado en audio, pero nuevamente no entran en la problemática de la síntesis de audio y la retroalimentación.

Por otra parte diversos trabajos han sido propuestos con el fin de analizar el movimiento humano enfocado a muchos aspectos. Por ejemplo, Chien-Wen Cho [10] y otros, realizan un análisis y reconocimiento de los patrones del ciclo de caminado de una persona diagnosticada con la enfermedad de Parkinson. Esto por medio de un método de visión artificial basado en reconocimientos de patrones de movimiento para cada paso. Además del uso de algoritmos como Análisis de componentes principales (siglas en inglés: PCA) y Análisis de discriminantes lineales (siglas en inglés: LDA). Con el propósito de hacer una comparación entre los patrones de movimiento de un paso de caminado de una persona con Parkinson y otra que no tenga dicha enfermedad [10]. El proyecto anterior marca una premisa que por medio del análisis de los patrones de movimiento de una persona, este puede proveer la información suficiente para determinar cuándo un paso puede ser realizado correcta o incorrectamente. Lo cual es clave para el desarrollo de este proyecto, ya que también se realiza un análisis de movimiento, pero enfocado a pasos de baile.

Otro proyecto que busca hacer un análisis específico de pasos de baile es el desarrollado por Pohl [20]. Mediante el uso de similitudes entre secuencias temporales, las cuales son útiles en la detección de aceleraciones y desaceleraciones entre pasos ya sea al caminar o cualquier otro movimiento. La evaluación de dicho trabajo, fue hecha mediante la elaboración de un sensor para cuantificar la exactitud de clasificación de cada paso, mostrando que con los movimientos más pronunciados o exagerados, el sensor distingue mejor las diferencias. El trabajo anterior brinda un nuevo método de detectar diferentes tipos de movimiento, sin embargo el método usado para el proyecto busca hacer un análisis sin tener necesidad de acudir a un sensor externo al de un computador [20].

Entre las investigaciones sobre el tratamiento en problemas de deficiencia motriz que han sido ampliamente estudiadas, especialmente en niños. Se han abarcado con terapias de movimiento, haciendo uso de los avances tecnológicos. Por ejemplo desde la perspectiva de las consolas de videojuegos, usando accesorios como el sistema Kinect, desarrollado por la empresa Microsoft, o la consola Wii de Nintendo [11].

Uno de los proyectos aplicados con la consola Wii y desarrollado por Hill [12]. Muestra que en juegos de equilibrio, se pueden mejorar habilidades de los niños que padecen Trastorno del Desarrollo de la coordinación. Para llegar dicha conclusión, se estudiaron a dos grupos de niños durante un determinado tiempo. El primer grupo los niños pasaban jugando Wii fit (videojuego para ejercicios físicos) diez minutos al día, tres veces por semana. El otro grupo usaba programas regulares usados para el fortalecimiento de las habilidades motoras. Finalmente, se demostró que los niños que usaron el Nintendo Wii tienen mayor percepción de capacidad motora y mayor bienestar emocional [11, 12]. Thaut y Abiru [18], evidencian la relación que existe entre una estimulación auditiva y el sistema motor. Ellos mencionan que la estimulación auditiva, se conecta atravesando la corteza cerebral hasta la columna vertebral, esto a su vez puede ser de gran ayuda en pacientes con Parkinson, o con lesiones cerebrales y en otras condiciones neuropsicológicas. Sin embargo, este tipo de estimulaciones auditivas que son centradas en la marcha de las personas, también dan una premisa para el uso en pasos de baile de diferentes géneros.

Todos estos trabajos hacen un aporte al problema de la estimulación rítmica, tomando diferentes enfoques que converjan el movimiento y la música. Por medio de nuevas tecnologías que permitan un análisis efectivo del movimiento. Sin embargo, estas nuevas tecnologías requieren dispositivos externos para su funcionamiento, lo cual puede ser un problema ya que en algunos casos, el usuario no puede tener acceso a ellos. Por otro lado diversos autores proponen nuevas técnicas de visión artificial para el análisis del movimiento, pero estas no cuentan con una respuesta auditiva rítmica al usuario. De este modo se evidencia que el problema es demasiado grande para poder ser totalmente resuelto. Por tal razón, este trabajo aborda una parte de este problema, proponiendo un método para el análisis del movimiento desde la perspectiva del baile, además brindando una retroalimentación visual y auditiva al usuario.

# Capítulo 3

## Marco Teórico

**RESUMEN:** Para comprender el contexto en el que se desarrolló este trabajo, se hace necesario tener en cuenta muchos conceptos básicos que han sido estudiados y sin los cuales el proyecto no hubiera sido completado. Por ejemplo, entender todo lo que abarca el Trastorno del desarrollo de la coordinación, también el referente teórico de los métodos implementados en el proyecto. En este capítulo se presenta una breve descripción de dichos conceptos.

### 3.1. Trastorno del desarrollo de la coordinación (TDC)

Missiuna [14] define el Trastorno del Desarrollo de la Coordinación (TDC) como un retraso en el desarrollo de las habilidades y capacidades motoras, es decir, la dificultad de coordinar los movimientos que realiza el niño en las tareas cotidianas. Este trastorno, se presenta aproximadamente en uno de cada doce niños. Además, las investigaciones recientes en el tema demuestran que los niños experimentan dificultades para aprender a planificar, organizar, realizar o modificar sus movimientos. Como consecuencia les es muy difícil aprender habilidades motoras nuevas, así mismo, también se les dificulta realizar actividades que requieran cambios constantes de la posición del cuerpo. Wilson [13] provee algunos criterios para clasificar niños con este trastorno, entre estos está que el trastorno se manifiesta por retrasos marcados en el logro de la actividad motriz, como por ejemplo, caminar, gatear, sentarse.

El trastorno no se debe a una enfermedad médica, pero si interfiere significativamente con otras actividades de vida cotidiana, para identificarla se han desarrollado conceptos, que sirvan de ayuda para comprender el trastorno, estos están estipulados en DSM-IV-TR (siglas en inglés de: “Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition, Text Revision”): el cual resalta “El rendimiento en las actividades diarias que requieren coordinación motriz es dado por la edad o la medida de inteligencia, el TDC puede ser manifestado por retrasos marcados en la ejecución de algunas actividades motrices” [13].

Wilson [13] además, presenta el rango que indica el porcentaje del niño de padecer TDC:

Rango de Edades	Probabilidad de padecer TDC (%)	Probabilidad de no padecer TDC (%)
De 5 a 7 años	15 – 46	47 – 75
De 8 a 9 años	15 – 55	56 – 75
De 10 a 15 años	15 - 57	58 - 75

Tabla 1: Porcentaje de TDC en los niños y adolescentes.

Las cuales proveen una base para entender que el trastorno puede afectar gran parte de la niñez o la adolescencia, si este no es detectado a tiempo. Missiuna [5], menciona que el rol de los padres, docentes y terapeutas es vital para superar el trastorno. Debido a que ellos pueden fomentar en el niño la actividad física, brindándole asesoría en actividades recreativas que sean agradables tales como los deportes o el baile.

Según Flores [32], el baile puede abrir el mundo de la expresión y la comunicación, ya que la enseñanza de la danza estimula la mente y aviva el espíritu. Además, el objetivo principal del baile es hacer que la persona disfrute esa actividad.

## 3.2. La danza

Escobar [26], define la danza como una de las actividades primordiales tan antiguas como el hombre. Por medio de esta se han podido manifestar toda clase de sentimientos de carácter religioso, social y cultural, es decir, es una forma de comunicación y de expresión que va unida a la vida y al servicio del hombre.

La danza según Escobar [26], se puede clasificar según su funcionalidad y según su modalidad, tomando como base ritmos folclóricos colombianos.

Según su funcionalidad:

- **Danza Ceremonial:** Se practica en ceremonias como en nacimientos, muertes, etc.
- **Danzas Teatrales:** Se realizan en los espectáculos públicos al aire libre, su objetivo es solo entretenimiento.
- **Danzas Académicas:** Su finalidad es la proyección artística, pedagógica y documental, a través de la formación artística y el espectáculo artístico.
- **Danzas Sociales:** Son practicadas en reuniones familiares y no cuentan con coreografías específicas.

Según su modalidad:

- **Danza individual:** Se practica en danzas como el ballet clásico y en la danza moderna.
- **Danza por parejas:** Es la más practicada a nivel social y folclórico.
- **Danza de grupo:** Se caracteriza por tener 3 o más integrantes, y puede ser representada por grupos mixtos o de un mismo sexo.
- **Danzas abiertas:** Esta modalidad de danza es caracterizada por lo que sus bailarines pueden entrar y salir del escenario libremente.

- **Danza de reguero:** Cada pareja de baile puede ejecutar los pasos libremente, es decir, no dependen de otras parejas para poder desplazarse por el escenario. Esta modalidad se practica en los bailes de salón.
- **Danzas Colectivas:** Caracterizadas por ser danzas con gran número de bailarines.

La enseñanza del baile es un proceso metodológicamente similar a otras áreas tales como gimnasia deportiva o rítmica, natación sincronizada, etc. Dichas similitudes abarcan aspectos como preparación técnica y física. En áreas como la gimnasia, el objetivo es generar cierto grado de automatización de los movimientos de las personas, mediante el entrenamiento repetitivo y constante. En el baile estos procesos de entrenamiento deben ser llevados a cabo desde la estética de la expresión artística, debido a que el cuerpo es un instrumento, para expresarse de la misma manera que lo es una pluma para un escritor [33].

Ereño [33], menciona también que un alumno aprende a bailar básicamente imitando los movimientos de otra persona, este proceso es llamado “fase de centración” que se enfoca en el propio hacer, es decir, es la fase en la que las propias acciones constituyen parte del proceso de “automatización” del movimiento. Luego de esta fase, el alumno puede trabajar más descentrado, para poder tener en cuenta nuevos aspectos como la relación en colaboración con los demás compañeros de baile.

### 3.3. Teoría Musical

A continuación se presenta una breve descripción de algunos conceptos básicos e importantes acerca de la teoría musical que se ha tenido en cuenta para la correcta ejecución del trabajo desde la buena coherencia musical.

#### 3.3.1. Sonido

Es producido por un cuerpo sonoro que vibra, estas oscilaciones o vibraciones generan ondas en el aire y a su vez llegan al tímpano. Un sonido musical se compone por señales en forma sinusoidal sin cambios bruscos, a diferencia del ruido que no cuenta con armonía, y su señal es más despareja [6].

##### 1. Propiedades del Sonido

- **Altura:** Es el valor de afinación del sonido, escrito de otra forma nos informa la velocidad de este, es decir, mientras el cuerpo sonoro más vibre, más agudo es el sonido y entre menos vibre más grave [5, 6].
- **Intensidad:** Definida por el tamaño de los picos de la onda, también es equivalente a la amplitud [5].
- **Duración:** Espacio temporal que se mantiene dicho sonido desde su aparición hasta su extinción [5, 6].
- **Timbre:** También llamado color del sonido, identifica la fuente o el instrumento del cual proviene [5, 6].

### 3.3.2. Síntesis de audio

La síntesis de audio consiste en generar sonidos a partir de medios electrónicos usando técnicas de procesamiento de señales [23]. Numerosos dispositivos han sido creados para tal fin, estos son llamados sintetizadores [24], los cuales generan un sonido a partir de la combinación de elementos simples como señales periódicas y/o funciones matemáticas. Además, permiten la creación de sonidos nuevos, los cuales pueden de una u otra manera imitar los sonidos preexistentes de algunos instrumentos acústicos o sonidos naturales.

Gómez [24], presenta una variedad de diferencias entre síntesis analógica y síntesis digital. Una de estas es que la analógica funciona con un conjunto continuo de señales analógicas, además pueden generar sonidos desde cero usando dispositivos electrónicos capaces de producir señales adecuadas para la vibración de altavoces. También Gómez, hace referencia a la síntesis digital al mencionar que esta trabaja en el dominio discreto y no continuo. Lo anterior, debido a que las operaciones de los computadores se basan en matemáticas discretas. Además menciona que la síntesis digital permite el uso de infinitas técnicas de síntesis que permiten emular cualquier método de síntesis analógica.

Por otra parte en cuando se mencionan técnicas de procesamiento de señales, se definen conceptos básicos, claves en el proyecto:

**1. Frecuencia:** La frecuencia  $f$  es el número de oscilaciones o ciclos que se completan en la unidad de tiempo, su valor es recíproco al periodo  $T$  y es medida en hercios (Hz) [34].

$$f = \frac{1}{T} \tag{1}$$

**2. Transformada de Fourier:** Un aspecto importante en síntesis de audio, para aplicaciones en la física y la ingeniería, es la Transformada de Fourier. Esta fue propuesta por Jean Baptiste Fourier, la cual es empleada para transformar señales entre el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia. Por medio de transformaciones entre cualquiera de los dominios al otro [25]. Fourier descubrió que cada audio periódico puede ser mostrado usando solamente ondas sinusoidales, dependiendo la frecuencia, amplitud y fase y la suma de estas es luego idéntica a la original, lo que se denominó análisis de Fourier y Transformada de Fourier [25].

**3. Frecuencia Fundamental:** La frecuencia fundamental es denominada, como la frecuencia  $\omega$  más baja, y las frecuencias  $2\omega, 3\omega, 4\omega, \dots, n\omega$  son las frecuencias armónicas [34].

### 3.3.3. Música

Cordantonopulos [6], la define como un tipo de ‘arte’ que combina sonidos sucesiva y simultáneamente, para transmitir o evocar sentimientos. La música contiene tres elementos fundamentales que son:

**1. Melodía:** Forma de combinar sucesivamente los sonidos; de ahí proviene el llamado de muchos instrumentos como melódicos, debido a que no pueden sonar más de una nota a la vez.

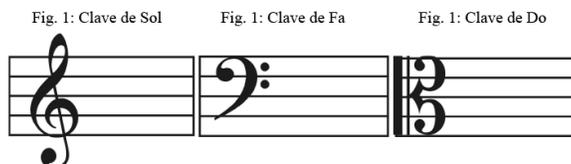
**2. Armonía:** Forma de combinar simultáneamente los sonidos, en otras palabras, brinda la base a la pieza musical, y puede ser usada para transmitir diferentes climas o emociones.

**3. Ritmo:** Cuando se percibe una pieza musical, es común marcar los golpes de manera intuitiva ya sea con los pies o con las manos. Estos golpes marcan algo llamado *Pulso* o *Tiempo*, los cuales son la base característica para todos los diferentes ritmos.

### 3.3.4. Claves

Tomando como base las notas naturales DO - RE - MI - FA - SOL - LA – SI; una clave provee el signo que se coloca al principio del pentagrama para indicar la nota correspondiente a cada línea y espacio [6].

Existen tres signos de claves: Clave de SOL, Clave de FA, Clave de DO [6].



### 3.3.5. Figuras Musicales

Las figuras determinan la duración de las notas en el tiempo. Estas se diferencian por el color de la cabeza de nota, o la plica (tronco de la figura). Además, la presencia o ausencia de corchetes.



Fig. 4. Figuras Musicales

De izquierda a derecha en la figura 4, se puede observar:

- **Redonda:** Tiene una duración de cuatro tiempos o pulsaciones, es la nota con la duración más larga.

- **Blanca:** Tiene una duración de dos tiempos, su duración es la mitad de una redonda.
- **Negra:** Tiene una duración de un tiempo, su duración es la mitad de una blanca.
- **Corchea:** Tiene una duración de medio tiempo, su duración es la mitad de una negra.
- **Semicorchea:** Tiene una duración de un cuarto de tiempo, su duración es la mitad de una corchea.
- **Fusa:** Tiene una duración de una octava de tiempo, su duración es la mitad de una fusa.
- **Semifusa:** Tiene una duración de una dieciseisava de tiempo, su duración es la mitad de una semifusa.

Para mostrar cómo están comprendidos los tiempos musicales se presenta la siguiente tabla, donde cada cuadro, representa el tiempo de duración de cada figura.

Figuras Musicales y su tiempo	
	
	
	
	
	
	
	

Fig. 5: Figuras musicales y su tiempo

### 3.3.6. Compás

El compás ordena la pieza musical dividiendo los pentagramas en cierta cantidad de bloques con la misma cantidad de tiempos. Es de gran importancia para entender la lógica rítmica de la música. Existen compases desde 2 tiempos llamados binarios hasta 12 tiempos, llamados cuaternarios. El compás va ligado con la duración de los sonidos y sus respectivas figuras, estas son siete de menor a mayor valor: Semifusa, Fusa, Semicorchea, Corchea, Negra, Blanca, Redonda [6].

### 3.3.7. Géneros musicales

Entre los diferentes géneros musicales latinoamericanos, se destacan la salsa, merengue entre otros. Estos son la base para definir los sonidos a usar en el proyecto.

#### 1. Salsa

Cuevas [8], la define como un estilo musicalailable, derivado del son cubano y surgido en Nueva York a mediados de los años 70. Se piensa que su nombre es equivalente a “soul”: literalmente “alma o esencia”. Aunque sus instrumentos varían en cuanto al género o la posición geográfica, siempre deben tener trompetas, trombones, piano, saxofones y percusión (conga, bongos, claves, platillos, timbales, etc.) El ritmo principal en la salsa es marcado por la conga, el bongo consolida y realza al ritmo [8].

Los pasos de baile de la salsa se realizan en ocho tiempos, con un compás de 4/4. Por ejemplo, para el caso de un paso de baile básico como el de la figura 6, se divide entre los tiempos 1 al 4 y 5 al 8. Para la primera barra (1 - 4), el paso indicado a realizar es llevar un pie adelante y regresarlo a la posición inicial. Luego en la segunda barra (5 - 8), se lleva el pie en un paso hacia atrás y se regresa a la posición inicial. Es importante resaltar el valor de las pausas o tiempos muertos, las cuales no se tienen en cuenta al bailar [8, 35].

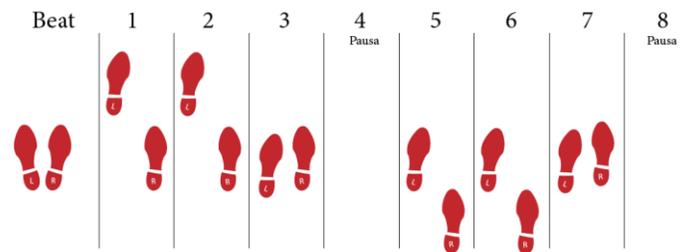


Fig. 6: Representación gráfica paso de baile. Los tiempos 4 y 8 no aparecen, debido a que son denominados: tiempos muertos

Un aspecto que denota el patrón rítmico en la salsa es la Clave. La cual es marcada golpeando palillos de madera, llamados igualmente “Clave”. El ritmo de la clave varía entre 3 – 2 y 2 – 3. Por ejemplo, si la clave es 2 – 3, son 2 golpes para la primera barra y 3 para la segunda (ver figura 7). La dirección de la clave depende de algunos instrumentos tales como la conga. [35]

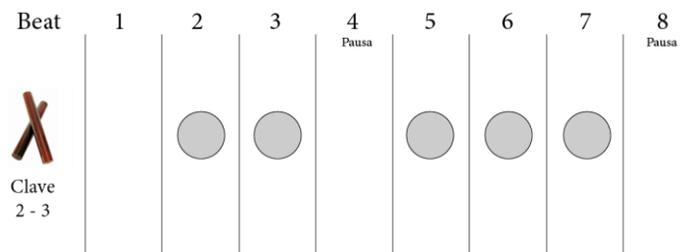


Fig. 7: Ejemplo clave rítmica de la salsa en 2 – 3

La salsa cuenta con muchos pasos básicos, a continuación son presentados algunos, los cuales son la base para el aprendizaje del baile [8, 35]:

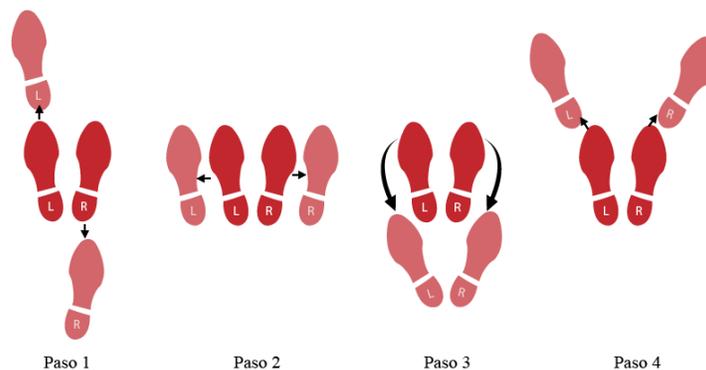


Fig. 8: Algunos pasos básicos de la salsa

## 2. Merengue

El merengue es un género musical, cuyo estilo está originado en Santo Domingo. La güira y la tambora son la base de la estructura de este género, aunque originalmente era tocado con una guitarra. Hoy en día el estilo moderno del merengue añade saxofón, y el bajo eléctrico reemplazó la marimba [10]. El ritmo generalmente se ejecuta en 4 / 4. Los pasos de baile básicos para el merengue son, en primer lugar el movimiento al lado, también el movimiento hacia adelante y hacia atrás, marcando las pisadas y moviendo las caderas en cada paso [8].

### 3.3.8. Psicología Musical

La psicología Musical abarca diversas líneas de investigación desde la emocional, la conducta musical, hasta la percepción y cognición del sonido. Este último se refiere a la forma en la que nosotros sentimos la música, ya sea por cómo se distingue cada sonido (timbre), o como se interpreta para luego componerlo [40].

Lacárcel [40], menciona que el cerebro humano es el órgano que analiza la percepción, es decir, el encargado de reflejar y modelar procesos perceptivos. Según lo anterior, los diferentes sentidos del ser humano, como por ejemplo: la visión o la audición son imágenes visuales o auditivas, ligadas a la habilidad del cerebro de percibir las y procesarlas, un ejemplo de esto es la música. Lacárcel afirma que: “La música es sonido, el sonido es vibración, la vibración es energía que se transmite en forma de ondas que llegan al oído y de él al cerebro. Pueden ser de diferente naturaleza: agradables, desagradables, excitantes, tranquilizadoras...etc.”.

De igual forma, estudios demuestran que el oído provee de más estímulos sensoriales al cerebro que otros sentidos. Este llega a producir cerca del 50% de los estímulos, a diferencia de la vista, la cual provee aproximadamente el 20% y los restantes como olfato, tacto y gusto con un 30% de estímulos. Esto marca una base de la relación entre la música y las diferentes zonas cerebrales. Por ejemplo, en la zona Bulbar del cerebro, donde se procesan las diferentes reacciones físicas del cuerpo; estaría localizada la actividad sensorial de la música [40].

Según lo anterior, se han realizado estudios para determinar las funciones cerebrales presentes en procesos musicales, de igual forma, se sitúan dichos procesos musicales en los hemisferios cerebrales según la tabla 1, presentada por Lacárcel [40].

Hemisferio Izquierdo	Hemisferio Derecho
Predominancia de Análisis	Predominancia de Síntesis
Ideas	Percepción del espacio
Lenguaje	Percepción de las formas
Matemáticas	Percepción de la música
Preponderancia Rítmica (aprendizaje instrumental)	Emisión melódica no verbal
Elaboración de Secuencias	Discriminación del timbre
Mecanismos de ejecución musical	Función video – espacial
Pronunciamiento de palabras para el canto	Intuición musical
Representaciones verbales	Imaginación musical

Tabla 1. Procesos musicales situados para cada hemisferio cerebral, presentado por Lacárcel

La tabla 1, es prueba de que los procesos musicales están presentes en todo el cerebro y que abarcan muchos aspectos de este. Además, brindan un equilibrio dinámico entre los dos hemisferios, clave en procesos de aprendizaje musical.

A continuación se hace referencia a la parte teórica de los métodos empleados en el proyecto.

### 3.4. Transformación de Color

Ford [15] menciona que un espacio de color es un método por el cual se puede especificar, crear y visualizar el color. La forma de percibir el color es diferente comparado con un computador; en nuestro caso lo definimos basándonos en atributos de brillo, tono, saturación, etc. Por otro lado, un computador usa cantidades de emisiones fosfóricas de rojo, azul y verde, para hacer coincidir un color.

De igual modo, un color es especificado usando tres coordenadas, las cuales describen su posición dentro del espacio de color. Entre los espacios de color más conocidos están (ver tabla 2) [15].

Espacios de Color	
RGB	Red Green Blue
CMYK	Cyan Magenta Yellow Black
HSL	Hue Saturation and Lightness
YIQ, YUV, YCbCr, YCC	Luminance – Crominance

Tabla 2: Espacios de Color y sus siglas

#### 3.4.1. Espacio de Color RGB

Este espacio de color, está basado en la teoría tricromática. En la cual los colores se pueden igualar, tras superponer 3 fuentes de luz de los colores primarios, a lo que se denomina como mezcla aditiva. Es muy usado en sistemas para televisión, video, etc. Como se muestra en el siguiente diagrama, cada color está representado por coordenadas en X Y Z. La notación depende si es aritmética, porcentual, 8 bits o 16 bits, para este caso la notación es aritmética [15, 16].

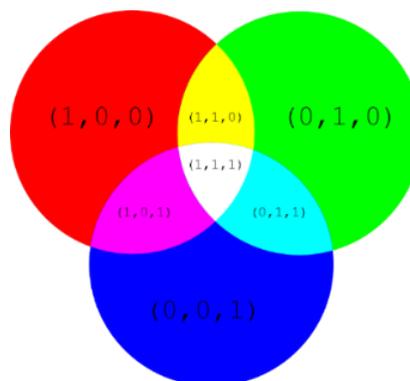


Fig. 9. Representación visual del espacio de color RGB con su notación aritmética.

### 3.4.2. Espacio de Color YUV

Describe un color usando componentes de luminancia ( $Y$ ) y crominancia ( $UV$ ). La luminancia simboliza la información de brillo y proporciona una imagen en escala de grises, la crominancia contiene las diferencias de color. Este espacio de color es basado en las características de visión humana. También es un espacio análogo para sistemas de televisión NTSC y PAL [16].

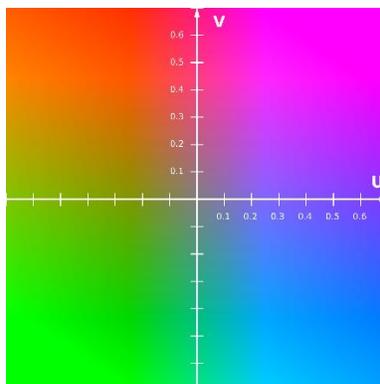


Fig. 10. Representación visual del espacio de color YUV, donde se tiene un plano U-V, y el valor de Y está representado en una gama de colores RGB

## 3.5. Detección de Movimiento

La detección de movimiento es la capacidad que tiene un sistema de encontrar y detectar el movimiento y capturar sus eventos, además, es un proceso muy importante en aplicaciones de visión artificial, como videos de seguridad, monitoreo de tráfico, entre otras [17, 41].

### 3.5.1. Sigma Delta

El método propuesto por Manzanera [17] es el Sigma-Delta. El cual se usa inicialmente con una cámara inmóvil, esto con el fin de construir un modelo de la escena estática y compararlo con todos los fotogramas para separar el movimiento por regiones del fondo.

La dificultad al encontrar el algoritmo de sustracción del fondo, según Manzanera obliga a que:

- El sistema debe mantenerse trabajando sin interacción humana por un largo tiempo. Igualmente debe tener en cuenta cambios repentinos en el video, como variación de iluminación o nuevos objetos estáticos en la escena. Esto significa que el fondo debe ser temporalmente adaptativo.

- El sistema debe ser capaz de descartar movimiento irrelevante. Por ejemplo, arbustos o agua. Este debería también ser robusto para encontrar diferencias de oscilación de la cámara.
- El sistema debe ser en tiempo real, compacto y de bajo poder, así los algoritmos no deben usar muchos recursos, en términos de memoria y poder de cómputo.

El método de detección de movimiento Sigma-Delta, cuenta con una serie de pasos para su correcto funcionamiento [17].

1. El proceso de inicialización, es determinado al tener un video pre-procesado, al cual se le asigna el primer parámetro ' $I$ '. A partir de esa entrada, se determina el parámetro ' $M$ ' tomada como el valor estimado de fondo y está definido como:

$$M = \text{sgn}(I) = \begin{cases} -1 & a < 0 \\ 1 & a > 0 \\ 0 & a = 0 \end{cases} \quad (2)$$

De esta forma al tomar la función ' $\text{sgn}$ ', la cual retorna tres valores de filtrado del video. Dependiendo el valor de sus entradas ' $M$ ' es definida también como una aproximación de la mediana de ' $I$ '.

2. Para encontrar la medida de diferencia entre el fondo y el movimiento, se aplica una diferencia absoluta para cada fotograma.

$$\Delta = |I - M| \quad (3)$$

3. El valor importante para que este algoritmo sea robusto es el proceso de actualización, sin importar cambios relevantes en iluminación, color, ruido, etc. Este proceso de actualización es realizado mediante el uso de una ecuación que calcula la desviación estándar " $V$ " de los datos previamente diferenciados. La actualización decide cuales pixeles son movimiento o son estacionarios, a lo largo del tiempo.
4. Finalmente la detección de movimiento es mostrada, haciendo una comparación entre  $\Delta$  y  $V$ .

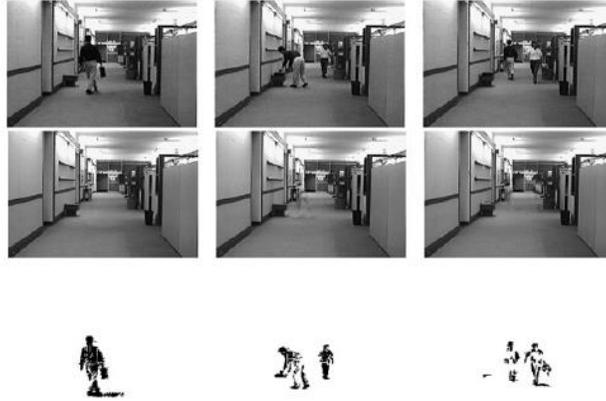


Fig. 11: Resultados obtenidos por Manzanera usando Sigma-Delta

Para determinar si existe movimiento, Manzanera [17], propone tomar un píxel, y graficarlo a lo largo del tiempo. Las distintas variaciones de las gráficas determinarán si existe o no el movimiento. Para este caso se muestran dos gráficas que representan el caso cuando no hay movimiento y cuando si lo hay. Esto se determina tomando las variaciones entre la diferencia absoluta y la actualización, es decir, si la señal que identifica la diferencia absoluta se encuentra por encima de la señal del proceso de actualización, el algoritmo determina que hay movimiento.

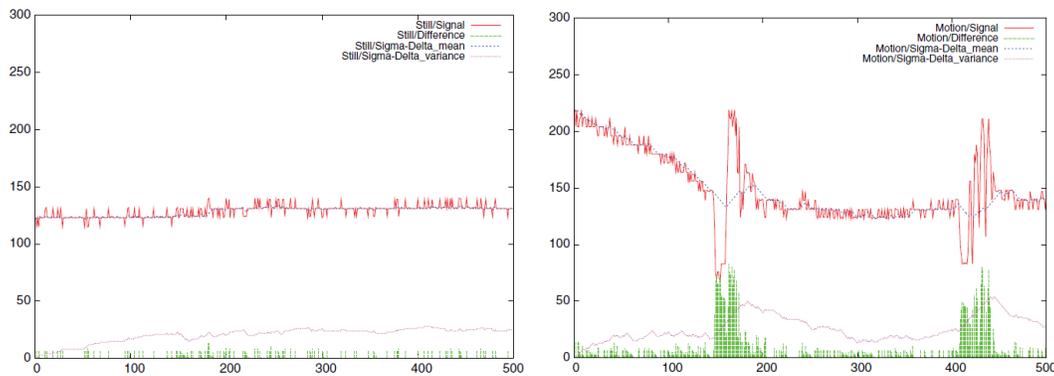


Fig. 12. Señales obtenidas por Manzanera al tomar un píxel a través del tiempo y mostrar sus cambios. Si hay picos de diferencia abruptos, se determina que hay movimiento, en el caso de la gráfica izquierda no hay movimiento, y la derecha sí.

### 3.5.2. Change Detection Mask

Este método de detección de movimiento identifica y analiza regiones que han tenido cambios espaciales o espectrales. Change Detection Mask realiza una comparación entre los fotogramas anteriores y el fotograma actual, sin embargo, es solo aplicado a videos estáticos. Igualmente no debe haber variaciones fuertes de luz, sombra, ruido, ya que el algoritmo no se actualiza de acuerdo a dichos cambios. Posteriormente se hace una estimación del fondo

para separarlo del objeto. En tercer lugar se realiza un proceso de umbralización, haciendo una ‘diferenciación’ entre los pixeles que se identificaron como fondo y los que no, para finalmente generar un mascara de la silueta de la persona u objeto que se desea analizar [41].

### 3.6. Principal Component Analysis (PCA)

Según Jolliffe [29], PCA es un método para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos conformados por una gran cantidad de números y variables. Es ampliamente usado para el manejo y procesado de grandes datos estadísticos. La forma como funciona PCA, es proyectando los datos a un nuevo subespacio, manteniendo la misma relación en el nuevo conjunto de datos, es decir, que la medida de dispersión de dichos datos no sea alterada. Por ejemplo, si se posee un vector  $x$  con cierta cantidad de variables aleatorias y una estructura de covarianza o correlación tendiendo a un patrón, se podría mapear los datos en un nuevo conjunto, como se explica en la Figura 13.

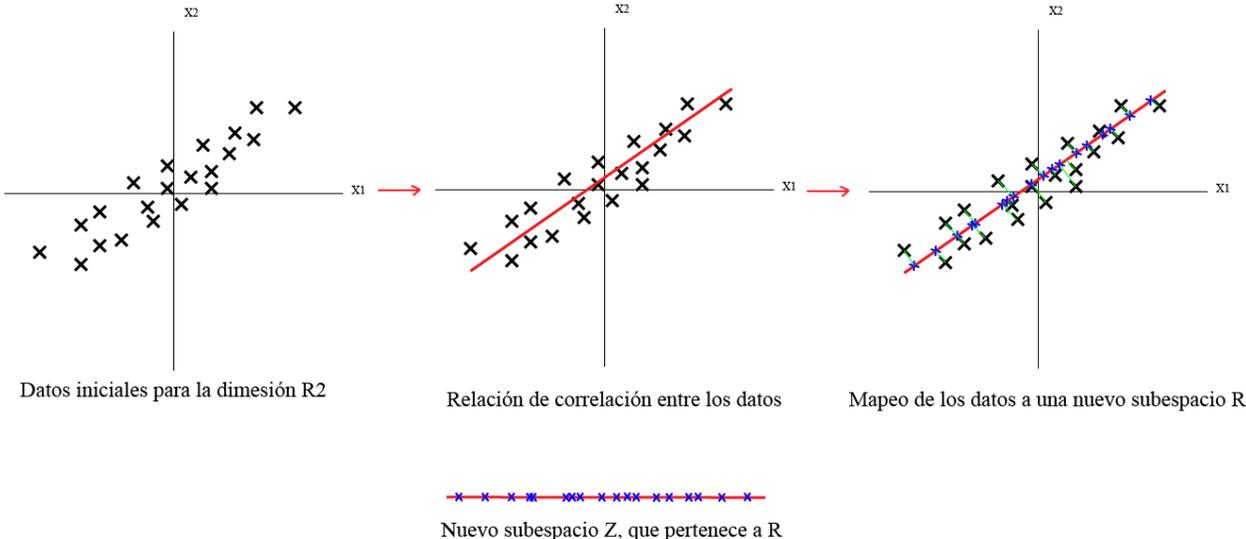


Fig. 13. Ejemplificación de PCA

Según la gráfica anterior, se tiene un conjunto de datos en dimensión  $R2$  y se proyectan los datos a un subespacio  $Z$  de una dimensión.

PCA es usado con diferentes propósitos, ya que por un lado maximiza la varianza de proyección de los datos para cada componente, y por otro lado reduce el índice de errores de re reconstrucción, es decir la distancia entre los datos originales y su proyección estimada [21].

Blei [21], ejemplifica PCA de la siguiente manera: Por ejemplo dados unos puntos:

$$x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathbb{R}^p$$

Define la proyección o reconstrucción de los datos en el espacio  $\mathbb{R}^q$  al espacio  $\mathbb{R}^p$  como

$$f(\lambda) = \mu + v_q \lambda \tag{4}$$

Siendo (Lambdas)  $\lambda \in \mathbb{R}^q$  los datos de la nueva dimensionalidad proyectada, y  $v_q$  la matriz resultante de  $p \times q$  Tomando a  $q$  como una matriz de vectores propios.

Un factor importante al hacer procesos de reducción de dimensionalidad es minimizar el proceso de reconstrucción de los datos para ello se toma la siguiente sumatoria.

$$\min \sum_{n=1}^N \|x_n - \mu - v_q \lambda_n\| \tag{5}$$

Siendo  $\mu$  el punto de intersección entre el subespacio y el espacio original. A partir de lo anterior, se define un plano  $\mathbb{R}^p$  usando  $v_q$  y  $\mu$ , como se aprecia en la figura 14. La cual representa la proyección de varios puntos  $x$ , los cuales son proyectados al nuevo subespacio [21, 29]:

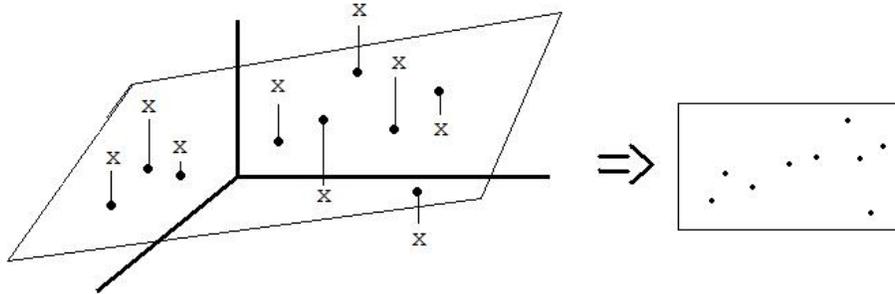


Fig. 14. Proyección de datos  $\mathbb{R}^3$  a  $\mathbb{R}^2$ , realizada por Blei

# Capítulo 4

## Planteamiento del Método

**RESUMEN:** En este capítulo se presenta la hipótesis planteada, para el análisis del movimiento de los pies y todos los pasos para desarrollar el método.

Este trabajo plantea una hipótesis, tomando un video de entrada, con movimientos preestablecidos de las piernas, para extraer y analizar los perfiles de movimiento de los objetos. Con el objetivo de convertirlo en un sonido rítmico. A partir de dicha hipótesis general y teniendo en cuenta el estado del arte actual en técnicas de análisis de movimiento, visión por computador y procesamiento de señales; se busca implementar una aplicación que permita validar esta hipótesis. Para ello se definen una serie de procesos en cascada, que determinan la estructura del método, estos pueden ser vistos en la tabla 3.

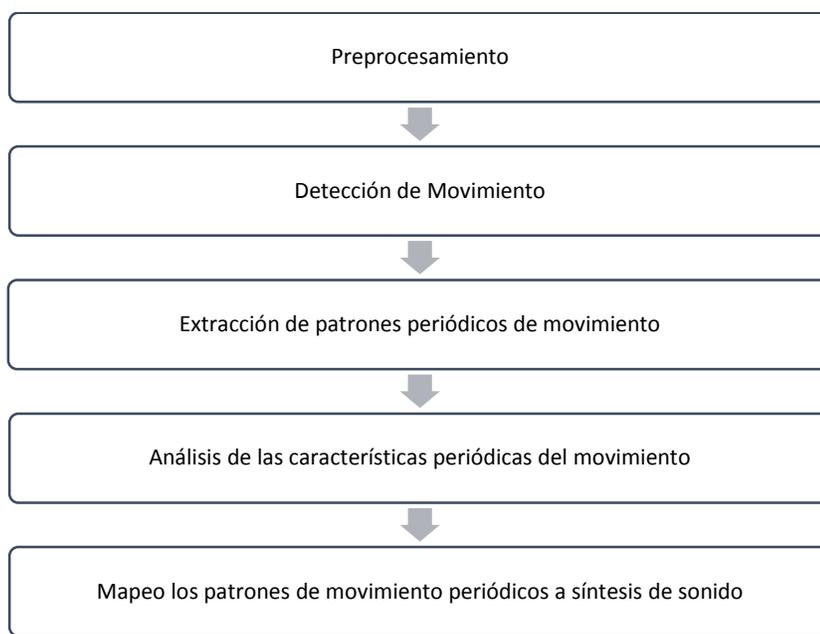


Tabla 3: Flujo del método propuesto

El método planteado busca realizar una exploración en nuevas técnicas de análisis de movimiento, el flujo del método comienza con el Pre-procesamiento del video. Posteriormente se realiza la detección de movimiento, separando el fondo de la persona. Una vez realizada la detección se extrae el movimiento del video, por medio de análisis de histogramas para todos los fotogramas.

Sin embargo el proyecto se ha desarrollado en versiones iterativas, en cada se aumenta la complejidad del método para avanzar en la solución del problema. A continuación se presentan los procesos que enmarcan la hipótesis planteada y su correspondiente descripción.

## 4.1. Pre-Procesamiento

Partiendo de un video de entrada, se realizan operaciones de filtrado y de transformación de color del video para permitir más fácilmente la detección de los objetos en movimiento. Para la transformación de color se toman las matrices de RGB y la de YUV, se multiplica la matriz RGB por la luminancia de YUV para recrear una escala de grises.

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (6)$$

Se necesita hallar la luminancia, para ello se multiplica RGB por la primera fila de la matriz de YUV.

$$[Y] = [0.299 \quad 0.587 \quad 0.114] \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (7)$$

Finalmente se obtiene la imagen original en escala de grises (ver figura 15).

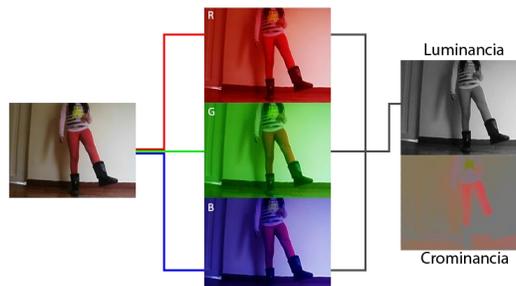


Fig. 15: Diagrama de flujo de transformación de color

Adicional a este proceso se realiza un proceso de filtrado del video para eliminar ruido, para ello se usa el filtro Mediana. La cual Gonzales [28] define como un filtro no linear que funciona reemplazando el valor de la mediana del valor de intensidad de un pixel en los vecinos de este. En este caso se usan tamaños de filtros desde  $3 \times 3$  hasta  $9 \times 9$  pixeles dependiendo el video de entrada.

## 4.2. Detección de Movimiento

En el proceso de detección de movimiento se identifican y emplean algoritmos robustos de detección y segmentación de objetos en movimiento, adaptados a las necesidades del proyecto. El algoritmo tomado como principio es el Sigma Delta, propuesto por Manzanera [17]. Para implementarlo primero se tiene en cuenta un entorno controlado, para evitar inconvenientes con cambios de iluminación, ruido, detecciones falsas de movimiento, el proceso de inicialización es presentado como:

### ***Inicialización***

*Para cada pixel  $x$*

$$M_0(x) = I_0(x) \tag{8}$$

El proceso primordial es hacer una diferencia entre todos los fotogramas del video y el fondo con el fin de extraer el fondo del objeto segmentado.

### ***Para cada fotograma $t$***

*Para cada pixel  $x$*

$$\Delta_t(x) = |M_0(x) - I_t(x)| \tag{9}$$

Finalmente se debe hacer un proceso de umbralización para hacer un renderizado de la detección.

### ***Para cada fotograma $t$***

*Para cada pixel  $x$*

$$D_t(x) = I_t(x) < \Delta_t(x) \tag{10}$$

De esta forma se extrae el objeto, para este caso, la referencia es un video de las piernas de una persona bailando. En ciertos videos el algoritmo presenta algunas detecciones erróneas, sin embargo estas no interfieren con el análisis posterior del video. En la figura 16, se presentan algunos resultados de la detección de movimiento.



Fig. 16: Resultados Detección de Movimiento de la secuencia de una persona realizando un movimiento

### 4.3. Extracción de patrones periódicos de movimiento

Una vez segmentado el video, se necesita encontrar el patrón que determine el paso de baile realizado. Se propone un método el cual analiza el video para todos los fotogramas. Para dicho efecto el método realiza una extracción de los perfiles periódicos del paso de baile haciendo una sumatoria de los pixeles tanto en X como en Y, este proceso es ilustrado en la figura 17.

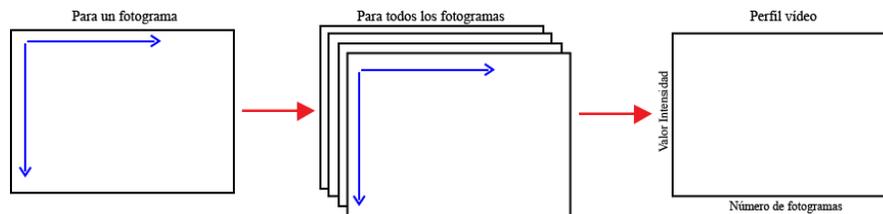


Fig.17. Representación de la sumatoria de perfiles para 1 y para todos los fotogramas para obtener una imagen con los valores de las sumatorias

Posteriormente a este proceso se realiza un proceso de normalizado para poder hacer un análisis de dichos patrones, recreando una imagen con los datos extraídos del perfilado del video. El resultado es la imagen con el valor de la intensidad obtenido por cada fotograma y los patrones periódicos extraídos del video.

### 4.4. Análisis de las características periódicas del movimiento

Después de obtener una imagen con el patrón de movimiento, se realiza una reducción de dimensionalidad con el fin de obtener una señal unidimensional que representa el perfil del movimiento. Para esto se implementa PCA, teniendo como base la imagen de perfiles creada, y basado en un ejemplo para un paso de baile realizado. Se cuenta con una imagen normalizada, creada con los patrones periódicos del movimiento extraídos a un paso de baile. Los colores de la imagen representan el valor de intensidad, es decir, que los colores que tienden al rojo simbolizan una gran cantidad de movimiento de la persona. En este caso (ver figura 17) en el perfilado del eje X (izquierda), gran parte del movimiento se centra en la parte superior de la imagen, esto debido a que la cadera de la persona que realizó el paso se mantuvo constantemente en el mismo lugar. Esto no sucede con las piernas, ya que la imagen

muestra colores azules, que representan poco movimiento. De igual forma la imagen de perfiles en Y (derecha), presenta colores tendiendo al rojo pero en este caso estos colores representan el patrón del movimiento del cuerpo, para el paso de baile.

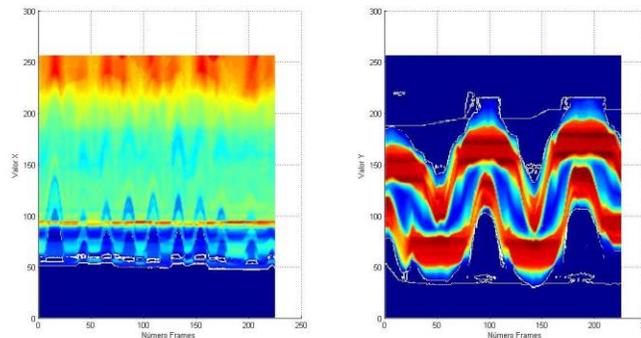


Fig. 18. Representación 2D de imagen normalizada, con los patrones de movimiento

La imagen consta de 3 parámetros:  $(x, y, z)$  es decir *número de fotogramas*, *valor del perfil* e *intensidad del pixel* respectivamente, de acuerdo a esto la imagen puede ser descrita como una imagen en 3D con dichos parámetros. Cuando se realiza un proceso de reducción de dimensionalidad como el de este caso, los datos que contiene la imagen son mapeados a un plano 2D, para el ejemplo se proyectan los datos de la intensidad y del número de fotogramas, suprimiendo el valor de perfil.

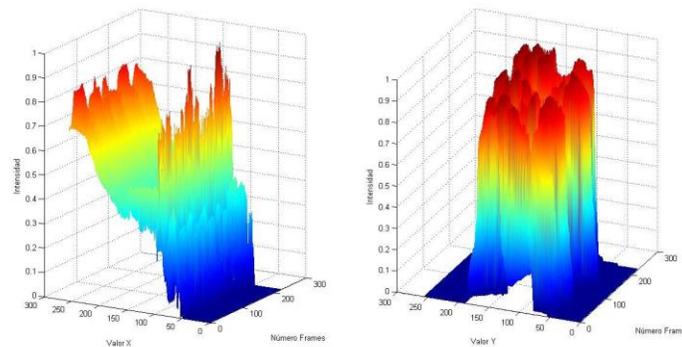


Fig. 19. Representación 3D de imagen normalizada, con patrones de movimiento

Al finalizar este proceso de la implementación de PCA, se cuenta con una señal a la cual se le realizan procesos de filtrado y suavizado de la señal (ver Figura 20).

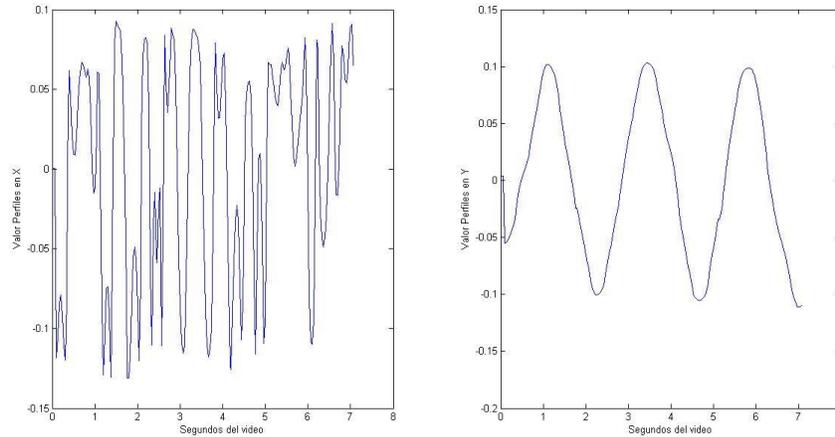


Fig. 20. Representación señal reducida con PCA

El valor real de la periodicidad de la señal es extraída en el perfilado del video para el eje Y, la cual presenta una señal más suavizada y en la que se puede apreciar el mismo patrón que existe en la imagen hecha anteriormente (ver figura 18). Para hacer el análisis de dicha señal, esta se debe hacer desde el dominio de la frecuencia y apoyados en la Transformada de Fourier, con el fin de encontrar el valor de la frecuencia fundamental, es decir la menor frecuencia de la señal y si es el caso encontrar sus diferentes armónicos con los cuales se pueda determinar el valor de la periodicidad del movimiento.

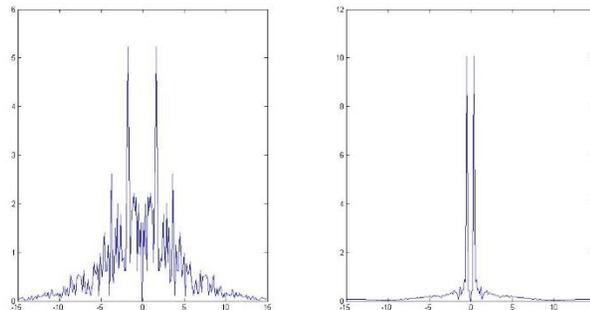


Fig. 21. Representación señal en el dominio de la frecuencia

En la figura 20, se muestra el resultado de la representación de la señal en el dominio de la frecuencia.

## 4.5. Mapeo los patrones de movimiento periódicos a síntesis de sonido

Una vez obtenidos los resultados del análisis frecuencial, se procede a hacer una producción del sonido por cada ciclo de dicha señal por medio de técnicas de síntesis de voz. En este caso se toma un audio entrante y se convoluciona con un tren de impulsos teniendo los parámetros extraídos del análisis frecuencial. Con el fin de obtener un patrón rítmico del sonido de acuerdo a los parámetros del video de entrada. Para esta parte se tiene en cuenta varios sonidos clave en algunos géneros musicales, los cuales son cargados y reproducidos según los parámetros establecidos.

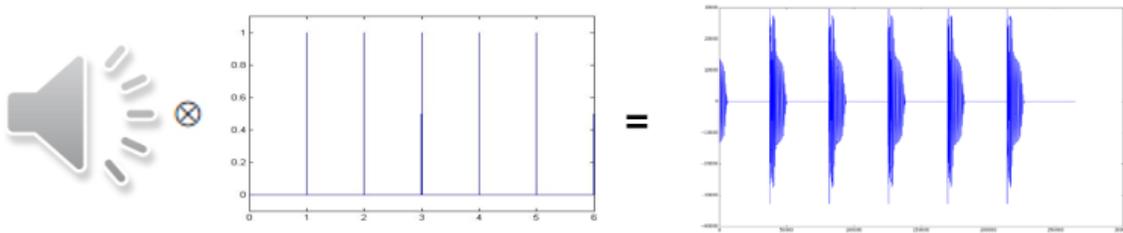


Fig. 22. Representación convolución sonido entrante y tren de impulsos

Si desde la detección de movimiento no se realiza una segmentación correcta del paso, los resultados se verán reflejados al hacer el análisis de la señal, ya que datos innecesarios pueden ser analizados y el valor de la periodicidad llegue a ser muy diferente a la verdadera. Es por ello que desde el video de entrada se propone un video sin muchos cambios drásticos y que esté en buena calidad, para que la detección de movimiento provea un objeto correctamente segmentado y poder analizar el movimiento de una buena manera.

# Capítulo 5

## Descripción del Sistema

**RESUMEN:** En este capítulo la descripción detallada del sistema, con sus componentes principales, así como sus módulos, además se muestra el desarrollo de la interfaz de usuario de la aplicación.

### 5.1. Introducción

El sistema funciona con la intención de brindar una retroalimentación al usuario y de acuerdo al método planteado en el Capítulo 4, para analizar el movimiento de las piernas por medio de una aplicación web interactiva. Para eso se opta por hacer que el usuario trate de imitar ciertos pasos de baile preestablecidos, haciendo una comparación entre sus movimientos y los de los personajes de la aplicación, así mismo el sistema está dividido 3 módulos principales, estos son:

1. **Módulo de Aprendizaje:** Encargado de brindar la información necesaria al usuario sobre el uso del sistema y los pasos de baile que debe tratar de imitar hechos por un avatar o personaje animado.
2. **Módulo de Ejecución:** Encargado de ayudar al usuario en el proceso de ejecución del paso de baile aprendido previamente. El usuario tendrá la posibilidad de grabarse haciendo el movimiento, luego subir el vídeo al sistema para posteriormente ser analizado y procesado por este.
3. **Módulo de Evaluación:** Encargado de mostrarle al usuario la retroalimentación necesaria para poder asimilar la efectividad del movimiento. Después de procesar el vídeo, un personaje animado del sistema realiza el mismo paso previamente realizado por la persona. El movimiento del personaje debe ser similar en cuanto a velocidad y tipo de paso. Además, debe generar un sonido acorde a la velocidad del movimiento. De igual

manera, el sonido generado, es acompañado de una base rítmica que sirve de eje de referencia.

Por otro parte, dadas las características del proyecto como el corto lapso de tiempo en la ejecución. Se considera usar una metodología ágil para el proceso de desarrollo de la aplicación, la cual permite un desarrollo más eficiente en un menor tiempo. Igualmente se define un conjunto de requerimientos funcionales, los cuales son estrictamente agrupados por iteraciones, las cuales cuentan con un tiempo establecido para el desarrollo de todos los requerimientos. Cada iteración es un gran aporte al proceso de culminar el producto, de esta manera cada una busca aumentar la complejidad del problema.

En el caso de este trabajo, la primera iteración fue diseñar el método para que funcionara en videos de movimientos uniformes de objetos simples como por ejemplo un péndulo, o una pelota rebotando, todos ellos realizados en computador.

Para la segunda iteración se abordó el problema desde una perspectiva más compleja ya que se tomaron videos grabados de movimientos simples de los pies, además se perfeccionaron los procesos del método y se generó la aplicación.

## 5.2. Modelo del Sistema

Dado que el producto final es un prototipo de aplicación interactiva, se opta por desarrollar una aplicación web que a largo plazo pueda ser escalable. Por tal razón se usa el método Modelo Vista Controlador (MVC), en el cual todos los componentes de la aplicación están separados, pero se conectan el uno al otro de tal modo que no se requiera gran procesamiento. Este método se compone de un *modelo* con los datos y la funcionalidad de la aplicación, una *vista* que gestiona la visualización de dichos datos y un *controlador* para las modificaciones a los modelos al estar relacionado con la *vista* [36].

El modelo del sistema representado en la figura 23 y está dividido en dos partes: Procesos del cliente y Procesos para el servidor.

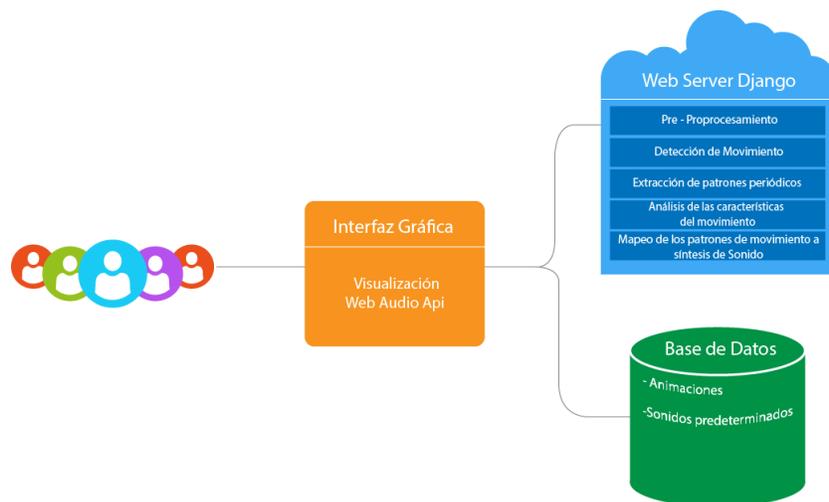


Fig. 23. Representación del modelo general de la aplicación

### 5.2.1. Procesos del Cliente

Los procesos del lado del cliente están basados en tecnologías web para la construcción de la interfaz gráfica de usuario, además cumple la función de recibir y mostrar los datos del usuario, como por ejemplo cuando el usuario sube un video a la aplicación para que sea procesado. Un proceso importante llevado a cabo desde el lado del cliente, es el proceso de la generación de sonidos por parte de la aplicación. Debido a que la transferencia de datos entre Cliente y Servidor no es lo suficientemente rápida para dar una mejor experiencia de usuario, se decide usar un método llamado Web Audio Api, con el cual se procesa el audio de una manera más rápida y efectiva. El propósito de igual manera, es cargar sonidos de bases rítmicas y que suenen al mismo tiempo que los sonidos generados por el método propuesto en el Capítulo 4, y con el cual el usuario comprenda cuando hace un paso más rápido o más lento, cuando esté desfasado de la base rítmica.

### 5.2.2. Procesos del Servidor

Los procesos del lado del servidor procesan la información enviada desde el lado del cliente, de acuerdo a peticiones y respuestas hechas de lado a lado. El servidor está hecho en Django, el cual es un framework para el desarrollo de sitios web de una forma fácil y rápida, basados en el lenguaje de programación Python.

En el servidor está la lógica de la aplicación, es decir, el método propuesto para el análisis de los videos. De igual forma, este contiene la base de datos compuestas principalmente de animaciones preestablecidas como la de los personajes de la aplicación y los sonidos por defecto. Igualmente permite también el almacenamiento temporal de los videos cargados por el usuario, los cuales, cuando son subidos por el usuario son almacenados en una *url* para después hacer su respectivo llamado y análisis.

## 5.3. Casos de Uso

El sistema está dividido en 3 módulos y para cada módulo se diseñaron sus respectivos casos de uso, cuyo diagrama se puede observar en la figura 24 y sus especificaciones son presentadas en el apéndice A.

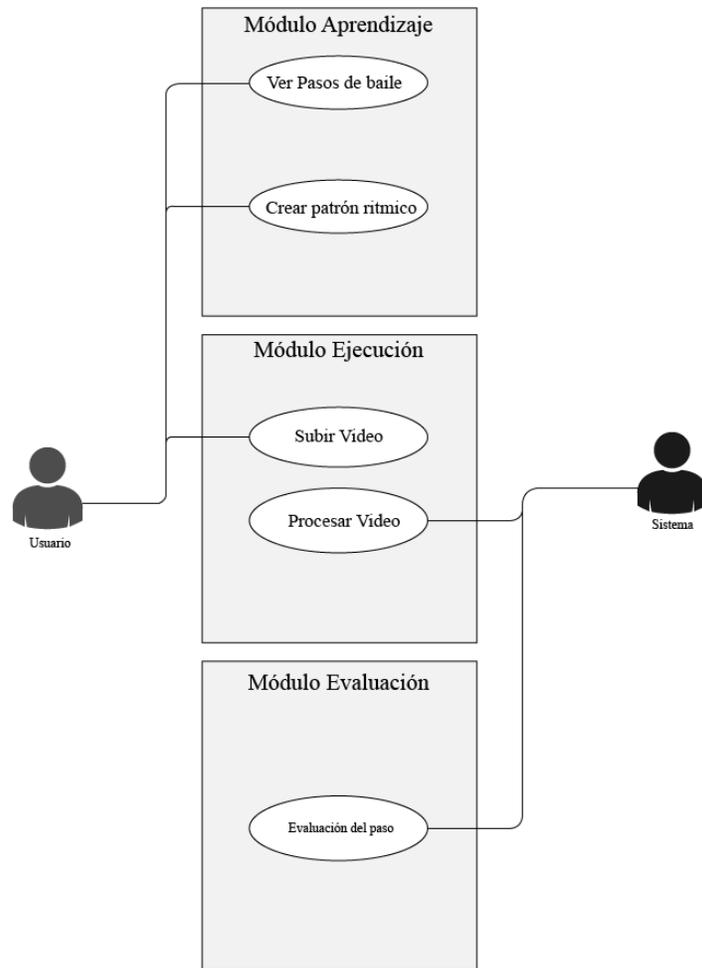


Fig. 24. Diagrama de los casos de uso del sistema

## 5.4. Diagrama de Flujo

El flujo general del sistema inicia cuando la persona abre la aplicación y despliega el banner de instrucciones en donde se detalla todo el contenido. Luego el usuario selecciona el paso de baile que desea aprender, lo ve las veces que sea necesario y posteriormente realiza el movimiento. El usuario debe subir un vídeo con dicho movimiento para ser procesado. Finalmente un personaje animado realiza el movimiento de la persona con unos parámetros establecidos en el vídeo subido. En la figura 25, se explica este proceso.

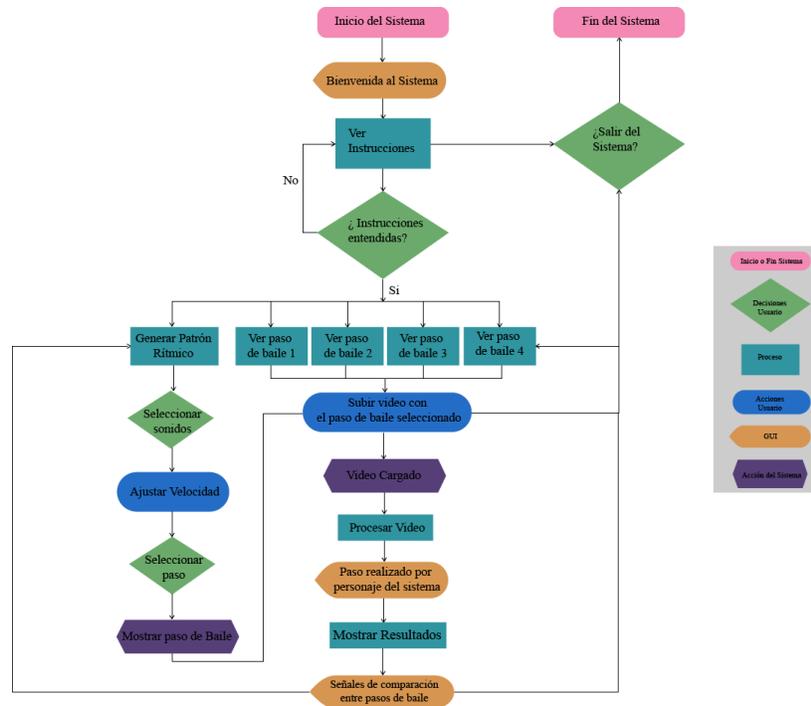


Fig. 25. Flujo general del sistema

## 5.5. Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica, se planteó para visualización web, ya que originalmente el proyecto se desarrolló en Matlab, posteriormente se migra el proyecto a Python para hacer la visualización con el web framework Django.

Se desarrollan dos personajes o avatares con el fin de brindar una interfaz agradable al usuario.

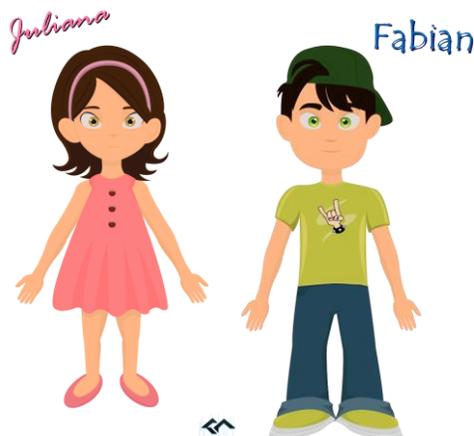


Fig. 26. Personajes de la aplicación

De igual forma se diseña una interfaz gráfica sencilla, en la cual el usuario entienda el flujo del sistema y se puedan evidenciar los resultados más fácilmente.

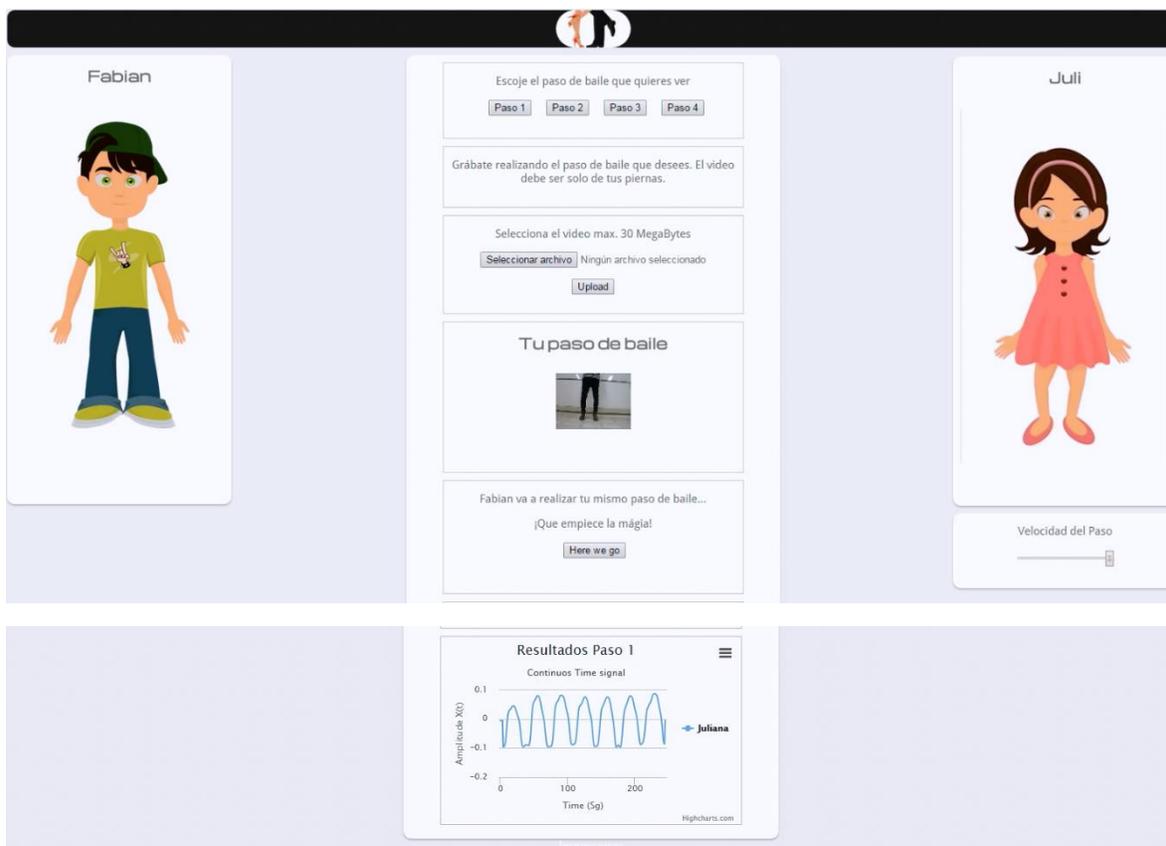


Fig. 27. Pantalla aplicación llamada “Rhythm Machine”

## 5.6. Módulo de aprendizaje

Tiene como objetivo permitir al usuario ver los pasos de baile predeterminados, brindando la posibilidad de escoger el paso y escuchar el sonido (beat) perfectamente sincronizado a la base rítmica. Además, el usuario puede crear su propio patrón rítmico con ayuda de un Pad con el que cuenta la aplicación. Este módulo cuenta con dos casos de uso, que se pueden ver en el apéndice A.1. También se puede observar el diagrama de casos de uso a continuación.

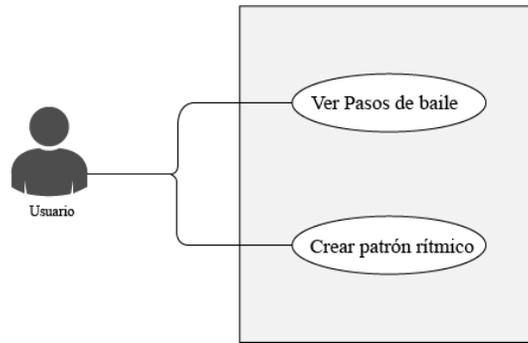


Fig. 28: Diagrama de casos de uso módulo de Aprendizaje.

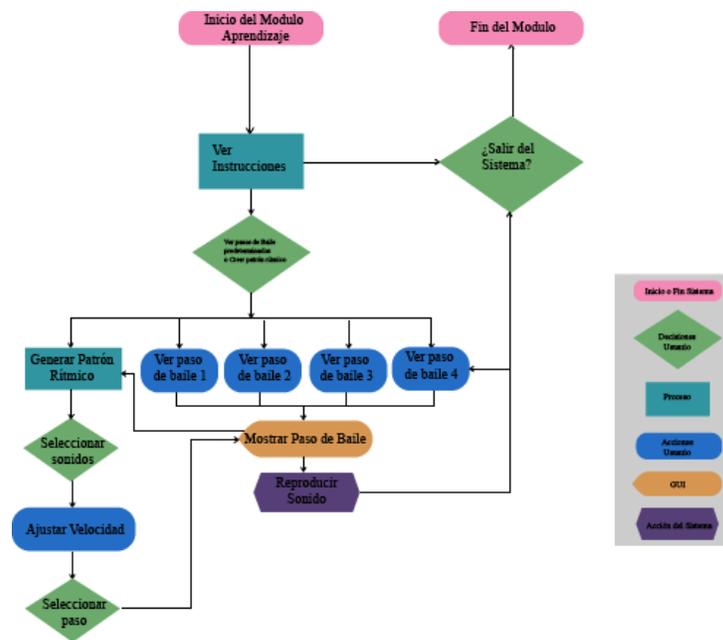


Fig. 29: Flujo Modulo Aprendizaje



Fig. 30: Interfaz gráfica Modelo Aprendizaje

## 5.7. Módulo de Ejecución

Tiene como objetivo dar la posibilidad al usuario, una vez se haya visto el paso de baile. Subir un video con el paso de baile realizado, para que el sistema pueda analizar el movimiento de la persona. Este módulo cuenta con 2 casos de uso, especificados en el apéndice A.2. El diagrama de casos de uso se puede observar a continuación.

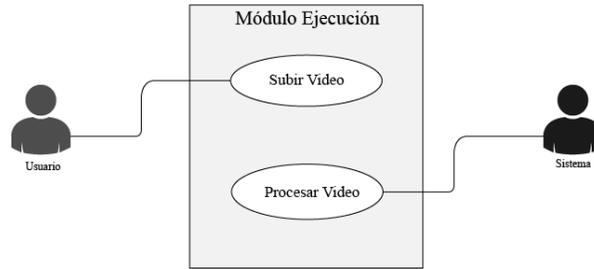


Fig. 31: Diagrama de casos de uso módulo de Ejecución

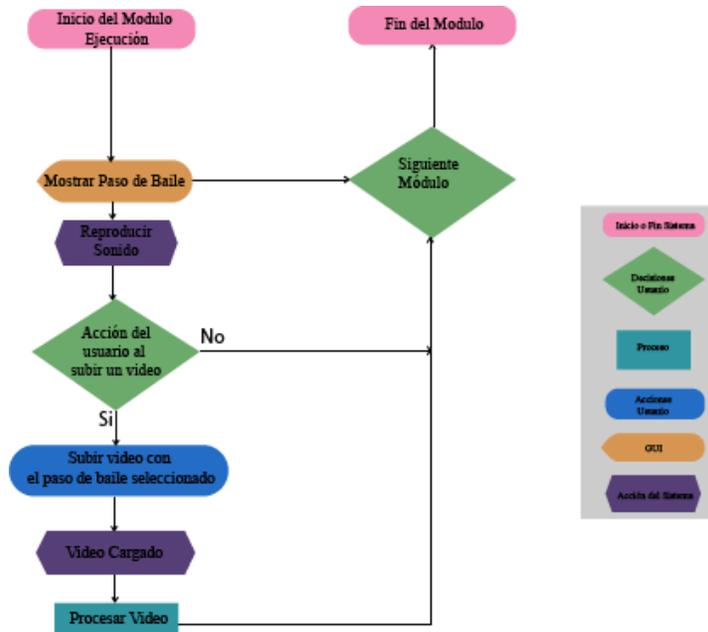


Fig. 32: Flujo Modulo Ejecución

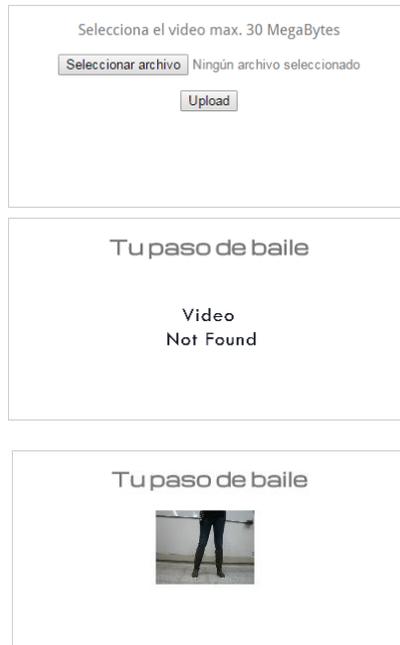


Fig. 33: Interfaz gráfica Modelo Ejecución

## 5.8. Módulo de Evaluación

Tiene como objetivo brindar una retroalimentación al usuario, mediante la animación de un personaje 2D, el cual realiza el mismo paso efectuado por la persona. En objetivo es mantener la velocidad del movimiento, además, de acompañar el movimiento con un sonido acorde a esa acción realizada. Por lo tanto, si el ritmo de la persona, no es parecido al del personaje de ejemplificación, sonará desfasado en comparación con la base rítmica, además este módulo muestra un mensaje que permite que la retroalimentación sea entendida por el usuario. Este módulo cuenta con 1 caso de uso, explicado en el apéndice A.3. Se puede observar el diagrama de casos de uso a continuación.

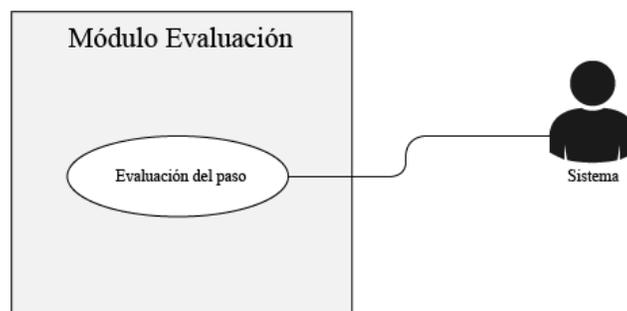


Fig. 34: Diagrama de casos de uso módulo de Ejecución



Fig. 35: Flujo Modulo Ejecución



Fig. 36: Interfaz gráfica Modelo Ejecución en el caso que se haya hecho más rápido el movimiento

## 5.9. Definición de Reglas

En esta sección se presentan los pasos de baile base escogidos, de acuerdo al análisis en el estado del arte de pasos de baile para varios géneros latinos y los sonidos para el funcionamiento del sistema, los videos los pueden encontrar en la carpeta *Videos Animación*.

### 5.9.1. Pasos de Baile

#### 1. Pie derecho/izquierdo al lado

Este movimiento se caracteriza por llevar el pie derecho o izquierdo al lado, luego retornarlo a la posición inicial y repetir el proceso. Se tomó este paso básico ya que es un buen punto de partida al momento de diferenciar los pasos, además con este movimiento se pueden marcar los tiempos más fácilmente. Para esta ejemplificación el personaje hace el movimiento con el pie derecho.

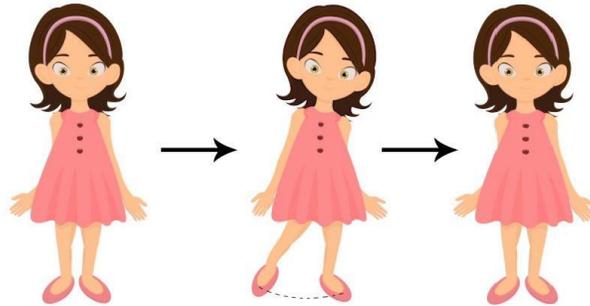


Fig. 37. Ejemplo paso 1 pierna derecha

## 2. Pie derecho/izquierdo levantado

Para este paso de baile la persona debe levantar el pie derecho o izquierdo, luego retornarlo a su posición original, y hacer varias repeticiones de este movimiento.

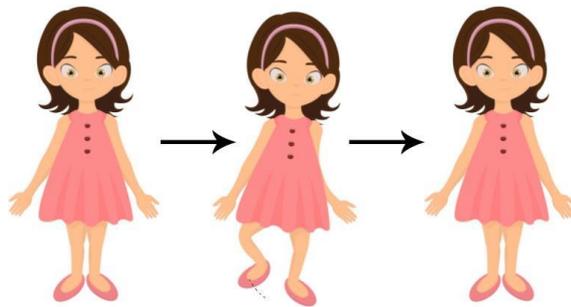


Fig. 38. Ejemplo paso 2 pierna derecha

## 3. Lado a lado

Este movimiento posee un nivel de dificultad mayor, ya que el usuario debe moverse de un lado a otro para poder hacer el paso correctamente. Primero el usuario debe mover el pie derecho y llevarlo al lado, luego apoyarse en ese pie para poder mover el pie izquierdo al lado derecho, finalmente retornar primero el pie izquierdo para apoyarse ahí y luego el pie derecho.

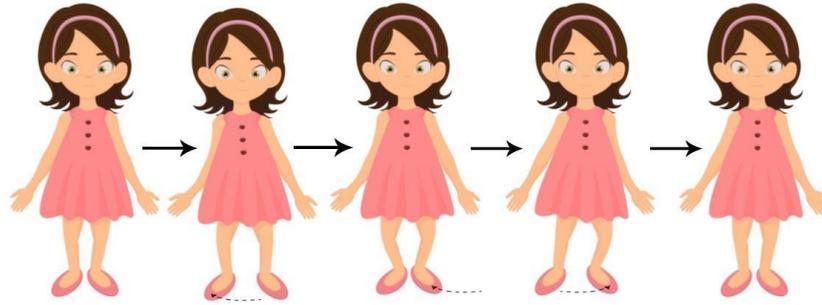


Fig. 39. Ejemplo paso 3

#### 4. Patada

Este paso brinda la capacidad de poderlo efectuar con mayor expresión rítmica, ya que inicialmente es un paso que contiene dos momentos. El primero es alternar entre pie derecho e izquierdo tocando con la media punta del pie la parte de adelante, posteriormente se efectúa la patada.

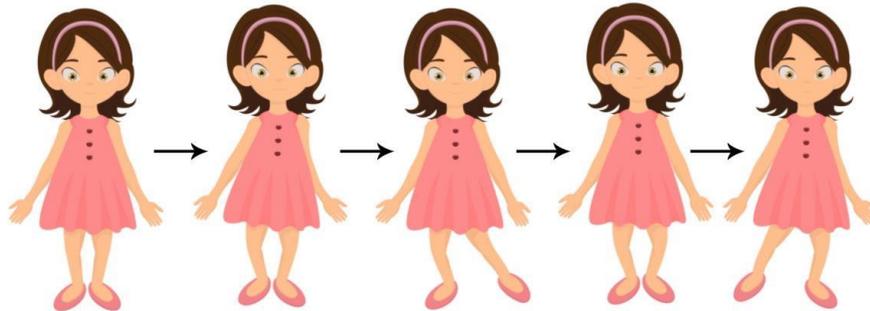


Fig. 40. Ejemplo paso 3

#### 5.9.2. Tipos de sonido

Según lo encontrado en la literatura [8, 9, 10], se definieron sonidos de géneros latinos para salsa y merengue debido a que son los más bailados en Latinoamérica [27] y a cada uno se anexa la base rítmica correspondiente. La base del merengue se encuentra en 120 beats por minuto y la de salsa a 94 bpm [36]. Los archivos fuente pueden ser encontrados en la carpeta *Audios*.

# Capítulo 6

## Evaluación

**RESUMEN:** En este capítulo se explica el método de evaluación del sistema por medio de análisis de precisión del método y el índice de error

### 6.1. Introducción

Las pruebas realizadas fueron hechas con el fin de determinar la efectividad del método y sus variaciones según cada persona. Estas pruebas no contemplan la efectividad de la aplicación en términos terapéuticos, sino la capacidad de incorporar los estímulos de manera coherente y funcional, para analizar los movimientos según cada persona. El objetivo principal de las pruebas es evaluar el sistema desde la perspectiva de la coherencia musical, es decir que el ritmo quede evidenciado por cada movimiento de la persona.

### 6.2. Diseño

Para el desarrollo de las pruebas se cuenta con una muestra de 12 personas de diferentes edades, las cuales realizan cuatro pasos de baile preestablecidos. Todos los videos de las pruebas son de 15 segundos máximo para optimizar en procesamiento. Los videos son grabados en un entorno controlado, además cada uno está a 30 fotogramas por segundo. Para determinar las distintas variaciones entre los movimientos, se usan fórmulas de medidas de dispersión para datos estadísticos como por ejemplo la Desviación Estándar, cuya definición es expresar la cantidad de variabilidad promedio en una distribución de datos. Es decir, que permite determinar la forma en que se distribuyen los datos comparados con la media, siendo  $n$  el número de muestras su ecuación es la siguiente [38].

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n}} \quad (11)$$

Por otra parte también se analizan los datos tomando en cuenta los valores esperados y los valores obtenidos, para ello se hace uso del estimador Error Cuadrático Medio (ECM), el

cual hace referencia al valor esperado comparado con la medida de error de los datos [39]. Su ecuación puede ser vista a continuación:

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2 \quad (12)$$

### 6.2.1. Prueba de Precisión

Estas pruebas se enfocan en medir la precisión de la hipótesis planteada, comparando los valores de control con los resultados del método, los valores de control son los valores esperados y los de la aplicación son los obtenidos. El objetivo es determinar en milisegundos el nivel de desfase de cada beat, comparado con el movimiento original. Para determinar los valores de control se realiza manualmente un proceso de asignación del sonido, en el lugar donde se espera que exista un movimiento marcado. Posteriormente, se verifica el método para cada movimiento y se comparan dichos resultados usando el Error Cuadrático Medio, para saber la diferencia entre dichos datos. La figura 41, ilustra el método de evaluación. Los resultados de esta prueba pueden ser apreciados en el Capítulo 7.1.

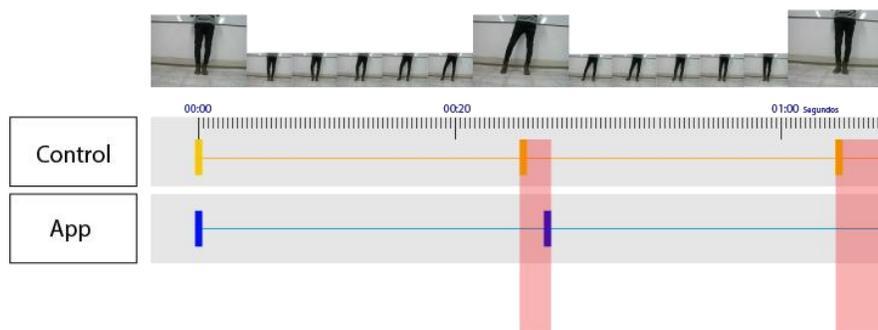


Fig. 41: Modelo de ejemplificación de pruebas de precisión

### 6.2.2. Evaluación de Usuario

Las pruebas de evaluación de usuario fueron hechas comparando los resultados obtenidos por cada persona al interactuar con la aplicación con valores de referencia preestablecidos, los cuales son hechos por un personaje creado para la aplicación. Los resultados de esta prueba se encuentran en el capítulo 7.2.

### 6.2.3. Experiencia de Usuario

Otro aspecto a evaluar es el nivel de retroalimentación que obtuvo el usuario, para ello se realizaron pruebas para medir la facilidad de uso de la interfaz y validar la respuesta por parte del sistema frente a diferentes pasos de baile. Al finalizar la interacción con la aplicación, al usuario se le preguntó. ¿Los sonidos que estas

escuchando por parte del personaje que realiza tu mismo paso, son acordes a tu movimiento? Los resultados de esta prueba se encuentran en el capítulo 7.3.

# Capítulo 7

## Resultados

**RESUMEN:** En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas realizadas, además los del trabajo de grado, comparando los objetivos planteados y los resultados obtenidos.

### 7.1. Resultados Prueba de Precisión

Tomando como referencia los valores estimados para cada movimiento y a partir de la implementación del Error Cuadrático Medio (ECM) se obtuvieron los siguientes resultados, en los que se resalta que cada barra representa la diferencia entre los valores estimados (valores predeterminados, es decir, donde debería sonar el beat) y los valores obtenidos por cada persona (donde suena el beat). Las diferencias se encuentran en milisegundos, es decir, que si la barra azul es muy pequeña el método es bastante preciso. De igual modo, entre más larga sea la barra azul, el método pierde precisión.

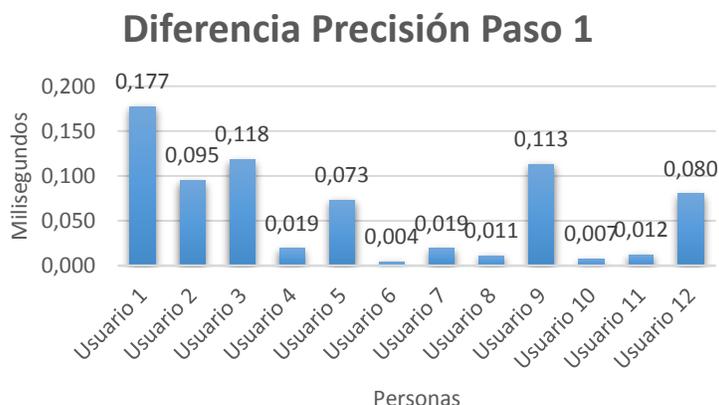


Fig. 42: Gráfico de la diferencia entre valores esperados y obtenidos para el paso 1

## Diferencia Precisión Paso 2

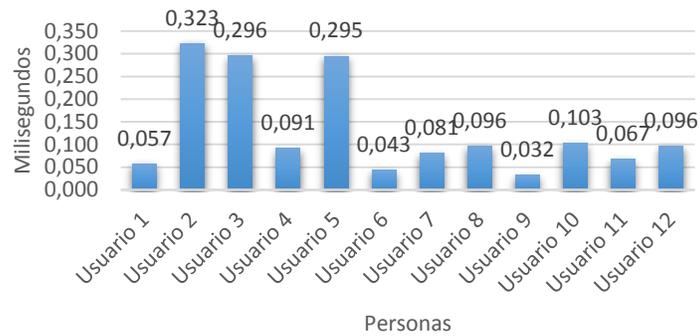


Fig. 43: Gráfico de la diferencia entre valores esperados y obtenidos para el paso 2

## Diferencia Precisión Paso 3

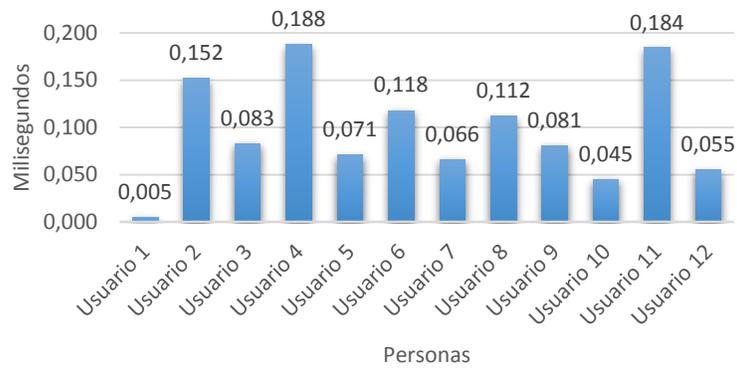


Fig. 44: Gráfico de la diferencia entre valores esperados y obtenidos para el paso 3

## Diferencia Precisión Paso 4

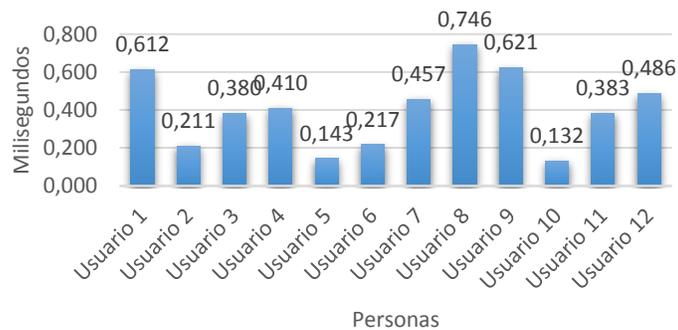


Fig. 45: Gráfico de la diferencia entre valores esperados y obtenidos para el paso 4

De igual manera, se analizaron los porcentajes de efectividad del método con respecto a los valores esperados, basados en la tabla No 3 de parámetros de evaluación.

Descripción	Parámetros
Efectividad Excelente	Entre 0 y 0,100 milisegundos
Efectividad Aceptable	Entre 0,101 y 0,200 milisegundos
Poca Efectividad	Entre 0,201 y 0,300 milisegundos
Efectividad Nula	Entre 0,301 o más milisegundos

Tabla 3: Parámetros de evaluación de precisión del método

### Efectividad Método Paso 1

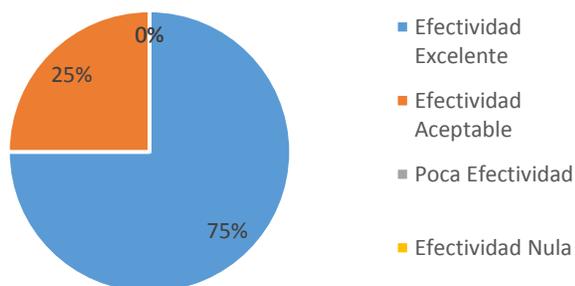


Fig. 46: Porcentaje de efectividad del método comparado con los valores esperados en el paso 1.

### Efectividad Método Paso 2

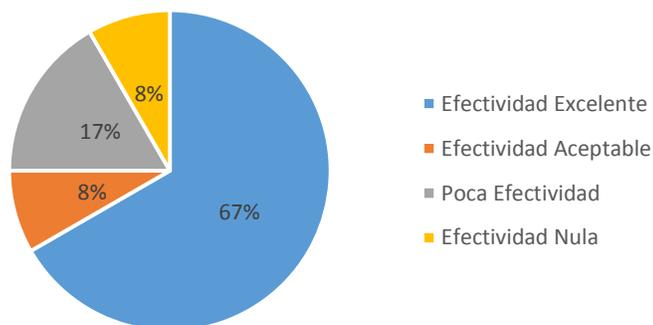


Fig. 47: Porcentaje de efectividad del método comparado con los valores esperados en el paso 2.

### Efectividad Método Paso 3

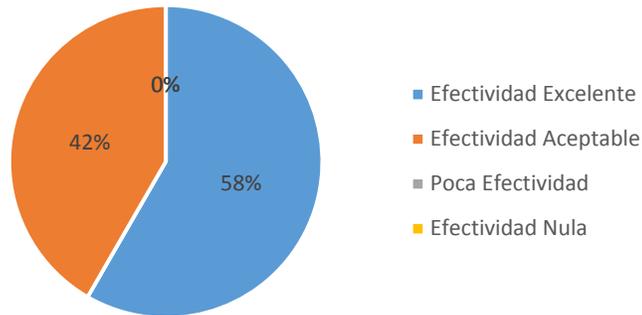


Fig. 48: Porcentaje de efectividad del método comparado con los valores esperados en el paso 3.

### Efectividad Método Paso 4

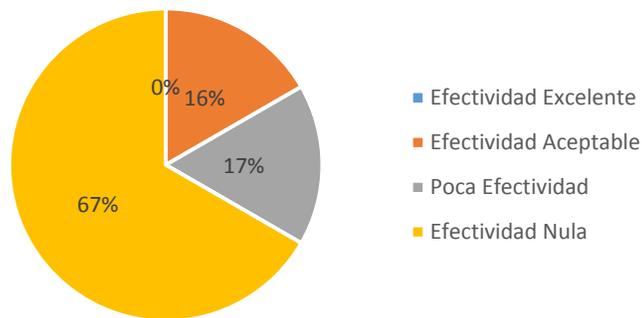


Fig. 49: Porcentaje de efectividad del método comparado con los valores esperados en el paso 4.

El análisis de los resultados, es presentado en el capítulo 8, Discusión.

## 7.2. Resultados Evaluación de Usuario

El siguiente aspecto a evaluar es la efectividad del usuario al realizar el movimiento. Para tal fin se definió un conjunto de valores predeterminados que denotaban los resultados de hacer el paso correctamente, estos valores son mostrados gráficamente como las barras azules, las barras amarillas representan la duración de cada movimiento por parte del usuario. A continuación se presentan los resultados de dicha evaluación.

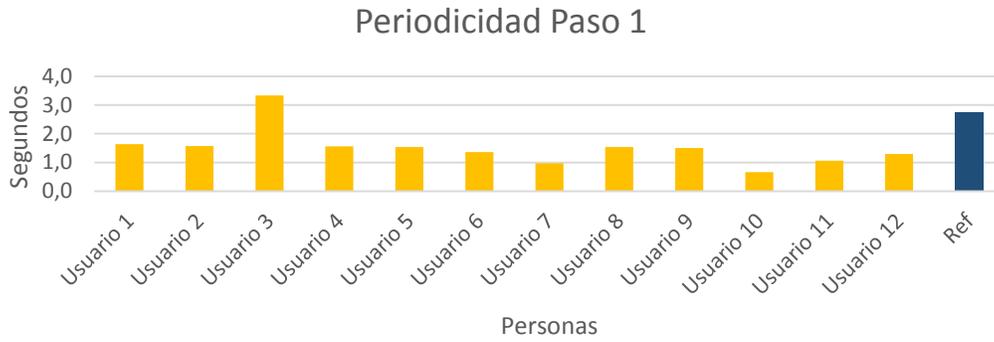


Fig. 50: Gráfico de duración de la periodicidad del movimiento de los usuarios para el paso 1

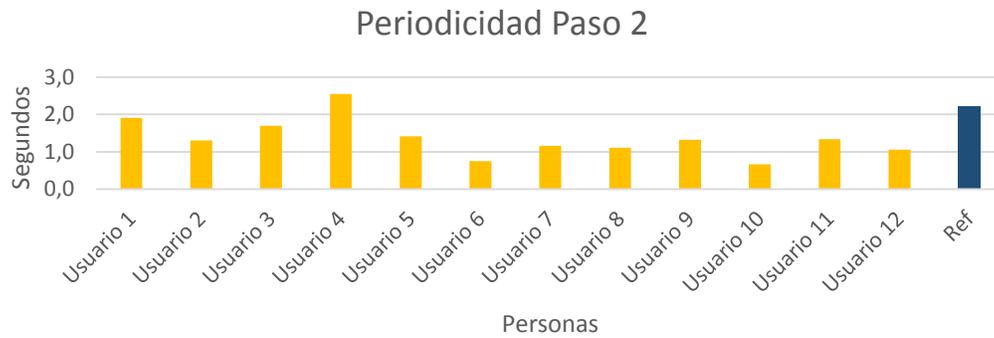


Fig. 51: Gráfico de duración de la periodicidad del movimiento de los usuarios para el paso 2

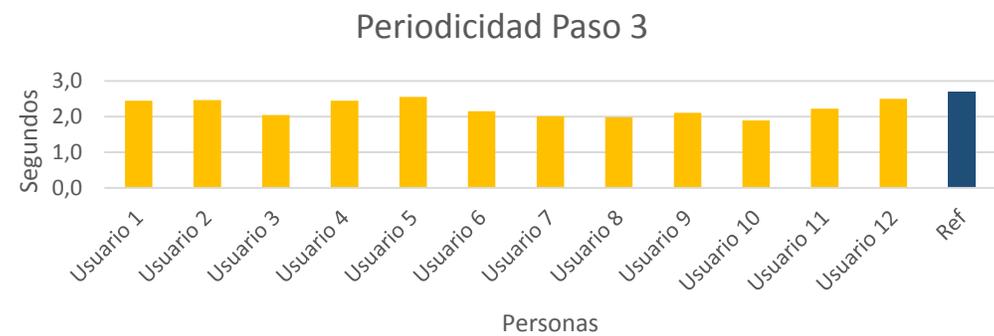


Fig. 52: Gráfico de duración de la periodicidad del movimiento de los usuarios para el paso 3

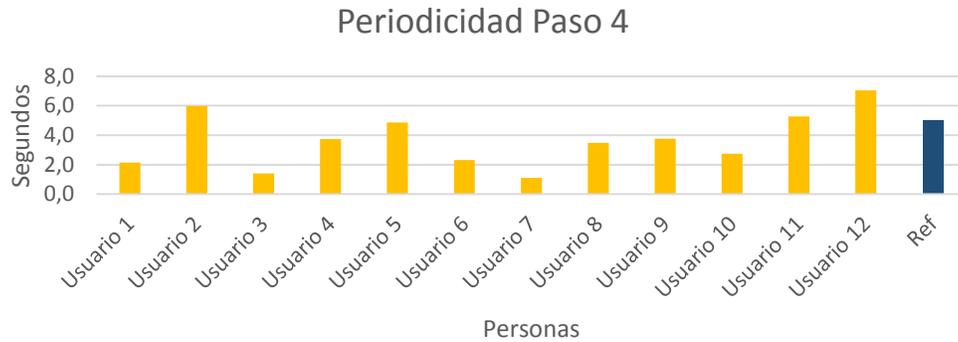


Fig. 53: Gráfico de duración de la periodicidad del movimiento de los usuarios para el paso 3

Además se analizaron los indicadores de efectividad del movimiento, para los primeros tres pasos de baile realizados por los usuarios, teniendo en cuenta los parámetros de la siguiente tabla.

Descripción	Parámetro
Movimiento muy rápido	Entre 0 y 1 segundos
Movimiento rápido	Entre 1.01 y 2 segundos
Movimiento ideal	Entre 2.01 y 3 segundos
Movimiento Lento	Entre 3 o más segundos

Tabla 4: Parámetros de evaluación de la duración del paso del baile de cada persona para los primeros pasos.

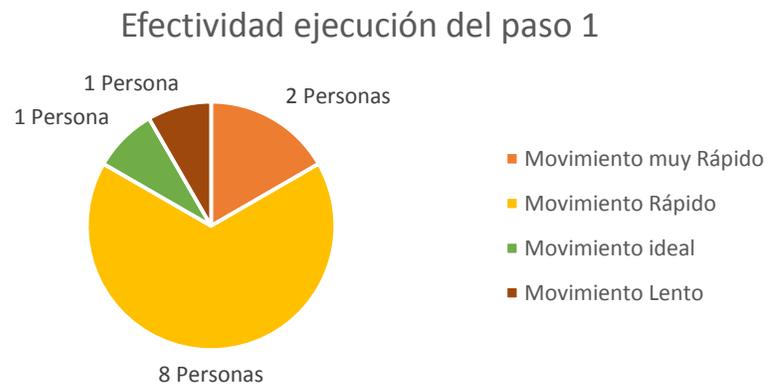


Fig. 54: Gráfico de efectividad del movimiento 1 en los usuarios

### Efectividad ejecución del paso 2

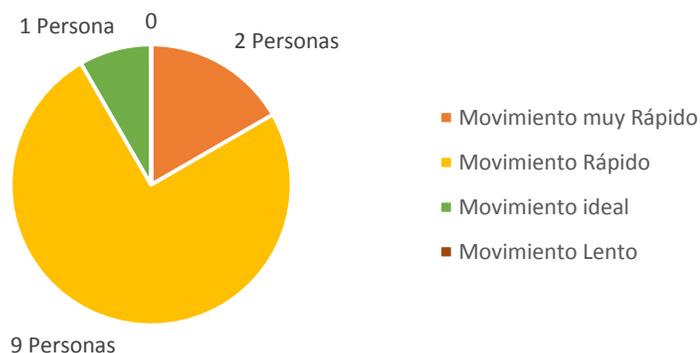


Fig. 55: Gráfico de efectividad del movimiento 1 en los usuarios

### Efectividad ejecución del paso 3

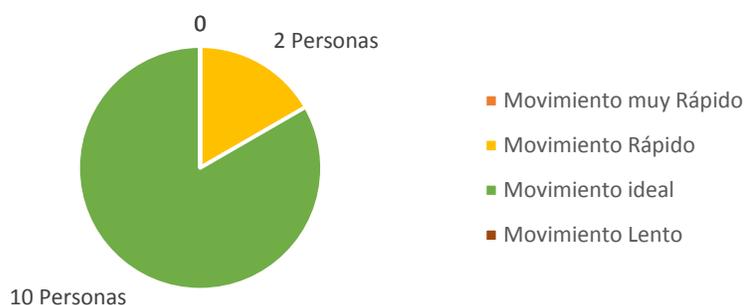


Fig. 56: Gráfico de efectividad del movimiento 1 en los usuarios

El paso 4 es de dos tiempos así que se cambian los valores para ajustarlos al movimiento.

Descripción	Parámetro
Movimiento muy rápido	Entre 0 y 2 segundos
Movimiento rápido	Entre 2.01 y 3 segundos
Movimiento ideal	Entre 3.01 y 6 segundos
Movimiento Lento	Entre 6 o más segundos

Tabla 5: Parámetros de evaluación de la duración del paso del baile de cada persona para el último paso.

### Efectividad ejecución del paso 4

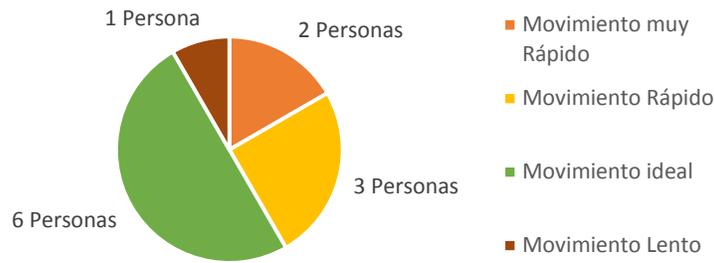


Fig. 57: Gráfico de efectividad del movimiento 1 en los usuarios

## 7.3. Experiencia de usuario

Para medir si el usuario recibió la correcta respuesta por parte del sistema se evalúa si la persona escuchó el sonido acorde con los pasos de baile que previamente ha realizado y los resultados fueron:

¿Los sonidos que esta escuchando por parte del personaje que realiza su mismo paso, son acordes al movimiento?

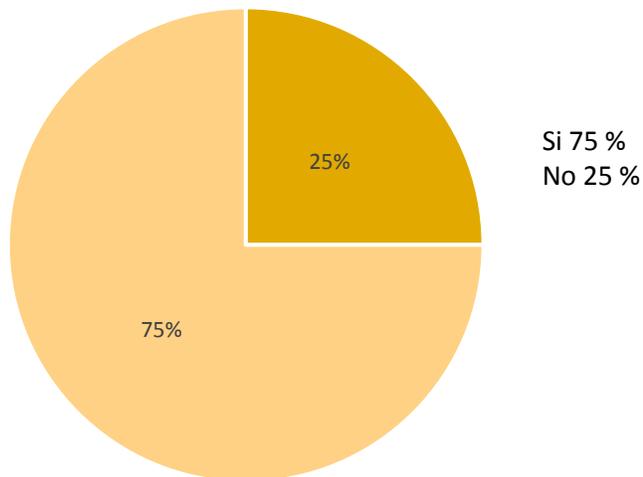


Fig. 58: Gráfico de porcentaje de personas que escucharon el sonido de su movimiento por parte de la aplicación y su nivel de aceptación

## 7.4. Resultados Trabajo de Grado

Tabla 6: Resultados del proyecto realizado con respecto a los objetivos planteados.

Objetivo	Actividades	Resultado Obtenido
Diseñar un piloto de aplicación interactiva, basado en estímulos visuales y auditivos, usando algoritmos de visión artificial y síntesis de audio, para apoyo en tratamientos de los trastornos del desarrollo de la coordinación.	Se realizó desde un análisis en los referentes teóricos, con el fin de plantear una hipótesis que por medio de visión por computador y síntesis de audio, creara el análisis de los movimientos. Todo esto queda integrado en una aplicación web interactiva creada con Python.	Aplicación Web Interactiva (Anexos) Video de la Aplicación (Anexos) Manual de Usuario (Anexos)
Definir un conjunto de reglas, movimientos y sonidos para identificar los requerimientos en materia de técnicas y algoritmos necesarios para la producción de audio y de las teorías neuropsicológicas asociadas.	Después de hacer un estudio de las técnicas de enseñanza del baile y tipos de baile conocidos, se diseñaron reglas en cuanto a movimientos para los pasos de baile. También se plantearon la hipótesis para cumplir los requerimientos para la producción de audio.	(Definición de Reglas)
Diseñar un método de visión artificial, para detectar y analizar el movimiento de una persona en un entorno controlado, teniendo en cuenta su velocidad, y el tipo de acción efectuada.	Basados en referente teórico, se define usar como principio el Algoritmo Sigma-Delta, en un entorno controlado para la segmentación del video.	(Detección de Movimiento)
Especificar un método de procesamiento de audio para generar efectos o sonidos a partir de un conjunto de entradas predefinidas, para la generación de secuencias rítmicas.	Según el método propuesto, se plantea generar el procesamiento de audio a partir de un análisis del patrón de movimiento de la persona, extrayendo desde el análisis frecuencial el valor de periodicidad, el cual determina la distancia para un tren de impulsos entre cada impulso, a su vez a través de un sonido precargado o una función	(Mapear los patrones de movimiento periódicos a síntesis de sonido)

	matemática es convolucionado para crear el sonido acorde con los parámetros de video de entrada.	
Evaluar el sistema piloto integrado para identificar su correcto funcionamiento, desde el punto de vista de su coherencia musical.	Se realizó un análisis en el estado del arte sobre los conceptos básicos de la teoría musical especialmente como compás musical, métrica. De igual forma se evalúa la coherencia musical al medir la efectividad del método al generar el patrón rítmico.	(Teoría Musical) (Psicología Musical) (Evaluación)

# Capítulo 8

## Discusión

**RESUMEN:** En este capítulo se presentan la discusión de los resultados obtenidos en el capítulo 7.

Las pruebas realizadas en general muestran resultados positivos, especialmente en las pruebas de precisión de la aplicación ya que se comprueba que el método es efectivo para pasos de movimientos simples, esto se ve reflejado en los porcentajes de efectividad del método, los cuales superan el 75% sin embargo en movimientos que contengan cambios de velocidad el método pierde precisión. Sin embargo para las pruebas de pasos que contengan cambios de tiempos, el método es poco preciso, debido a que este busca generar patrones rítmicos uniformes y estos cambios afectan considerablemente los resultados.

Analizando la diferencia entre los valores esperados y los valores obtenidos, estos no presentan variaciones que puedan afectar el resultado final, estos datos están en Milisegundos y no superan los 1000 milisegundos lo cual no representa un margen de error grande.

En cuanto a la evaluación de usuario, los resultados muestran que para algunos movimientos, los usuarios tienden a realizar el paso más rápido, especialmente los pasos 1 y 2 ya que en este paso la persona marca el tiempo según como desee. El tercer paso es el que más se acerca al movimiento ideal con un porcentaje aproximado del 83%.

De igual manera el sistema presenta resultados positivos cuando se evalúa la retroalimentación por parte del usuario, ya que gran parte de las personas que participaron en las pruebas reconocieron que el sonido que escuchan está acorde al movimiento. Además como el sonido está acompañado de una base rítmica, él percibe más fácilmente si está desfasado o no.

# Capítulo 9

## Conclusiones

La aplicación nombrada “The Rhythm Machine”, cuenta con mecanismos de interacción basados en estímulos visuales y auditivos, que brindan al usuario la retroalimentación necesaria para aprender a llevar el ritmo.

La correcta precisión del método planteado, depende de definir acertadamente los movimientos indicados, para la generación de patrones rítmicos. De igual forma entender como la música está involucrada en procesos cerebrales y motrices, brinda una buena base para la creación de técnicas de análisis de movimiento con relación al baile.

Entre los algoritmos encontrados en el estado del arte, el Sigma Delta, fue la base para diseñar un método de detección óptimo del movimiento, en un entorno controlado, ya que su proceso de actualización fortalece la robustez del algoritmo.

La creación de patrones rítmicos, está ligada a realizar un análisis de un movimiento constante, mediante técnicas de análisis de señales tanto en el dominio del tiempo, como en el dominio de la frecuencia.

Añadir una base rítmica de un género musical a la aplicación, genera la retroalimentación necesaria, fácilmente apreciada en el caso de realizar un movimiento no tan efectivo.

Este trabajo se inspiró en una práctica terapéutica, sin embargo desde el alcance mismo de la propuesta, no se planteó la implementación efectiva de la técnica en dichas prácticas. Es de resaltar que los hallazgos y las técnicas utilizadas abren nuevas preguntas relacionadas con su aplicación en pacientes, que podrán ser abordadas en trabajos futuros del grupo de investigación ACCEDER.

# Capítulo 10

## Recomendaciones y Trabajo Futuro

El estudio del movimiento del cuerpo humano siempre requerirá sistemas más óptimos en cuanto a procesamiento, interacción etc., este trabajo marca un punto inicial para propuestas de análisis de movimientos en pasos de baile, todo con el fin de enseñar a bailar.

La aplicación creada analiza el movimiento de un video subido a la plataforma, sin embargo este proceso requiere mayores tiempos de espera de una respuesta por parte del sistema, de este modo se recomienda usar videos livianos. Sin embargo sería beneficioso que el proceso de retroalimentación sea en tiempo real en algún momento, para ello la aplicación puede ser escalable.

Las pruebas de usuario realizadas son para cuatro pasos iniciales, pero se espera que el número de estos pasos aumente, tomando en cuenta pasos que requieren más complejidad como pasos que combinan cruces o varios tiempos.

El método propuesto queda a la disposición para que sea utilizado en más aspectos de las personas, no solo el análisis con fines de entretenimiento o para el apoyo en tratamientos del TDC. El método puede ser usado también para pacientes que padezcan enfermedades como el Parkinson, para el apoyo en los tratamientos.

# Apéndices

# Apéndice A

## Casos de Uso

**RESUMEN:** En este capítulo se presenta los casos de uso para los módulos de Aprendizaje, Ejecución y Evaluación del sistema.

### A.1. Casos de uso Módulo Aprendizaje

ESPECIFICACIÓN CASO DE USO			
Información General			
Nombre	Ver Pasos de Baile	ID	CU01
Resumen	El usuario selecciona el paso de baile que quiere ver, cada paso de baile tiene un beat y una base rítmica.		
Propósito	Aprender paso de baile		
Actor Principal	Usuario		
Personal Involucrado	Usuario, sistema		
Precondiciones	Video Instructivo de aplicación.		
Postcondiciones	Caso Exitoso: Se puede ver el paso de baile y escuchar los sonidos de tal paso.		
Escenario Principal de éxito			
<ol style="list-style-type: none"><li>1. El usuario ingresa al sistema.</li><li>2. El sistema muestra un video instructivo sobre el uso de la aplicación.</li><li>3. El usuario selecciona el paso de baile que desea ver.</li><li>4. El sistema reconoce la selección del usuario y muestra el paso de baile con su respectivo sonido.</li></ol>			
Extensiones			
<ol style="list-style-type: none"><li>3. El usuario selecciona más de un paso de baile antes de que termine el sonido de otro paso de baile<ol style="list-style-type: none"><li>1. El sistema indica que debe ser seleccionado un paso de baile, mientras el sonido este reproduciendo</li><li>2. Vuelve al paso 3 del escenario principal.</li></ol></li><li>4. El sistema no reproduce el sonido del paso de baile<ol style="list-style-type: none"><li>1. El sistema notifica del error mediante un mensaje de alerta en el navegador</li><li>2. El sistema pide reiniciar la aplicación</li><li>3. El usuario ingresa al sistema</li><li>4. Vuelve al paso 2 del escenario principal</li></ol></li></ol>			
Requisitos Especiales			
Lista de Tecnología y Variaciones de Datos			
Se requiere el computador con conexión a internet y que el computador tenga altavoces.			
Comentarios			

ESPECIFICACIÓN CASO DE USO			
Información General			
Nombre	Generar patrón rítmico	ID	CU02
Resumen	El usuario selecciona en el Pad ubicado en la parte inferior derecha, los botones que desee, para representar un patrón rítmico a su medida, igualmente puede cambiar la velocidad de dicho patrón.		
Propósito	Crear un patrón rítmico desde cero		
Actor Principal	Usuario		
Personal Involucrado	Usuario, sistema		
Precondiciones	Video Instructivo de aplicación.		
Postcondiciones	Caso Exitoso: Se puede ver el paso de baile y escuchar los sonidos de tal paso creado por el usuario.		
Escenario Principal de éxito			
1.	El usuario ingresa al sistema.		
2.	El sistema muestra un video instructivo sobre el uso de la aplicación.		
3.	El usuario crea el patrón rítmico que desee.		
4.	El usuario define la velocidad del patrón rítmico.		
5.	El usuario escoge el paso de baile para dicho patrón rítmico.		
6.	El sistema muestra el paso de baile con el ritmo hecho por el usuario		
Extensiones			
3.	El sistema no reproduce el sonido		
1.	El sistema notifica del error mediante un mensaje de error en el navegador		
2.	El sistema pide reiniciar la aplicación		
3.	El usuario ingresa al sistema		
4.	Vuelve al paso 2 del escenario principal		
Requisitos Especiales			
Lista de Tecnología y Variaciones de Datos			
Se requiere el computador con conexión a internet y que el computador tenga altavoces.			
Comentarios			
Se pueden crear ritmos en el compás que el usuario desee.			

## A.2. Casos de uso Módulo Ejecución

ESPECIFICACIÓN CASO DE USO			
Información General			
Nombre	Subir video	ID	CU03
Resumen	El usuario graba su paso de baile y sube el video a la plataforma, la cual analizará el paso de baile realizado.		
Propósito	Subir video a la aplicación		
Actor Principal	Usuario		
Personal Involucrado	Usuario, sistema		

<b>Precondiciones</b>	Escoger paso de baile
<b>Postcondiciones</b>	Caso Exitoso: Se puede subir el video, el cual se muestra en la interfaz gráfica.
<b>Escenario Principal de éxito</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario escoge el paso de baile</li> <li>2. El usuario selecciona el video con el paso de baile realizado</li> <li>3. El usuario sube el video</li> <li>4. El sistema almacena el video, y lo muestra en la interfaz gráfica.</li> </ol>	
<b>Extensiones</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>3. El usuario intenta subir un video mayor a 30 MG <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sistema indica que debe ser seleccionado un video menor a 30MG</li> <li>2. Vuelve al paso 2 del escenario principal.</li> </ol> </li>   <li>3. El sistema se demora demasiado cargando el video <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sistema notifica al usuario que el video no se ha podido subir a la plataforma.</li> <li>2. El sistema pide volver a subir el video</li> <li>3. Vuelve al paso 2 del escenario principal</li> </ol> </li> </ol>	
<b>Requisitos Especiales</b>	
El video no debe superar 30MB de tamaño, El formato del video debe ser .avi, .mp4, .mov, .wmv.	
<b>Lista de Tecnología y Variaciones de Datos</b>	
Se requiere el computador con conexión a internet y que el computador tenga altavoces.	
<b>Comentarios</b>	
El usuario puede subir varios videos, el sistema analizará el ultimo subido	

ESPECIFICACIÓN CASO DE USO			
Información General			
<b>Nombre</b>	Procesar Video	ID	CU04
<b>Resumen</b>	El usuario ya ha subido su video a la aplicación, esto se puede demostrar si el video puede ser visto desde la interfaz, el usuario debe procesar el video oprimiendo el botón “start”.		
<b>Propósito</b>	Analizar paso de baile del video		
<b>Actor Principal</b>	Sistema		
<b>Personal Involucrado</b>	Usuario, sistema		
<b>Precondiciones</b>	Subir video paso de baile		
<b>Postcondiciones</b>	Caso Exitoso: El sistema analiza el paso del video y brinda la retroalimentación a través de un mensaje.		
<b>Escenario Principal de éxito</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario ve el video en la interfaz gráfica.</li> <li>2. El usuario selecciona “start” y el video comenzará a ser analizado</li> <li>3. El sistema mostrará un mensaje según si el paso es correcto o no.</li> </ol>			
<b>Extensiones</b>			

<ol style="list-style-type: none"> <li>2. El usuario selecciona “start” pero no ha subido un video. <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sistema le indica que debe seleccionar un paso y posteriormente subir un video.</li> <li>2. Vuelve al paso 1 del escenario principal.</li> </ol> </li>   <li>2. El usuario selecciona “start” pero no ha seleccionado un paso de baile <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sistema le indica que debe seleccionar un paso de baile.</li> <li>2. El usuario selecciona el paso de baile que ha realizado.</li> <li>3. Vuelve al paso 2 del escenario principal.</li> </ol> </li>   <li>2. El sistema se demora demasiado procesando el video <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El sistema notifica al usuario que el video no se ha podido procesar.</li> <li>2. El sistema pide volver a seleccionar “start”.</li> <li>3. Vuelve al paso 2 del escenario principal</li> </ol> </li>   <li>3. El sistema no muestra ningún mensaje luego de haber procesado el video <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario debe volver a procesar el video</li> <li>2. Si el sistema no muestra ningún mensaje, el sistema indicará que debe reiniciar la aplicación.</li> <li>3. Vuelve al paso 1 del escenario principal.</li> </ol> </li> </ol>
<b>Requisitos Especiales</b>
El video debe ser del mismo paso seleccionado, para que al procesar el video los resultados no sean tan diferentes.
<b>Lista de Tecnología y Variaciones de Datos</b>
Se requiere el computador con conexión a internet y que el computador tenga altavoces.
<b>Comentarios</b>

### A.3. Casos de uso Módulo Evaluación

ESPECIFICACIÓN CASO DE USO			
Información General			
<b>Nombre</b>	Retroalimentación del Paso	ID	CU05
<b>Resumen</b>	Luego de procesar el video, el sistema muestra al usuario un mensaje, en donde se muestra si el usuario hizo el paso más rápido o más lento o hizo el paso perfecto, luego aparece un segundo personaje a la izquierda realizando el mismo paso hecho por el usuario y con el sonido acorde a dichos parámetros del video subido.		
<b>Propósito</b>	Brindar una retroalimentación al usuario		
<b>Actor Principal</b>	Sistema		
<b>Personal Involucrado</b>	Usuario, sistema		
<b>Precondiciones</b>	Tener el video procesado		
<b>Postcondiciones</b>	Caso Exitoso: El sistema muestra a los 2 personajes haciendo el paso de baile con la señal que indica el análisis de movimiento establecido.		
Escenario Principal de éxito			
<b>1.</b>	El usuario oprime “start” y el sistema procesa el video		
<b>2.</b>	El sistema brinda un mensaje grande que informa que tan bien hiciste el paso		

- 3. El sistema crea una animación acorde con el paso procesado, con el sonido del beat y la base rítmica.
- 4. El sistema muestra la señal que describe el análisis del paso elaborado por el usuario.

### Extensiones

- 2. El sistema no muestra ningún mensaje luego de haber procesado el video
  - 1. El usuario debe volver a procesar el video
  - 2. Si el sistema no muestra ningún mensaje, el sistema indicará que debe reiniciar la aplicación.
  - 3. Vuelve al paso 1 del escenario principal.
  
- 3. El sistema no crea la animación
  - 1. El sistema indica que ha habido un error
  - 2. El sistema indica al usuario que vuelva a realizar el proceso de procesar el video
  - 3. Vuelve al paso 1 del escenario principal.
  
- 3. El sistema genera una animación distinta a la del paso hecho por el usuario
  - 1. El usuario debe volver a procesar el video
  - 2. Vuelve al paso 1 del escenario principal.
  
- 3. El sistema no genera ningún sonido acompañando la animación
  - 1. El sistema informa del error al usuario
  - 2. El usuario debe volver a procesar el video
  - 3. Vuelve al paso 1 del escenario principal.

### Requisitos Especiales

El video debe ser del mismo paso seleccionado, para que al procesar el video los resultados no sean tan diferentes.

### Lista de Tecnología y Variaciones de Datos

Se requiere el computador con conexión a internet y que el computador tenga altavoces, el navegador debe estar actualizado, para que funcione el audio.

### Comentarios

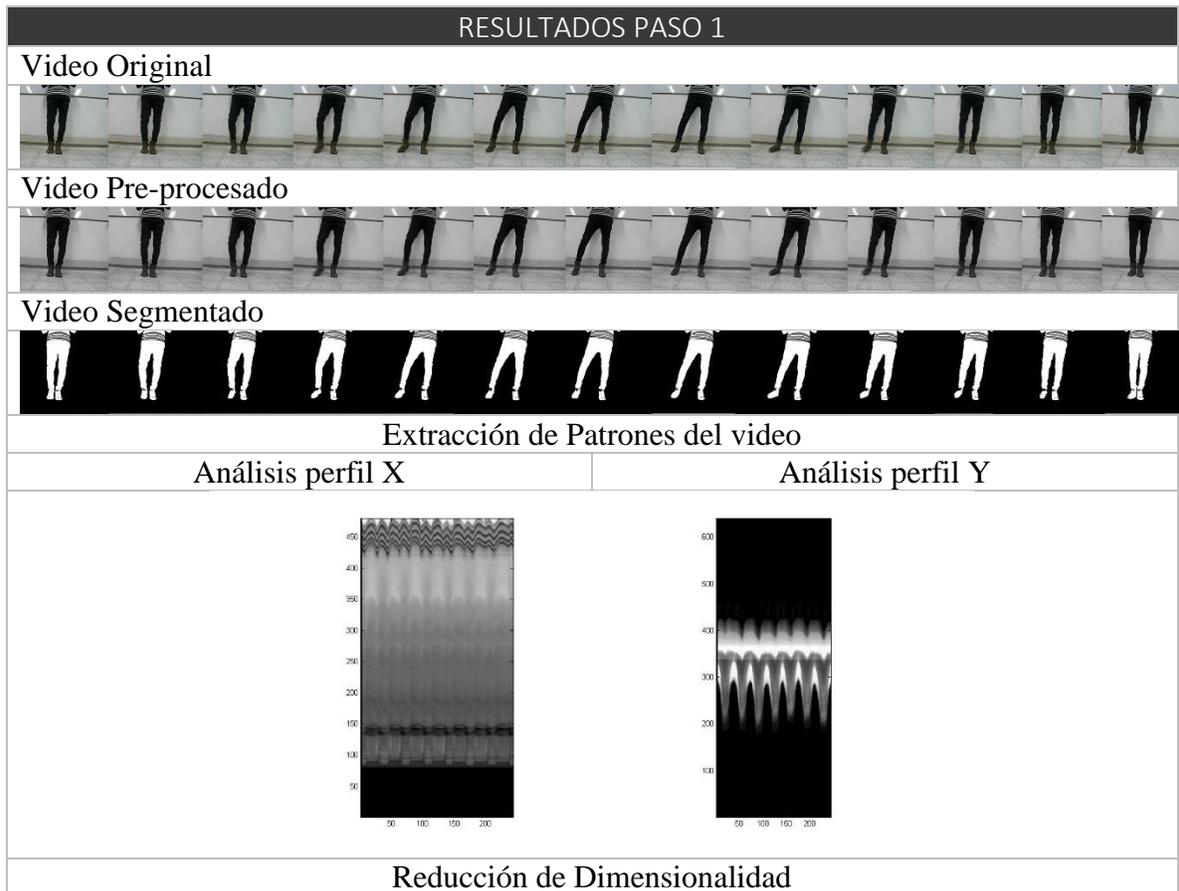
# Apéndice B

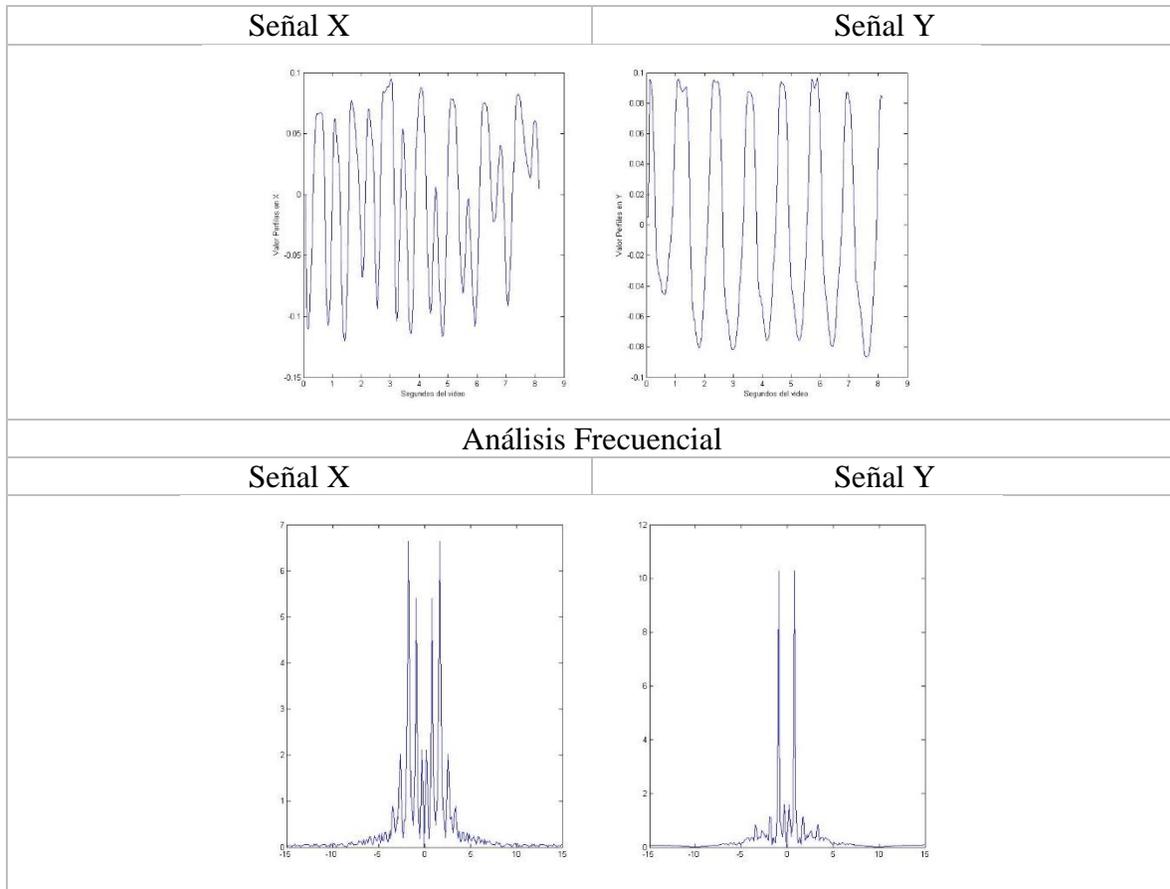
## Resultados Método

**RESUMEN:** Se presentan los resultados del método propuesto, con un vídeo de entrada que sirva para ejemplificar todo el proceso desde la captura de movimiento hasta síntesis de audio. Los videos de estos resultados pueden ser encontrados en la carpeta Videos Referencia.

Para presentar los resultados del método, se analizan los pasos de una persona realizando los cuatro movimientos en un entorno controlado. Los resultados para todos los pasos de baile muestran que luego de hacer el pre procesamiento y segmentación del video, se puede establecer que al analizar dicho paso, este provee mayor información de patrón de movimiento desde el perfilado del video en Y, posteriormente al realizarle la reducción de dimensionalidad este toma la periodicidad del patrón en la señal y por medio de un análisis frecuencial se puede extraer el valor de periodicidad.

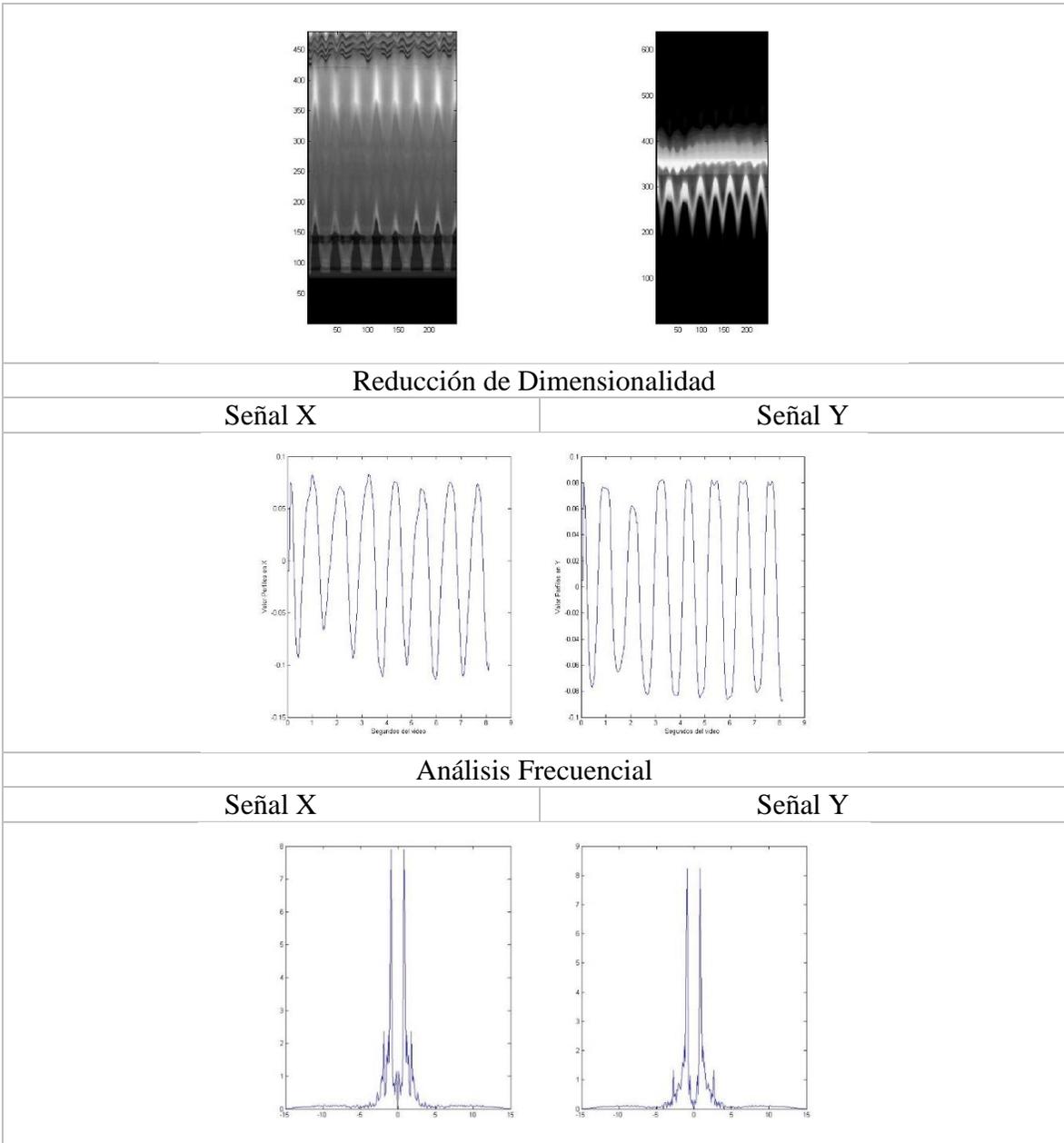
### B.1. Resultados Paso 1





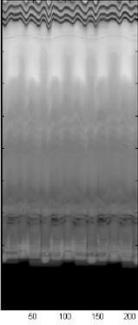
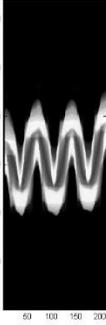
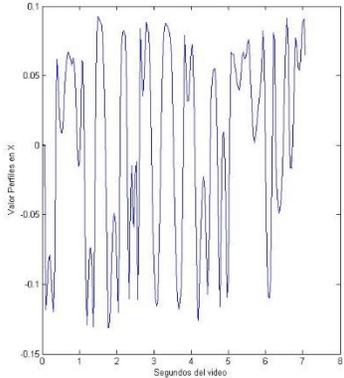
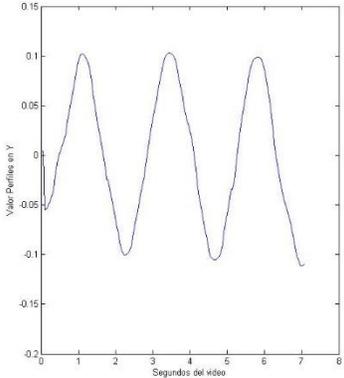
## B.2. Resultados Paso 2

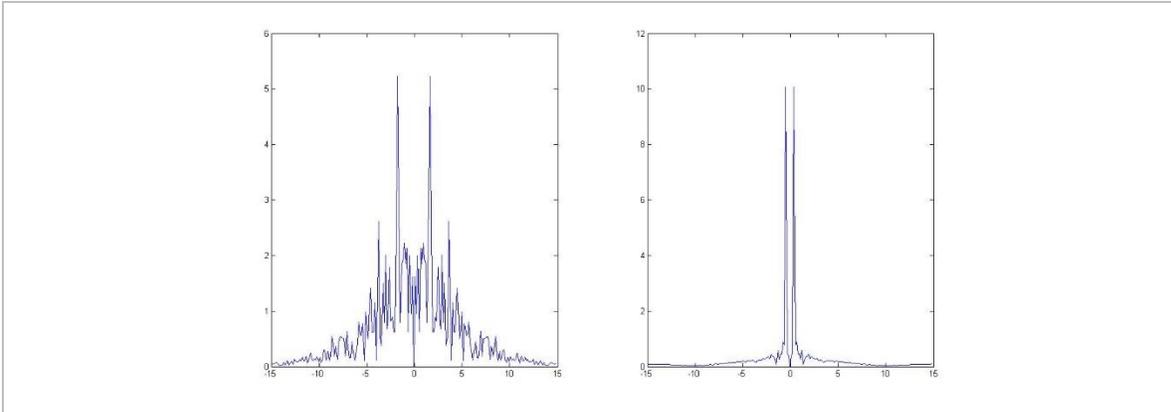
RESULTADOS PASO 2	
Video Original	
	
Video Pre-procesado	
	
Video Segmentado	
	
Extracción de Patrones del video	
Análisis perfil X	Análisis perfil Y



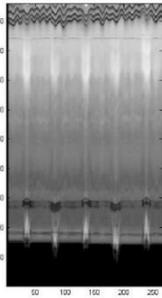
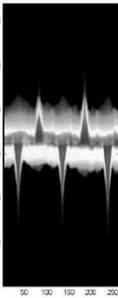
### B.3. Resultados Paso 3

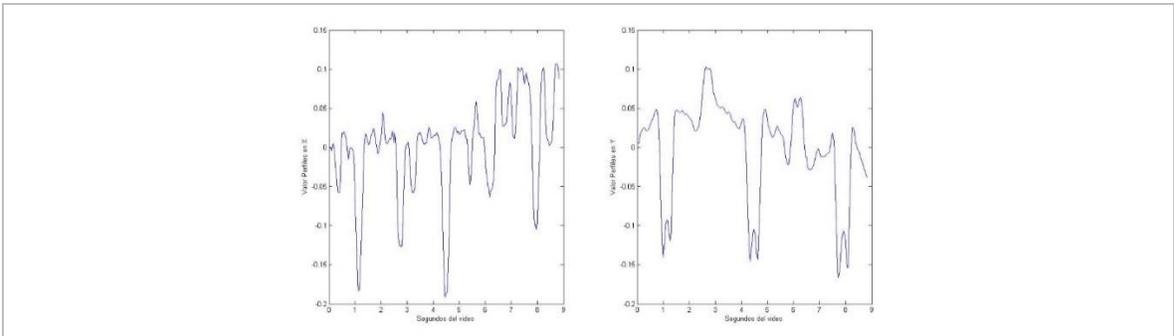
RESULTADOS PASO 3	
Video Original	
Video Pre-procesado	

	
<b>Video Segmentado</b>	
	
<b>Extracción de Patrones del video</b>	
<b>Análisis perfil X</b>	<b>Análisis perfil Y</b>
	
<b>Reducción de Dimensionalidad</b>	
<b>Señal X</b>	<b>Señal Y</b>
	
<b>Análisis Frecuencial</b>	
<b>Señal X</b>	<b>Señal Y</b>



## B.4. Resultados Paso 4

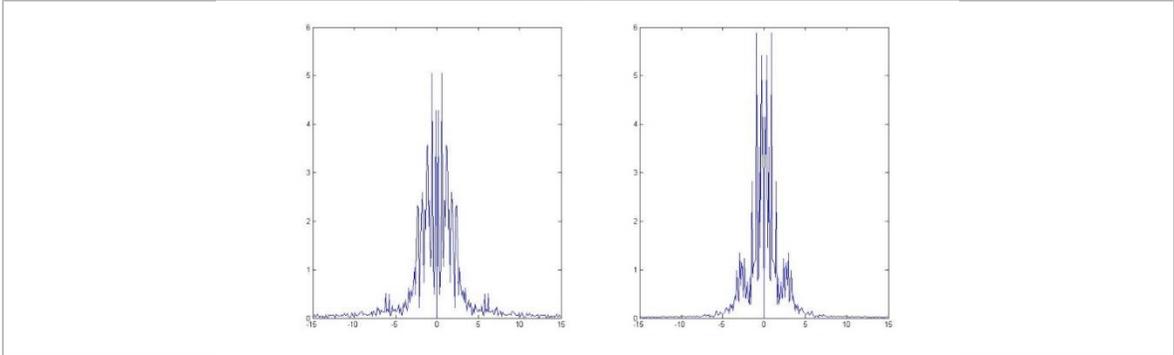
RESULTADOS PASO 4	
Video Original	
	
Video Pre-procesado	
	
Video Segmentado	
	
Extracción de Patrones del video	
Análisis perfil X	Análisis perfil Y
	
Reducción de Dimensionalidad	
Señal X	Señal Y



**Análisis Frecuencial**

**Señal X**

**Señal Y**



## Apéndice C

### IV Concurso Neogranadino de Investigación Formativa

**RESUMEN:** El proyecto es presentado en el IV Concurso Neogranadino de Investigación Formativa en el mes de Septiembre de 2015. Obteniendo el segundo puesto en proyectos de ingeniería.

#### C.1. Certificado de Asistencia



UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA

LA VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES  
CERTIFICA QUE:

**Camilo Arguello**

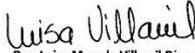
Asistió al

**IV Concurso Neogranadino de Investigación Formativa,**  
realizado en el X Encuentro Institucional de Investigaciones de la  
**Universidad Militar Nueva Granada**  
"La Ciencia Tecnología e Innovación como motor de cambio"

Para constancia se firma en la ciudad de Bogotá D. C., a los diez y siete días (17) del mes de septiembre de 2015



**Dr. Fernando Cañor Rincón**  
Vicerrector de Investigaciones  
Universidad Militar Nueva Granada



**Dra. Luisa Marcela Villamil Díaz**  
Directora Investigaciones Campus Nueva Granada.  
Universidad Militar Nueva Granada



**Institucional de Investigaciones**  
**de la UMNG**



# Apéndice E

## Recursos Tecnológicos

**RESUMEN:** En esta sección se describen las tecnologías utilizadas para el desarrollo del proyecto, al igual que el momento en el que fue útil para el trabajo.

### E.1. Matlab

Este lenguaje de desarrollo fue utilizado en el comienzo del proyecto, con el fin de construir el método y probarlo para la primera iteración. Es ideal para hacer procesamiento tanto de video, audio, imagen, sin embargo no provee buenas interfaces de usuario, debido a esto se migró el proyecto a otro lenguaje de programación. La versión de prueba puede ser descargada en <http://www.mathworks.com/products/matlab/> .

### E.2. Python 2.7.10

Es un lenguaje de programación dinámico usado para la creación de grandes sistemas y hoy en día hasta en aplicaciones web, ya que es rápido de usar. Python fue usado en la segunda iteración, luego de migrar el proyecto desde Matlab. Usando librerías de opencv, numpy, matplotlib, entre otras. Puede ser descargado desde <https://www.python.org/> .

### E.3. Django 1.8.2

Es un framework de entornos de desarrollo web, basado en Python, su función es conectar el código de Python a una interfaz para visualización web. Fue usado para en la última etapa del proyecto cuando se realizó la aplicación y si se desea saber más información, visitar el siguiente link: <https://www.djangoproject.com/> .

### E.4. Sublime Text

Es un editor de código con el cual se programaron los procesos de Python, Django, Html, Css y Js. Se puede descargar desde: <http://www.sublimetext.com/> .

## E.5. Adobe After Effects CC

Es un programa de producción y edición de video usado principalmente en la primera iteración para hacer pruebas. En dicho programa se elaboraban videos de movimientos uniformes de objetos. Además se elaboraron las animaciones de los personajes en este programa.

## E.6. Adobe Illustrator CC

Es un programa de creación y manipulación de ilustraciones vectoriales, y fue usado para diseñar los personajes que aparecen en la aplicación. Junto con After Effects, estos pueden ser descargados desde <https://www.adobe.com/la/> .

# Referencias

1. PÉREZ, M. (2012) *Ritmo y Orientación Musical*. Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.
2. PHILLIPS-SILVER, J., & TRAINOR, L. J. (2005). *Feeling the Beat: Movement Influences Infant Rhythm Perception*, 308(June), 2005. SCIENCE. Extract from sciencemag.org.
3. BAGÉS, J. (2011). *Sobre las nuevas tecnologías musicales y los sistemas musicales interactivos*, (1999), 1–25. Hermes Science Publications. Paris, Francia.
4. ZENTNER, M., & EEROLA, T. (2010). *Rhythmic engagement with music in infancy*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107(13), 5768–73. doi:10.1073/pnas.1000121107. Department of Psychology, University of York. United Kingdom.
5. MISSIUNA, C., RIVARD, L., POLLOCK, N. (2011) *Niños con trastorno del desarrollo de la coordinación: en su hogar, en la escuela y en la comunidad*. Mc Master University. School of rehabilitation science. Ontario, Canadá.
6. SALAMANCA, L., NARANJO, M. GONZÁLEZ, A. *Cuestionario para diagnóstico de trastorno del desarrollo de la coordinación*. Universidad Autónoma de Manizales, Departamento Movimiento Humano
7. GIMENO, A. (2015) *Bailar: Cinco beneficios psicológicos del baile*. Psicología Clínica. Extraído de psicologiamente.net
8. BERG, T., CHATTOPADHYAY, D., SCHEDEL, M., VALLIER, T. (2011) *Interactive Music: Human Motion Initiated Music Generation using Skeletal Tracking by Kinect*.
9. WECHSLER R., WEIB F., DOWLING P. (2004) *EyeCon – a motion sensing tool for creating interactive dance, music and video projections*. Doncaster College School

of Intermedia and Performance Arts, Doncaster, England. Palindrome Inter-media Performance Group, Nürnberg, Germany. Glasgow University, Glasgow, England.

10. WEN CHO C., HUNG CHAO W., HUANG LIN S., YIN CHEN Y. (2009). *A vision-based analysis system for gait recognition in patients with Parinson's disease*. Department of Electrical and control engineering, National Chiao University. Department of Biomedical Engineering, Yuanpei University. Department of neurology, Tzu Chi General Hospital. Taiwan.
11. PERAZO, C. (2014). *Las consolas de videojuegos ayudan a tratar problemas motrices y neurológicos*. Extraído de lanacion.com.ar
12. HILL, E., (2013) *Can Nintendo Wii help children with coordination difficulties?* *Science and Environment*. Extract to podacademy.org
13. B.N. WILSON, CRAWFORD, G. *The Developmental Coordination Disorder Questionnaire 2007*. Calgary, Alberta, Canadá.
14. MISSIUNA, C., RIVARD, L., POLLOCK, N. (2011) *Niños con trastorno del desarrollo de la coordinación: en su hogar, en la escuela y en la comunidad*. Mc Master University. School of rehabilitation science. Ontario, Canadá.
15. FORD, A., ROBERTS, A. (1998) *Colour Space Conversions*.
16. TKALČIČ, M., TASIČ, J. (2003) *Colour Spaces – perceptual, historical and applicational background*. Faculty of electrical engineering. University of Ljubljana. Slovenia.
17. MANZANERA A., RICHEFEU J. (2006). *A new motion detection algorithm based on  $\sum$ - $\Delta$  background estimation*. Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées (ENSTA), Laboratoire d'Electronique de Informatique (LEI). Paris, France.
18. THAUT M., ABIRU M. (2009). *Rhythmic Auditory Stimulation in Rehabilitation of Movement Disorders: A Review of Current Research*. Colorado State University, USA. Kyoto University. Kyoto, Japan.
19. CÉDRIC M., ENESCU V., SAHLI H. *Real-Time Dance Pattern Recognition Invariant to Anthropometric and Temporal Differences*. Vrije Universiteit Brussel Department of Electronics and Informatics (ETRO). Brussels, Belgium.
20. POHL H., HADJAKOS A. *Dance pattern recognition using dynamic time warping*. *Telecooperation*. Technische Universität Darmstadt. Germany.

21. BLEI D. (2008) *Cos 424: Interacting with Data*. Scribe by: CJ Bell and Ana Pop
22. SHIRATORI T. (2006). *Synthesis of Dance Performance Based On Analyses of Human Motion and Music*, (December). University of Tokyo.
23. SERRA, X. (1997). *Perspectivas actuales en la síntesis digital de sonidos musicales*. *Formats: revista de comunicación audiovisual*, (1).
24. GÓMEZ E. (2009) *Introducción a la síntesis de sonidos*. Departament de Sonologia, Escola Superior de Musica de Catalunya, España.
25. SZELISKI, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer Science+Business Media.
26. ESCOBAR C. *Danzas Folclóricas Colombianas. Guía práctica para la enseñanza y aprendizaje*. Editorial Aula Alegre Magisterio.
27. DE ROSSI I., GALLO F., GONZALES D. (2010) *Práctico de la Salsa*. Prof. Alexis Frutos.
28. GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E., & MASTERS, B. R. (2009). *Digital Image Processing, Third Edition*. *Journal of Biomedical Optics*, 14(2), 029901. doi:10.1117/1.3115362
29. JOLLIFFE, I. *Principal Component Analysis, Second edition*. Department of Mathematical Sciences. University of Aberdeen. UK
30. D'AMICO L. *La cumbia colombiana: Análisis de un fenómeno musical y socio-cultural*. International Association for the Study of Popular Music (IASPM). Italia.
31. DE PEDRO D. (2008) *Teoría completa de la Música*. Editorial Real Musical
32. FLORES M. (2005) *Propuesta Metodológica para la enseñanza de la técnica de danza en el niño de la tercera infancia*. Departamento de Danza. Facultad de Artes. Universidad de Chile.
33. EREÑO C. *El proceso de enseñanza-aprendizaje en la danza tradicional. Alternativas metodológicas. Reflexiones desde la propia práctica*. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de Vitoria-Gasteiz.
34. ORTEGA M. (2006) *Lecciones de Física mecánica 2*. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Córdoba. España.

35. LOO YEN YEO. (1999) *Teaching & Salsa*. Extracted from: [salsa-merengue.co.uk](http://salsa-merengue.co.uk)
36. PEINADO F. *LPS: Patrón Modelo – Vista – Controlador*. Departamento de Ingeniería de software e Inteligencia Artificial. Facultad de Informática. Universidad Complutense de Madrid.
37. *Bases Rítmicas de Salsa y Merengue aportadas por “Style Music”* Link: [youtube.com/user/jean97564/featured](https://youtube.com/user/jean97564/featured)
38. GARCÍA C. *Unidad IV. Medidas de Dispersión*. Asignatura Estadística Aplicada. Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo. México.
39. GONZALEZ P. *Error Cuadrático Medio de Predicción para Modelos Estructurales de Series Temporales*. Departamento de Economía y Estadística e Instituto de Economía Pública. Universidad del País Vasco.
40. LACÁRCEL, J. (2003) *Psicología de la música y emoción musical*. *Education* ° 20-21. Universidad de Murcia.
41. CHEN, T. (2007) *Video Segmentation based on image change detection for surveillance systems*. *Image Processing and Reconstruction*. University of California, Santa Cruz.