

---

# Uso de Kinect para el entrenamiento de actividades físicas

---



TFG

Víctor Tobes Pérez  
Raúl Fernández Pérez

Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial  
Facultad de Informática  
Universidad Complutense de Madrid

Junio 2017

Documento maquetado con T<sub>E</sub>X<sup>S</sup> v.1.0+.

Este documento está preparado para ser imprimido a doble cara.

# Uso de Kinect para el entrenamiento de actividades físicas

*Informe técnico del departamento*  
**Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial**  
**IT/2009/3**

*Versión 1.0+*

**Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia  
Artificial**  
**Facultad de Informática**  
**Universidad Complutense de Madrid**  
  
**Junio 2017**

Copyright © Víctor Tobes Pérez y Raúl Fernández Pérez

ISBN 978-84-692-7109-4

# Agradecimientos



# Resumen





# Índice

<b>Agradecimientos</b>	<b>v</b>
<b>Resumen</b>	<b>vii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
<b>2. Estado del arte</b>	<b>3</b>
2.1. Captura de movimiento . . . . .	3
2.2. Historia captura de movimiento . . . . .	3
2.2.1. Precursores . . . . .	3
2.2.2. Nacimiento de la captura de movimiento . . . . .	4
2.3. Tecnología captura de movimiento . . . . .	5
Notas bibliográficas . . . . .	5
<b>3. Sensor Kinect</b>	<b>7</b>
3.1. Versiones de Kinect . . . . .	7
3.1.1. Kinect V1 . . . . .	7
3.1.2. Kinect V2 . . . . .	7
<b>4. Materiales y Métodos</b>	<b>9</b>
4.1. Software y hardware empleados . . . . .	9
4.1.1. Entorno de desarrollo : Unity 3D . . . . .	9
4.1.2. Kinect V2 . . . . .	10
<b>5. Desarrollo Del Proyecto</b>	<b>11</b>
5.1. Paquetes para Unity . . . . .	11
5.1.1. Grabar y reproducir movimientos de Usuario . . . . .	13
<b>6. Métodos</b>	<b>17</b>
6.1. Escenas . . . . .	17
6.1.1. Escena 1: Inicio . . . . .	18

6.1.2.	Escena 2: Menú Principal . . . . .	19
6.1.3.	Escena 3: Ayuda . . . . .	19
6.1.4.	Escena 4: Créditos . . . . .	19
6.1.5.	Escena 5: Entrenar . . . . .	19
<b>I</b>	<b>Apéndices</b>	<b>21</b>
<b>A.</b>	<b>Así se hizo...</b>	<b>23</b>
A.1.	Introducción . . . . .	23

# Índice de figuras

5.1. Esqueleto que simula el movimiento del usuario . . . . .	13
5.2. Cubeman con la lista de todos los Joints . . . . .	14
5.3. Patrón de Singleton . . . . .	15
6.1. Diagrama que ilustra la lógica del sistema . . . . .	18



# Índice de Tablas



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Introducción





## Capítulo 2

# Estado del arte

### 2.1. Captura de movimiento

La captura de movimiento (abreviada Mocap, en inglés Motion Capture) es el proceso por el cual el movimiento, ya sea de objetos, animales o mayormente personas, se traslada a un modelo digital 3D.

En la actualidad, esta técnica llamada fotogrametría, se utiliza en la industria del cine y de los videojuegos, ya que facilita mucho la labor de los animadores al realizar un modelado mas realista. En el cine se utiliza como mecanismo para almacenar los movimientos realizados por los actores, y poder animar los modelos digitales de los diferentes personajes que tenga el film. En cambio, en el sector de los videojuegos se utiliza para naturalizar los movimientos de los personajes, de ese modo se obtiene una mayor sensación de realismo. ? ?.

### 2.2. Historia captura de movimiento

#### 2.2.1. Precursores

Aristoteles (384-322 AC) podría ser considerado el primer biomecánico, escribió el libro "De Motu Animalium"(Movimiento de los animales). Él no solo veía los cuerpos de los animales como sistemas mecánicos, sino que perseguía la idea de como diferenciar la realización de un movimiento y como poderlo hacer realmente.

Leonardo da Vinci (1452-1519) trató de describir algunos mecanismos que utiliza el cuerpo humano para poder desplazarse, como un humano puede saltar, caminar, mantenerse de pie...

Eadweard Muybridge (seudónimo de Edward James Muggeridge) fué el primer fotógrafo capaz de diseccionar el movimiento humano y animal, a través de multiples cámaras tomando varias fotografías para captar instantes seguidos en el tiempo. Este experimento llamado ".<sup>el</sup> caballo en movimiento",

mostrado en la figura "tal", utilizó esta técnica de fotografía.

COMENTARIO: meter figura

### 2.2.2. Nacimiento de la captura de movimiento

Con la aparición de la técnica de la rotoscopia se consiguió naturalizar los movimientos de los personajes animados. Los estudios Walt Disney Pictures utilizaron la rotoscopia en 1937 en "Blancanieves y los siete enanitos" para la animación de los personajes del príncipe y de Blancanieves. Esta técnica consiste en reemplazar los fotogramas de una grabación real por dibujos calcados sobre cada fotograma (Figura 2.2)

En paralelo, los laboratorios de biomecánica comenzaban a utilizar ordenadores para analizar el movimiento humano. En la década de los 80, Tom Calvert, profesor de kinesiólogía y ciencias de la computación en la universidad Simon Fraser, Canada, incorporó potenciómetros a un cuerpo y la salida la usó para mover personajes animados por ordenador para estudios coreográficos y asistencia clínica para pacientes con problemas de locomoción.

En la década de los 70, cuando empezaba a surgir la posibilidad de realizar animaciones de personajes por ordenador, se conseguía naturalizar los movimientos mediante técnicas clásicas de diseño, como la técnica de rotoscopia. Esta técnica consiste en reemplazar los frames de una grabación real por dibujos calcados cada frame.

Pero mientras, los laboratorios de biomecánica empezaban a usar los ordenadores como medio para analizar el movimiento humano. En la década de los 80, un profesor de kinesiólogía y ciencias de la computación en la universidad Simon Fraser (Canadá), incorporó potenciómetros a un cuerpo y la salida la usó para generar personajes animados por ordenador, con el objetivo de ser utilizados por estudios coreográficos y asistencia clínica para ayudar a pacientes con problemas de locomoción.

A finales de los años 70, cuando se empezaba a hacer posible la animación de personajes por ordenador, los diseñadores comenzaron a usar las técnicas clásicas de diseño (como el rotoscopia). El rotoscopia era una técnica en la cual se utilizaban frames reales que se utilizaban como base para diseñar algo por encima, similar a calcar un folio por encima de otro que contiene lo que queremos copiar. Pero mientras, se empezaron a usar los ordenadores para analizar el movimiento humano, en estudios de biomecánica. Las técnicas y dispositivos usados en éstos empezaron a adoptarse en la comunidad de GC.

Al principio de los años 80, Tom Calvert, un profesor de kinesiólogía y ciencias de la computación en la Simon Fraser University, adhirió potenciómetros a un cuerpo y usó la salida para generar personajes animados por ordenador con objeto de ser usado en estudios de coreografía y asistencia clí-

nica para pacientes con problemas de locomoción. Por ejemplo, para analizar la flexión de rodilla, creó una especie de exoesqueleto para cada pierna, cada uno de los cuales tenía adherido un potenciómetro para analizar el grado de flexión. La señal analógica era digitalizada e introducida en un programa que hacía una simulación mediante una animación en el ordenador.

Poco después, comienzan a salir los primeros sistemas de seguimiento visual como el Op-Eye y el SelSpot. A principios de los 80, tanto el MIT como el CGL del NYTC experimentaron con dispositivos de seguimiento visual aplicados en el cuerpo humano.

Estos sistemas normalmente usan pequeños marcadores adheridos al cuerpo (tanto LEDs parpadeantes como pequeños puntos reflectantes) y una serie de cámaras alrededor del espacio de maniobras. Una combinación de hardware especial y software distinguen los marcadores en el campo visual de cada cámara, y mediante comparación, calculan la posición tridimensional de cada marcador en cada instante.

La tecnología está limitada por la velocidad a la que los marcadores pueden ser rastreados (esto afecta al número de posiciones por segundo que pueden ser capturadas), por la oclusión de los marcadores por el cuerpo y por la resolución de las cámaras (específicamente por su capacidad para diferenciar distintos marcadores próximos). Los primeros sistemas podían rastrear sólo una docena de marcadores al mismo tiempo. Los sistemas más recientes pueden distinguir varias docenas. Los problemas de oclusión se pueden superar con el uso de más cámaras, pero incluso con eso, los sistemas ópticos más modernos suelen requerir un post-procesamiento manual para recuperar trayectorias cuando un marcador se pierde de vista. Esto cambiará según los sistemas se vuelvan más sofisticados. El problema de la resolución está relacionado con varias variables, como el precio de la cámara, el campo de visión, y el espacio de movimientos. A mayor resolución requerida, mayor el precio de la cámara. La misma cámara puede dar una mejor resolución de movimiento si está enfocando un menor campo de visión, pero esto limita la capacidad de los movimientos a realizar. Por ello, casi todos los resultados de los sistemas de captura ópticos necesitan una post-producción para analizar, procesar y limpiar la información antes de ser utilizados.

## 2.3. Tecnología captura de movimiento

- Captura de movimientos óptica

- Captura de movimientos en vídeo o Markerless , LUZ ESTRUCTURADA de kinect

- Captura de movimientos inercial



## Capítulo 3

# Sensor Kinect

### 3.1. Versiones de Kinect

#### 3.1.1. Kinect V1

#### Características

Video: 640x480 @30 fps

#### 3.1.2. Kinect V2

COMENTARIO: Enlaces sobre las características de Kinect
---

<https://msdn.microsoft.com/library/jj131033.aspx>  
<https://msdn.microsoft.com/library/dn782025.aspx>  
<https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect/hardware>



## Capítulo 4

# Materiales y Métodos

En este capítulo se expondrán los materiales y métodos utilizados para el desarrollo del proyecto. En los siguientes apartados se explicarán con detalle y de forma técnica las tecnologías y los dispositivos utilizados para realizar este proyecto.

### 4.1. Software y hardware empleados

El software principal utilizado en este proyecto es Unity 5.5 (poner referencia), que es un motor de desarrollo de videojuegos. Para la edición , compilación y depuración de la programación de Unity se ha utilizado Visual Studio 2015 (poner referencia) con el lenguaje de programación C#.

COMENTARIO: Aquí raul pones los programas de modelado de avatar. Animaciones de mimamo,.
--

El hardware principal usado en este proyecto es el dispositivo de captura de movimiento kinect v2 (referencia) y el cable de conexión(nose como se llama, referencia).

#### 4.1.1. Entorno de desarrollo : Unity 3D

El objetivo de este proyecto es la captura y el análisis de movimiento relacionados con el arte marcial afro-brasileño capoeira(?referencia?). Con esto en mente, se llega a la primera decisión de que plataforma escoger para el desarrollo de este proyecto.

Los entornos a elegir serían Visual Studio 2015, Unity 3D y Unreal Engine 4 (referencia). El primero descartado es desarrollar directamente en Visual Studio 2015 porque se busca crear también un escenario 3D y, tanto Unity como Unreal ,facilitan la creación de estos escenarios.

En cuanto a la decisión de elegir entre Unity 3D o Unreal Engine 4 fue basada en la comunidad que hay detrás de cada uno de ellos, y sobre todo, en lo que se quiere abarcar con este proyecto. Unreal suele ser utilizado por las empresas para juegos grandes y mas profesionales , mientras que Unity se puede aplicar a pequeñas y grandes aplicaciones siendo su aprendizaje de este mas intuitivo que Unreal.

Y por ultimo la elección de lenguaje de programación siendo el lenguaje de C# una opción más sencilla para el desarrollo de este proyecto.(buscar diferencias claras)

## Comunidad de Unity

Video: 640x480 @30 fps

### 4.1.2. Kinect V2

COMENTARIO: Enlaces sobre las características de Kinect
---

<https://msdn.microsoft.com/library/jj131033.aspx>  
<https://msdn.microsoft.com/library/dn782025.aspx>  
<https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect/hardware>



## Capítulo 5

# Desarrollo Del Proyecto

Una vez elegida la tecnología y plataformas que se van a utilizar se empieza preparar el desarrollo del proyecto. En primer lugar se investigan que librerías y paquetes se necesitan para tener una buena conexión con kinect y que información obtenida del sensor de movimiento podemos aprovechar para el proyecto.

### 5.1. Paquetes para Unity

El primer paquete que se prueba es el que nos ofrece microsoft <sup>1</sup>, que es un paquete destinado principalmente para UnityPro.<sup>2</sup> Al añadir este primer paquete al proyecto se empieza a manifestar una serie de errores de scripts, esto es debido, a la incongruencia de versiones de Unity. El proyecto se desarrolla en Unity Personal, que es una versión gratuita de Unity , mientras que el paquete que ofrece microsoft esta especificado para Unity Pro. Aun así, se corrigen errores de comandos y llamadas a funciones obsoletas para ver si se puede aprovechar este paquete o no.

En una primera instancia se ejecuta la escena que viene como ejemplo en el paquete de Unity para ver su funcionamiento y se observa que tiene un comportamiento intermitente, es decir, cuando nos colocamos enfrente de la cámara de kinect a veces mostraba un esqueleto verde que emulaba la persona captada y otras veces dejaba de funcionar sin saber el error producido. Debatiendo e intentando comprender si estos errores se producían por conexión de kinect o por funcionamiento incorrecto de la librería que nos ofrecía microsoft se opto por la opción de descartar este paquete para evitar futuras frustraciones.

---

<sup>1</sup><https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect/tools>

<sup>2</sup>Unity profesional de pago con mas funcionalidad que Unity personal.

Después de descartar el paquete que nos ofrecía microsoft decidimos buscar en el Assets Store de Unity(Explicacion o referencia).Encontramos el paquete **Kinect v2 Examples with MS-SDK**(?Referencia o imagen?) que lo elegimos por su valoración positiva y también porque hay poca variedad de paquetes relacionados con kinect v2.

Este paquete tiene todo lo necesario para reconocer que la kinect está conectada y para poder utilizar los datos que se obtienen del sensor. En una primera toma, el paquete nos ofrece una serie de ejemplos sencillos para poder comprender mejor el funcionamiento de kinect.

Para que este paquete funcione es necesario tener instalado Kinect SDK 2.0 que son los drivers de la kinect v2 .

Los ejemplos que tiene implementado el paquete de Kinect v2 Examples with MS-SDK son variados:

- AvatarsDemo, simulador que muestra un avatar en tercera persona que correspondería a la persona captada y se puede controlar sobre el escenario 3D.
- BackgroundRemovalDemo, son ejemplos que cambian el fondo que se encuentra detrás del usuario captado.
- ColliderDemo, una serie de ejemplos para ver el funcionamiento de colisiones del usuario captado con los objetos que aparecen en la escena.
- FaceTrackingDemo, este ejemplo reconoce la dirección de tu cabeza para girar la cámara de la imagen para simular la vista humana.
- FittingRoomDemo, este ejemplo te da la opción de ponerte ropa encima de tu imagen real captada.
- GesturesDemo, serie de ejemplos de funcionamiento de los gestos de kinect.
- InteractionDemo, este ejemplo muestra como el usuario puede girar,rotar y agrandar un objeto con el movimiento de sus manos.
- KinectDataServer, implementa un servidor de datos para guardar información como gestos de kinect.
- MovieSequenceDemo, este ejemplo mostrará como reproducir un conjunto de frames de película con el cuerpo del usuario.
- MultiSceneDemo, este ejemplo concatenará diferentes escenas de Unity basadas en las componentes de este paquete.
- OverlayDemo, son tres ejemplos que muestras como interactuar con los objetos de la escena, para ello, se basa en el movimientos de los brazos y manos para hacer que los objetos se mueven, roten y se desplazen.

- **PhysicsDemo**, muestra una simulación de físicas que capta el movimiento del brazo para lanzar una pelota virtual.
- **RecorderDemo**, ejemplo que muestra como grabar y reproducir un movimiento captado por kinect.
- **SpeechRecognitionDemo**, ejemplo que sirve para realizar acciones por comandos por voz, aunque se producen errores cuando se probó este ejemplo.
- **VariousDemos**, implementa dos ejemplos, como pintar en el aire moviendo los brazos y el otro dibuja bolas verdes que se colocan en tus articulaciones simulando un esqueleto.
- **VisualizerDemo**, este ejemplo convierte la escena, según lo ve el sensor, en una malla y la superpone sobre la imagen de la cámara.

Una vez explicado los ejemplos, elegimos cual de ellos podríamos utilizar para aprovechar su funcionalidad y tener un apoyo base para el desarrollo del proyecto. Los ejemplos seleccionados serían el **AvatarsDemo**, **GesturDemo** y **RecorderDemo**, más adelante se explicará con más detalle que se utiliza de estos ejemplos.

#### 5.1.1. Grabar y reproducir movimientos de Usuario

Como el objetivo principal de este proyecto es el entrenamiento de actividades físicas se selecciona como ejemplo de primer estudio el **RecorderDemo** por su potencial para guardar y reproducir un movimiento.

En una primera vista nos muestra como representa al usuario captado por la kinect, esta representación se hace mediante un esqueleto verde que simula todo el movimiento que realiza el usuario.

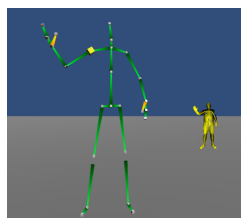


Figura 5.1: Esqueleto que simula el movimiento del usuario

Esta representación de esqueleto verde en el escenario de Unity es creada gracias al script de **Cubeman Controller**. Este script se inicializa con el número del cuerpo que quieres que muestre, kinect v2 puede detectar hasta 6 persona, y también si se quiere que el cuerpo este representado en modo espejo. Los datos del cuerpo del usuario se los pide al **Kinect Manager** (este script se explica más adelante). Los datos del cuerpo están definidos con 25 GameObjects llamados **Joints** que hacen una representación de la articulaciones del cuerpo humano en unas coordenadas (x,y,z) y su rotación. Los 25 **Joints** serían : cadera central y laterales , pecho, clavícula, cuello, cabeza, hombros, codos, muñecas, pulgares, manos centrales, rodillas, tobillos y pies.

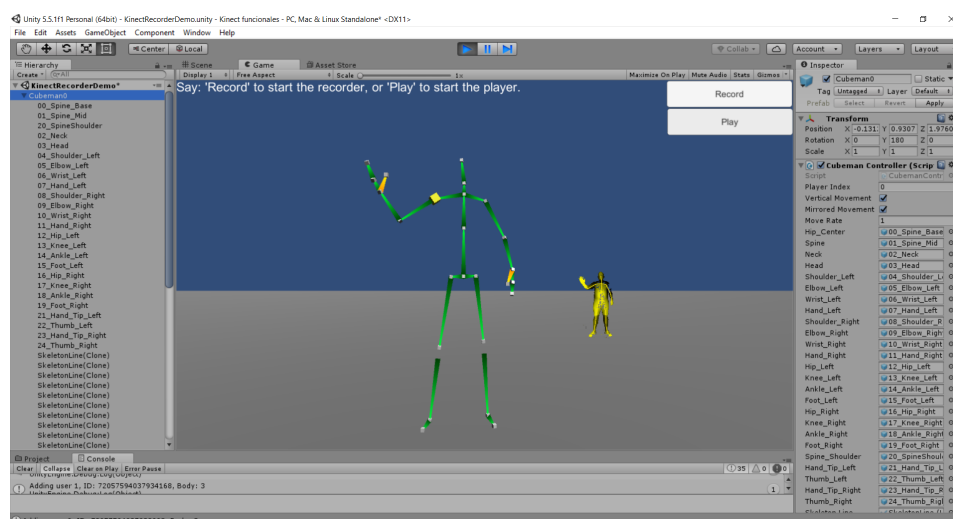


Figura 5.2: Cubeman con la lista de todos los Joints

Para hacer una representación correcta del esqueleto y se mueva como una entidad, el script **Cubeman Controller** pone la posición del Joint de la cadera base como la posición y rotación del objeto padre y todos los demás joint serán hijos de este GameObject. Para calcular la posición relativa de todos los Joints se resta la posición del padre con la posición de cada Joint dada por el Kinect Manager.

El script **Kinect Manager** es un Singleton<sup>3</sup> encargado de la comunicación entre el sensor de kinect y las aplicaciones de Unity.

<sup>3</sup>Es un patrón que consiste en que existe una única instancia y es la propia clase la responsable de crear la única instancia. Permite el acceso global a dicha instancia mediante un método de clase

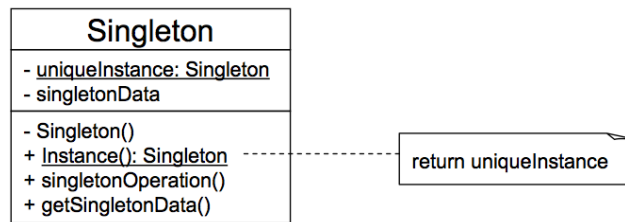


Figura 5.3: Patrón de Singleton

Este script al ser común a todos los ejemplos nombrados anteriormente implementa toda la funciones y comunicaciones necesarias para su funcionamiento, pero en nuestro caso se investiga como obtiene la información que le envía al **cubeman Controller**. Kinect Manager se encarga de analizar la información del **SensorData**, este SensorData es una estructura de datos ofrecida por el script **KinectInterop**<sup>4</sup> donde aparece la información de la imagen, profundidad, color y datos de los usuarios captado con el sensor. Los datos de los usuarios captados se encapsulan en el **BodyDataFrame**, esta estructura contiene la información del número de usuarios captados, su identificador ,la información de los BodyData<sup>5</sup>, etc.(¿pongo el codigo de la estructura?)

Una vez comprendido el SensorDatar se observa como el Kinect Manager ,analizando el BodyDataFrame, va actualizando y asignando a cada usuario el Id correspondiente con un BodyData en todo momento y pasando al Cubeman Controller esta información para que reproduzca el movimiento en el cubeman.

<sup>4</sup>Script encargado de tener comunicación directa con el sensor de la kinect

<sup>5</sup>Información de los joint de un cuerpo específico



## Capítulo 6

# Métodos

### 6.1. Escenas

En Unity, como se ha mencionado anteriormente, las escenas contienen los objetos del juego. Se pueden usar para crear un menú principal, animaciones, niveles, etc. En cada escena se ha creado un entorno diferenciado para cada una de las necesidades dadas.

Este entorno está pensado para ser utilizado por el alumno para que pueda aprender a realizar diferentes movimientos de capoeira sin la necesidad de que esté presente un profesor. El entrenamiento consiste en imitar una serie de movimientos, los cuales han sido previamente grabados por varios expertos en el arte marcial. El entrenamiento virtual se desarrolla acorde al nivel que posea el alumno, ya sea principiante, aprendiz o avanzado, de este modo, el alumno va aprendiendo a realizar los movimientos de forma progresiva.

Gracias a que el sistema compara frame a frame la posición del alumno con la del profesor virtual, este podrá realizar un análisis de las transiciones en las que está cometiendo algún error. Tras finalizar el movimiento, el asistente mostrará una animación de acierto en el caso de que el movimiento se haya realizado de forma correcta, o una animación de fracaso en el caso de que se produzca algún error en la ejecución del movimiento. Tras de sí, el análisis mostrará un esqueleto de las partes del cuerpo que tienen que ser corregidas en color rojo y en color verde las que deben permanecer invariantes, a demás, se mostrará una serie de indicaciones en forma de texto para que el alumno pueda corregir la posición de una forma mas efectiva.

Tras realizar una abstracción del flujo de ejecución que realiza el entrenador virtual entre las diferentes escenas, se muestra el diagrama de la lógica del sistema.

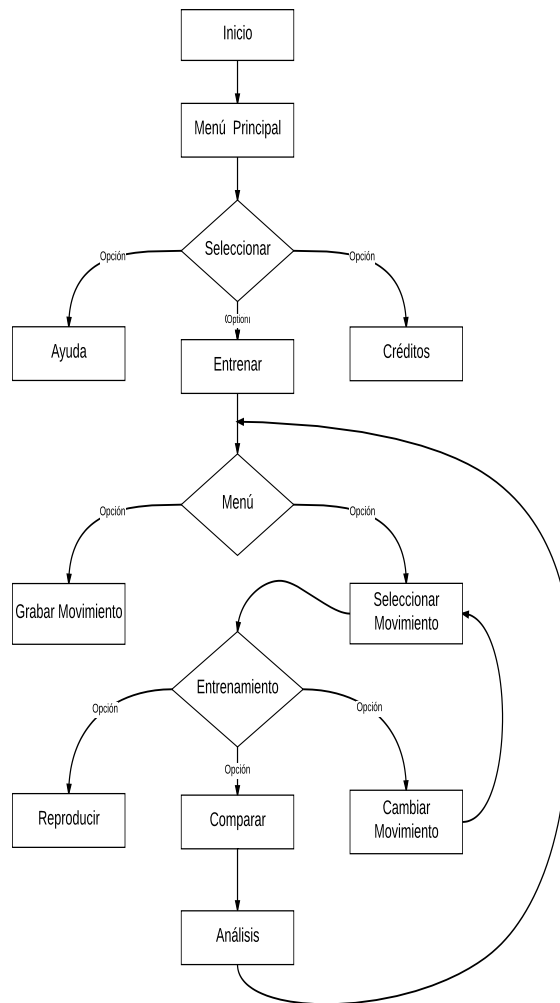


Figura 6.1: Diagrama que ilustra la lógica del sistema

### 6.1.1. Escena 1: Inicio

Se trata de la escena inicial del juego. Presenta una interfaz de tipo UI, la cual contiene el nombre de la aplicación y una breve descripción. A demás se muestran los 3 emblemas de las diferentes organizaciones presentes, como son la UCM, FDI y Abadá-Capoeira.



### **6.1.2. Escena 2: Menú Principal**

Tras pulsar el botón de inicio en la anterior escena, pasamos al menú principal, en el cual se puede decidir si se quiere empezar a entrenar, visualizar una ayuda sobre como utilizar la aplicación, los créditos o volver a la escena de inicio.

### **6.1.3. Escena 3: Ayuda**

Esta escena muestra varios mensajes de ayuda en los que se explica detalladamente el funcionamiento de la aplicación, además, de como obtener un mayor rendimiento, ya que serán necesarias unas pequeñas pautas para su utilización. También se resolverán las diferentes dudas que le puedan surgir al alumno.

### **6.1.4. Escena 4: Créditos**

Al igual que en la escena de ayuda, solo se podrá acceder desde el menú principal. Se muestra los créditos sobre los desarrolladores, organismos implicados, agradecimientos y las licencias utilizadas en el TFG.

### **6.1.5. Escena 5: Entrenar**

Tras seleccionar el tipo de usuario que utilizará la aplicación en la escena anterior, se desplegarán dos secciones diferentes.

#### **6.1.5.1. Profesor**

En el caso de que se trate del profesor, se podrá acceder a la funcionalidad añadida de la grabación de movimientos. La aplicación viene definida con 8 movimientos de capoeira capturados con la escuela Abadá-Capoeira. Por lo tanto el profesor podrá añadir los movimientos que crea oportunos para la correcta evolución del alumno, ya que cuando realice un movimiento de forma correcta, este será completado y así se mostrará en el listado de movimientos acorde al nivel seleccionado previamente.

#### **6.1.5.2. Alumno**



Parte I

Apéndices



# Apéndice A

## Así se hizo...

...

...

**RESUMEN:** ...

### A.1. Introducción

...



*—¿Qué te parece desto, Sancho? — Dijo Don Quijote —  
Bien podrán los encantadores quitarme la ventura,  
pero el esfuerzo y el ánimo, será imposible.*

*Segunda parte del Ingenioso Caballero  
Don Quijote de la Mancha  
Miguel de Cervantes*

*—Buena está — dijo Sancho —; fírmela vuestra merced.  
—No es menester firmarla — dijo Don Quijote—,  
sino solamente poner mi rúbrica.*

*Primera parte del Ingenioso Caballero  
Don Quijote de la Mancha  
Miguel de Cervantes*

