



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Balance Virtual (BALVIRT): Un novedoso sistema tecnológico de bajo coste para pacientes con alteraciones neurológicas usando realidad virtual.

Virtual Balance (BALVIRT): A novel low-cost technological system in patients with neurological disorders by using virtual reality

Autor

Alejandro N. Casino Sánchez

Director

Sergio Albiol Pérez

Escuela Universitaria Politécnica de Teruel  
2022



# AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi director de TFG y a todos los profesores que he tenido, tanto en la universidad como fuera de ella, por haber fomentado, el que hoy pueda estar entregando este trabajo ya que directa o indirectamente han influido. También a mi familia, que me han dedicado todo su tiempo, su esfuerzo y sus recursos con tal de educarme y formarme lo mejor posible para afrontar la vida. También a mi pareja y amigos, que han estado ahí, me han dado apoyo durante el tiempo que he estado realizando este trabajo.

Muchas gracias a todos vosotros.



# BALVIRT

## RESUMEN

Hoy en día, después de todo lo sucedido con el COVID-19, y la situación actual en la que se encuentra el mundo, se está aprendiendo a dar más valor al sistema sanitario. No obstante, es bien conocido que es uno de los campos que más dificultades económicas tiene para la compra de sistemas con tecnologías vanguardistas para los pacientes. Por eso se ha decidido realizar un sistema de rehabilitación virtual de bajo coste.

Este sistema se va a centrar en patologías de desorden neurológico con trastornos a nivel motor grueso de las extremidades superiores. Existen distintos tipos de enfermedades entre las que se encuentran los Accidentes Cerebro-vasculares (ACV), las parestias, la Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA), Distrofia de Becker o Parkinson entre otras.

El objetivo principal del Trabajo Final de Grado (TFG) es desarrollar el sistema BALVIRT. Siendo este un sistema, capaz de capturar información relevante a nivel cinemático de las extremidades superiores de los pacientes. Este novedoso sistema tecnológico simulará los ejercicios que han de realizar en la rehabilitación los pacientes, mediante la creación de un entorno virtual inmersivo y no invasivo para el mismo. A su vez, se ha realiza un estudio en el cuál se comparan los distintos sistemas de seguimiento y la argumentación de por qué se ha escogido un “sistema de seguimiento del esqueleto”. Se desarrolla un software específico usando un motor gráfico que es capaz de capturar en tiempo real los movimientos de un sujeto; también se almacenan los resultados de cada uno de los sujetos de forma local, con la finalidad de crear un historial del paciente y obtener datos, que posteriormente, se utilizan para analizar y conocer su evolución y mejora. Finalizando el documento con unas conclusiones sobre el TFG.

El principal problema que pretende resolver BALVIRT es: aliviar las alteraciones del equilibrio que presentan los pacientes con patologías motoras ocasionadas por el desorden neurológico. Además de hacer mas llevadero y cómodo su proceso de rehabilitación, al objeto de poder mejorar así su calidad de vida con un sistema de bajo coste, es decir, sin grandes inversiones de dinero.

# BALVIRT

## ABSTRACT

Nowadays, after everything that happened with COVID-19, and the current situation in which the world finds itself, we are learning to give more value to the healthcare system. However, it is well known that it is one of the fields that has more economic difficulties for the purchase of systems with cutting-edge technologies for patients. For this reason, it has been decided to develop a low-cost virtual rehabilitation system.

This system is going to focus on pathologies of neurological disorder with disorders at the gross motor level of the upper extremities. There are different types of diseases such as Cerebrovascular Accidents (CVA), paresis, Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS), Becker's Dystrophy or Parkinson among others.

The main objective of the Final Degree Project (TFG) is to develop the BALVIRT system. This system is capable of capturing relevant information at the kinematic level of the upper extremities of patients. This new technological system will simulate the exercises to be performed in the rehabilitation of patients, by creating an immersive and non-invasive virtual environment for it. At the same time, a study has been carried out in which the different tracking systems are compared and the argumentation of why a "skeleton tracking system" has been chosen. A specific software is developed using a graphic engine that is able to capture in real time the movements of a subject; also the results of each of the subjects are stored locally, in order to create a history of the patient and obtain data, which are subsequently used to analyze and know their evolution and improvement. The document ends with some conclusions about the TFG.

The main problem that BALVIRT aims to solve is: to alleviate the balance alterations presented by patients with motor pathologies caused by neurological disorders. In addition to making their rehabilitation process more bearable and comfortable, in order to improve their quality of life with a low-cost system, i.e., without large investments of money.

# Índice

<b>Lista de Figuras</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de Tablas</b>	<b>IX</b>
<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.1.1. Accidente Cerebro-vascular . . . . .	1
1.1.2. Neuropatías motoras . . . . .	2
1.1.3. Enfermedades de motoneuronas . . . . .	2
1.1.4. Miopatías . . . . .	2
1.1.5. Enfermedades desmielinizantes . . . . .	3
1.1.6. Trastornos del movimiento . . . . .	3
1.1.7. Ataxia . . . . .	4
1.2. Objetivos . . . . .	4
1.3. Descripción . . . . .	5
1.3.1. Sensor de seguimiento del esqueleto . . . . .	6
1.3.2. RV del sistema . . . . .	6
1.3.3. Datos de los pacientes . . . . .	6
1.4. Estructura del documento . . . . .	7
1.5. Conclusiones . . . . .	7
<b>2. Antecedentes</b>	<b>8</b>
2.1. Introducción . . . . .	8
2.2. Ingeniería de la rehabilitación . . . . .	8
2.3. Sensores y RV . . . . .	8
2.3.1. Sensores y sistemas de seguimiento . . . . .	8
2.3.2. Sistemas de seguimiento del esqueleto . . . . .	9
2.3.3. Principios de los sistemas de seguimiento del esqueleto . . . . .	10
2.3.4. RV . . . . .	12
2.4. Accesibilidad . . . . .	13

2.5.	Usabilidad . . . . .	14
2.6.	Estado del arte . . . . .	16
2.6.1.	Ejemplos de uso de entornos virtuales . . . . .	19
2.7.	Sistema elegido . . . . .	23
2.7.1.	Body Tracking SDK . . . . .	23
2.7.2.	Orbbec astra . . . . .	24
2.7.3.	Unity . . . . .	25
2.8.	Conclusiones . . . . .	25
<b>3.</b>	<b>Análisis</b>	<b>26</b>
3.1.	Introducción . . . . .	26
3.2.	Organización . . . . .	26
3.3.	Casos de uso . . . . .	27
3.4.	Requisitos del sistema . . . . .	28
3.5.	Arquitectura del sistema . . . . .	30
3.6.	Problemática . . . . .	30
3.6.1.	Elección de software . . . . .	31
3.7.	Conclusiones . . . . .	33
<b>4.</b>	<b>Diseño e implementación</b>	<b>34</b>
4.1.	Introducción . . . . .	34
4.2.	Diseño . . . . .	34
4.3.	Escenas . . . . .	35
4.3.1.	Menú principal . . . . .	35
4.3.2.	EV BALVIRT . . . . .	35
4.4.	Rutinas de ejercicios . . . . .	38
4.5.	Implementación . . . . .	40
4.5.1.	Puesta en marcha del sistema . . . . .	41
4.5.2.	Archivos de guardado local . . . . .	42
4.5.3.	Personalización de escena . . . . .	43
4.5.4.	Funcionamiento del seguimiento del esqueleto . . . . .	43
4.5.5.	Temporizadores . . . . .	44
4.5.6.	Rutina de ejercicios . . . . .	44
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>46</b>
5.1.	Cumplimentación de objetivos . . . . .	46
5.2.	Trabajos futuros . . . . .	49

<b>6. Bibliografía</b>	<b>51</b>
<b>Anexos</b>	<b>55</b>
<b>A. Instalación del driver y obtención de la documentación</b>	<b>56</b>
<b>B. Introducir licencia en Astra SDK</b>	<b>59</b>
B.1. Por medio de inspector . . . . .	59
B.2. Por medio de fichero . . . . .	60

# Lista de Figuras

2.1. Modelaje de cámara [17, 34] . . . . .	11
2.2. Profundidad por triangulación [17] [34] . . . . .	11
2.3. Profundidad por tiempo de vuelo [17, 34]. . . . .	12
2.4. Heurísticas de Nielsen [21] . . . . .	16
2.5. Comparación de esqueletos entre <i>Orbbec y Kinect</i> [25] . . . . .	19
2.6. Capturas de VR balance Training system [27] . . . . .	20
2.7. Captura de Kinect adventures [15] . . . . .	21
2.8. Captura de RemoviEM I[30] . . . . .	22
2.9. Captura de RemoviEM II[30] . . . . .	22
2.10. Captura de Motion Rehab AVE 3D[33] . . . . .	23
2.11. <i>Body Tracking SDK</i> [10] . . . . .	24
2.12. <i>Orbbec Astra</i> [10] . . . . .	24
3.1. Diagrama Gantt . . . . .	27
3.2. Diagrama casos uso BALVIRT . . . . .	28
3.3. Arquitectura BALVIRT . . . . .	31
3.4. BALVIRT con <i>Nuitrack</i> [28] . . . . .	32
4.1. Menú principal BALVIRT . . . . .	35
4.2. EV de BALVIRT . . . . .	36
4.3. EV desglosado . . . . .	38
4.4. EV desglosado II . . . . .	44
A.1. Primer paso [10] . . . . .	57
A.2. Segundo paso [10] . . . . .	57
A.3. Tercer paso [10] . . . . .	58
B.1. Primer paso [10] . . . . .	59
B.2. Segundo paso [10] . . . . .	60
B.3. Primer paso [10] . . . . .	60
B.4. Segundo paso [10] . . . . .	61

# Lista de Tablas

2.1. Artículos publicados a lo largo de los años [25] . . . . .	17
2.2. Comparación técnica entre <i>Kinect y Orbbec</i> [25] . . . . .	18

# Capítulo 1

## Introducción y objetivos

### 1.1. Motivación

El avance implacable de la tecnología hoy en día, es una realidad. Aunque existen métodos convencionales que siguen usándose, es normal que también progresen en el campo de la medicina. Cada día se encuentran más dispositivos electrónicos en los quirófanos, en las salas de espera, en los cuartos de los pacientes. Lo que hace 20 años era impensable, ahora es posible hacerlo. Los principales problemas son: ¿A qué coste? ¿Todo el mundo tiene acceso a estas tecnologías futuristas?

En este documento se va a hablar de una forma con bajo coste para facilitar o mejorar la rehabilitación en pacientes, con estas patologías que afectan a un gran porcentaje de la población mundial. Concretamente, las patologías relacionadas con desórdenes neurológicos con trastornos a nivel motor grueso de las extremidades superiores. Se van a analizar siete tipos de patologías: Accidente cerebro-vascular, neuropatías motoras, enfermedades de motoneuronas, miopatías, enfermedades desmielinizantes, trastornos del movimiento y atxias.

#### 1.1.1. Accidente Cerebro-vascular

Esta es una de las patologías más comunes, se da cuando se interrumpe o reduce el suministro de sangre a una parte del cerebro, lo que impide su funcionamiento normal.

Las causas pueden ser diversas y una de las complicaciones que ocasiona es la parálisis o pérdida del movimiento muscular, perdiendo el control de un lado del cuerpo o de ciertos músculos. El ejemplo más conocido de esta patología es el *Ictus*.

La rehabilitación para este tipo de patología es algo compleja, ya que dependiendo del lado afectado se le aplicará a un lado del cuerpo o a otro, puesto que, si ocurre en el lado derecho del cerebro, el daño se verá reflejado en el lado izquierdo del cuerpo y al revés si es en el lado izquierdo del cerebro [1].

### **1.1.2. Neuropatías motoras**

Es una consecuencia del daño de los nervios exteriores del cerebro y médula espinal. Causa debilidad, entumecimiento y dolor de forma esporádica, en extremidades superiores e inferiores. Puede ser provocado por una lesión traumática, infecciones, problemas metabólicos, causas hereditarias, etc. Un ejemplo de esta patología puede ser la **Paresia**.

Al tratarse de una enfermedad que puede afectar a la movilidad, se pueden paliar los efectos adversos de esta mediante sesiones de fisioterapia [2].

### **1.1.3. Enfermedades de motoneuronas**

También conocidas como enfermedades neuromusculares. Estas afectan a la funcionalidad de los músculos debido a problemas con los nervios, cuyo principal síntoma es la debilidad muscular. Una solución para intentar ralentizar este tipo de patologías es mantener a los pacientes activos, mediante ejercicios ligeros o rehabilitación. A continuación se explican dos tipos de patologías de enfermedad de motoneuronas.

#### **Esclerosis lateral amiotrófica**

Conocida también como ELA, es una enfermedad progresiva del sistema nervioso que afecta a las células nerviosas en el cerebro y en la médula espinal y, por lo tanto, causa pérdida del control muscular. La única manera conocida de contraer esta patología es mediante herencia genética [3].

#### **Paraplejía espástica hereditaria**

Conocido como SPG, es un grupo de trastornos neurológicos hereditarios y degenerativos que afectan principalmente a las células nerviosas motoras superiores. Esto provoca que poco a poco se limite la capacidad física del sujeto [4].

### **1.1.4. Miopatías**

La miopatía es un término que se utiliza para denominar todas las enfermedades que tienen relación con cualquier tipo de enfermedad muscular. Al ser enfermedades relacionadas con el sistema motor, una de las medidas básicas de rehabilitación está basada en sesiones periódicas de fisioterapia, aparte de los distintos fármacos que se le pueden recetar al paciente. A continuación, se va a hablar de las patologías más relevantes.

## **Miastenia gravis**

La principal característica es la debilidad y fatiga rápida de cualquiera de los músculos bajo el control voluntario de uno mismo. Se produce por una rotura de comunicación entre los nervios y el músculo. No tiene cura, pero si se pueden aliviar los síntomas mediante ejercicios ligeros [5].

## **Distrofia de Duchenne**

Patología que provoca debilidad progresiva y pérdida de masa muscular. Tampoco tiene cura, pero los medicamentos y el ejercicio controlado pueden ayudar a ralentizar los síntomas [6].

## **Distrofia de Becker**

Variación de la distrofia de Duchenne, dónde la progresión de la debilidad y de la pérdida de músculo es más lenta, y, por lo tanto, tarda más en manifestarse [6].

### **1.1.5. Enfermedades desmielinizantes**

Este tipo de enfermedades engloba a cualquier afección que provoque un daño en la cubierta protectora de las fibras nerviosas del cerebro, llamada vaina de mielina. Esto hace que los impulsos nerviosos se ralenticen o en peores casos que se detengan. No existe cura, y cada paciente puede afectarle de distinta forma. Se recomienda el uso de fármacos para reducir los daños y sesiones de fisioterapia.

## **Esclerosis múltiple**

Es la enfermedad desmielinizante más común, y se da cuando el sistema inmunitario ataca la vaina de mielina o a las células que lo mantienen, creando así lesiones que pueden cicatrizar [2].

### **1.1.6. Trastornos del movimiento**

Grupo de afecciones del sistema nervioso que provocan un aumento de movimientos aleatorios involuntarios. También puede producirse un mayor esfuerzo y lentitud en los movimientos voluntarios. Se procede a explicar más concretamente algún tipo concreto de la patología del trastorno de movimiento.

## **Parkinson**

Enfermedad neurodegenerativa, en la que el sistema nervioso se ve afectado en el ámbito del movimiento y dónde los síntomas aparecen de forma gradual y estructurada.

No tiene cura, pero con medicación y sesiones de fisioterapia, se puede intentar ralentizar para no llegar prematuramente a fases más peligrosas [7].

### 1.1.7. Ataxia

Esta patología se caracteriza por un deficiente control muscular que provoca movimientos torpes e involuntarios. Esto puede ocasionar que se tenga problemas con el equilibrio y coordinación en las manos. El tratamiento de esta patología puede variar en función del origen de esta, no obstante, es recomendable la fisioterapia y el ejercicio aeróbico para fomentar la mejoría del paciente [8].

## 1.2. Objetivos

El principal objetivo es la creación de un sistema que ayude en la rehabilitación de las patologías con desórdenes neurológicos con trastornos a nivel motor. Y, que a diferencia de otros sistemas, este sea de bajo coste, con la finalidad de que sea accesible para la mayor parte de la población posible, sin verse afectada la eficiencia o la eficacia. Al no ser un sistema invasivo, hace que sea más lúdico de cara al paciente, es decir, ocasiona que sea más llevadero y así, conseguir una mayor adherencia al tratamiento.

Este sistema está compuesto por un dispositivo (ya sea un ordenador, móvil, mini-ordenador), capaz de ejecutar una aplicación en *Unity* [9] y conectarse con una cámara *Orbbec Astra* [10]. Este dispondrá de un escenario virtual, donde el sujeto tendrá que realizar una serie de acciones con las extremidades superiores de su cuerpo, en aras de conseguir una mejora a nivel de sistema motor y además forzar a este que realice movimientos que ayuden a su rehabilitación. Se utiliza este entorno virtual (EV) para motivar la concentración y la adherencia al tratamiento del paciente.

El sistema tiene que ser capaz de:

- Detectar y almacenar los movimientos del sujeto mediante un “sistema de seguimiento del esqueleto”.
- Hacer más liviano el trabajo de los fisioterapeutas.
- Obtener datos de cada uno de los pacientes, y así poder tener información de como es la evolución del sujeto.
- Ayudar a los pacientes a no perder movilidad y fuerza o incluso a ganarla.

### 1.3. Descripción

Balance Virtual (BALVIRT) es un sistema compuesto por distintos módulos, los cuales se han delimitado para una mejor comprensión de la utilidad de cada uno.

- Sensor de seguimiento del esqueleto.
- Software de conexión.
- Realidad virtual (RV) del sistema.
- Obtención de datos de los pacientes.

Antes de entrar en detalle de las distintas secciones de BALVIRT se va a describir como se realizaría el paso a paso de la puesta en marcha del sistema.

1. Se conecta la cámara al dispositivo (móvil o ordenador) y se inicia la aplicación BALVIRT.
2. Ahora, pasa a ser el momento de preparar una zona de trabajo segura para el paciente.
3. Se tiene que situar al paciente en medio de la sala, sentado y con la cámara apuntando a la parte superior del cuerpo.
4. Una vez establecido el paciente, el/la ayudante pasará a cumplimentar los datos del paciente.
  - Nombre.
  - Número de identificación de la sesión.
  - Edad (Opcional).
  - Patología (Opcional).
  - Lado que tenga más afectado (Opcional).
5. Se realiza el ejercicio para este paciente, y se almacena el resultado actual.
6. Se puede obtener los datos del paciente, o bien terminar la sesión.

La explicación de la puesta en marcha del sistema se detallará en profundidad en el Apartado 4.5.1. A continuación, se procede a introducir un poco la funcionalidad de cada uno de los módulos.

### 1.3.1. Sensor de seguimiento del esqueleto

BALVIRT utiliza el sensor y cámara *Orbbec Astra* [10]. Este sensor de marca *Orbbec* [10] está creado para reconocimiento de rostros, de gestos y seguimiento del cuerpo humano, además de obtener y trabajar con imágenes 3D. Este dispositivo va a ser el encargado de detectar el movimiento de los ejercicios de los pacientes.

El punto fuerte de este es la capacidad de seguir el movimiento del sujeto sin que este lleve ningún tipo de dispositivo vestible o físico, ya que esto puede resultar invasivo, lo que ocasiona que este esté más cómodo y los movimientos no sean forzados o artificiales, porque, si se depende de un traje que capture los movimientos puede hacer que estos limiten el movimiento del paciente.

Este sensor detecta todos los movimientos del paciente, mediante el software de *Astra SDK* [11] el cual realiza la comunicación con la parte lógica de la realidad virtual, se realizan las interacciones.

### 1.3.2. RV del sistema

*Unity* [9] ha sido el motor gráfico escogido para realizar la “*realidad del paciente*” es decir, el EV. Es un motor de videojuegos multiplataforma, de los más usados actualmente. Su programación se realiza en *C++* y *C-sharp* tiene una gran comunidad que avala su buen funcionamiento. Para la realización de la interfaz gráfica no solo es necesario el uso de *Unity* [9], ya que hay que realizar la conexión entre la interfaz y el sensor de seguimiento del esqueleto, para eso se ha utilizado *Astra SDK* [11], el sistema de seguimiento 3D propietario de *Orbbec* [10] .

### 1.3.3. Datos de los pacientes

El tratamiento de los datos de los pacientes se va a realizar de manera local, estos datos se almacenarán en ficheros *Json* de forma individual para su posterior análisis. La elección de un sistema de almacenamiento local se debe a varios factores, los cuales son:

1. La seguridad, ya que la información sensible debe tener un tratamiento de seguridad mayor que cualquier otro tipo de datos.
2. Al no depender de un sistema de base de datos concretamente es mas fácil que un profesional lea esos datos desde cualquier tipo de dispositivo, lo que fomenta la usabilidad.
3. Al no depender de un sistema de base de datos, el sistema BALVIRT puede

trabajar de manera local sin necesidad de ningún tipo de conexión a internet, lo que fomenta el uso de dicho sistema en cualquier lugar.

## **1.4. Estructura del documento**

Este documento se va a dividir en distintas secciones siguiendo una estructura similar a la “pirámide invertida”, es decir, empezando por las temáticas más generales y finalizando con los detalles. El orden es el siguiente:

1. Introducción. Es la sección actual, en la que se introduce al tema en general y la elaboración de objetivos.
2. Antecedentes. Todo lo que hay que saber antes de entrar en el grueso del tema. Alternativas a BALVIRT, principales competidores, principios de usabilidad y accesibilidad.
3. Análisis. En este punto se habla de los casos de uso, los requisitos funcionales del sistema y un poco su funcionamiento, además de la problemática, surgida mientras se realiza el proyecto.
4. Diseño e implementación. Esta sección es en la que se entra en profundidad en la toma de decisiones de diseño e implementación; además de los recursos e información aplicada al diseño.
5. Conclusiones. Conclusiones globales tanto del sistema creado cómo de su elaboración y trabajos futuros.

## **1.5. Conclusiones**

En este primer capítulo se realiza una introducción de todo el sistema BALVIRT con la finalidad de dar una idea general. Se hace un estudio de los distintos tipos de patologías a las que se desea aplicar BALVIRT. Además, se lleva a cabo una traza de cómo se pondría en marcha el sistema y explica su funcionamiento. Se enumera el software y hardware utilizado, y, qué función tiene cada cual. Para finalizar este apartado, se presentan los distintos contenidos que se van a encontrar a lo largo de este documento.

# Capítulo 2

## Antecedentes

### 2.1. Introducción

El avance de la tecnología ocurre inexorablemente, por ello, las técnicas de diagnóstico y rehabilitación cada vez son más avanzadas. A día de hoy es relativamente común encontrarse con autómatas que pueden operar con precisión milimétrica, o el uso de la RV para ayudar a pacientes en su rehabilitación.

En este documento se va a explorar el uso de la RV. Para ello hay que conocer los distintos tipos de sensores aplicados ya introducidos en el entorno de la salud pública y privada, además de los distintos proyectos que se están desarrollando actualmente.

Es decir, los sensores que realmente pueden tener un uso en el campo de la medicina, o que se usen para aliviar la sintomatología de los pacientes con patologías similares a las nombradas en el apartado 1. Por lo tanto, se va a ahondar en las diversas opciones que han hecho uso de seguimiento del esqueleto y sensores [15].

### 2.2. Ingeniería de la rehabilitación

Para empezar hay que hablar del concepto por el que se realizan todos estos tipos de proyectos. Se conoce a la ingeniería de rehabilitación como: *“el uso de la ciencia y los principios de la ingeniería para: 1) desarrollar soluciones y dispositivos tecnológicos para asistir a las personas con discapacidades; y 2) para ayudar a la recuperación de las funciones físicas y cognitivas perdidas debido a una enfermedad o lesión.”* [12]

### 2.3. Sensores y RV

#### 2.3.1. Sensores y sistemas de seguimiento

Los sensores de seguimiento tridimensionales como el que se dispone para este sistema, juegan un papel cada vez más importante en la industria y en el día a día.

Estos son más accesibles y asequibles para un uso personal, de forma comercial. Lo cual antes era impensable. Este tipo de sensores obtienen una de las mejores precisiones y menor fluctuación de movimiento, que hace que la fiabilidad de los datos sea mayor que con otro tipo de sistemas [13].

Existen distintos tipos de sensores y sistemas de seguimiento en el mercado actual, a los cuales se les puede dar distintas funcionalidades, dependiendo sobretodo de la finalidad de uso y la permisibilidad de la empresa fabricante. Aunque exista mucha variedad, esto no es la panacea, actualmente estos sistemas también tienen sus limitaciones [34]. Funcionan con tecnología de detección óptica, y se pueden dividir en sistemas pasivos y activos.

### **Pasivos**

Estas técnicas pasivas capturan el objeto desde diferentes puntos de vista. Construyen correspondencias con las imágenes capturadas basándose en la consistencia de las fotos y recuperación de la profundidad utilizando la triangulación. La ventaja obvia de las técnicas pasivas es que sólo utilizan receptores de luz, lo que conlleva un coste reducido y una configuración de hardware sencilla [15].

### **Activos**

Los métodos activos superan los retos fundamentales de los métodos pasivos al iluminar activamente el objeto de forma conocida. Según el principio de recuperación de la profundidad, los métodos activos pueden clasificarse en métodos basados en la triangulación y en el tiempo de vuelo [15].

## **2.3.2. Sistemas de seguimiento del esqueleto**

Los sistemas de seguimiento del esqueleto, son una forma de identificar las distintas articulaciones de un ser humano, estas se identifican como puntos de interés y pueden proporcionar información relevante. Entre los distintos tipos de sistemas de seguimiento, se pueden clasificar en invasivos y no invasivos.

### **Invasivos**

Estos sistemas generan el seguimiento del esqueleto a partir de una serie de sensores colocados estratégicamente por todo el cuerpo del paciente, creando así suficientes puntos de interés como para analizar los distintos movimientos del sujeto. Esto se considera invasivo, ya que atenta contra el espacio personal de los pacientes, este tipo de sistemas no es muy recomendable para pacientes con este tipo de patologías, debida

a la limitación del movimiento que tienen en algunos casos. Esto puede ocasionarles estrés o ansiedad. En algunos casos sólo se precisa de la colocación de sensores en las extremidades, aliviando la carga de sensores para los usuarios [15].

### **No invasivos**

Son los tipos de sistemas con los que se van a trabajar en este TFG. Se ha escogido este tipo de sistemas en aras de respetar el espacio personal de los pacientes. Estos funcionan mediante un dispositivo hardware que captura el esqueleto del paciente, y calcula los distintos puntos de interés mediante la profundidad por triangulación y por tiempo de vuelo, dos conceptos que se explican a continuación. Una vez se han definido, realiza el seguimiento del sujeto. Aunque el seguimiento en este tipo de sistemas puede parecer más volátil o menos robusto, pueden sacar resultados muy relevantes y el precio de estos sistemas es mucho menor que el de los invasivos [15].

### **2.3.3. Principios de los sistemas de seguimiento del esqueleto**

La elección del sistema de seguimiento del esqueleto a día de hoy, puede ser algo complejo, ya que hay suficientes alternativas como para estudiarlas detenidamente. Para ello se ha obtenido información de una serie de dispositivos para observar cuales son sus ventajas y desventajas, entre ellos se encuentran: Bumblebee2, ZED, Intel D415 y Intel D435, Kinect V1 y V2, Orbbec Astra, Zebris... [16, 32]. Estos sensores se han evaluado según tres parámetros: modelaje de cámara (*Camera model*), profundidad por triangulación (*Depth by triangulation*) y profundidad por tiempo de vuelo (*Depth by time-of-flight*). A continuación, se explicará en que consiste cada uno de ellos.

#### **Modelaje de cámara**

El modelo de cámara estenopeica describe la relación matemática entre las coordenadas de un punto en el espacio tridimensional y su proyección en el plano de la imagen de una cámara estenopeica ideal, en la que la apertura de la cámara se describe como un punto y no se utilizan lentes para enfocar la luz, como se puede ver en la Figura 2.1 [17, 34].

El modelo no incluye, por ejemplo, las distorsiones geométricas o el desenfoque de los objetos desenfocados causados por las lentes y las aberturas de tamaño finito. Tampoco tiene en cuenta que la mayoría de las cámaras prácticas solo pueden usarse como una aproximación de primer orden del mapeo de una escena 3D a una imagen 2D. Su validez depende de la calidad de la cámara y, en general, disminuye desde el centro de la imagen hacia los bordes a medida que aumentan los efectos de distorsión del objetivo [17, 34].

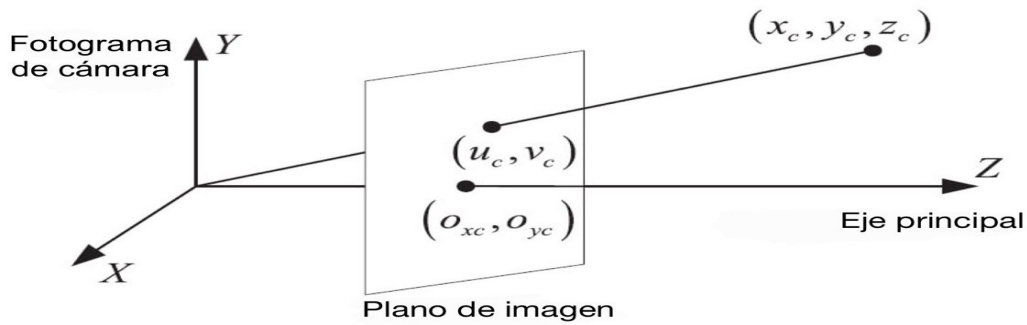


Figura 2.1: Modelaje de cámara [17, 34]

### Profundidad por triangulación

Los métodos de triangulación derivan la profundidad del objetivo, encontrando correlaciones en las observaciones desde diferentes perspectivas. Las correspondencias pueden derivarse de varias maneras, incluyendo la estereovisión activa, la estereovisión pasiva y la luz estructurada. En primer lugar, se presenta el principio y el modelo matemático de los sistemas de triangulación y, a continuación, se explica el principio de derivación de la correspondencia para cada tipo de método. [17, 34]

La Figura 2.2 ilustra la configuración típica de un sistema de triangulación. Para las técnicas de estereovisión pasiva y estereovisión activa, el dispositivo A y el dispositivo B son dos cámaras; para las técnicas de luz estructurada, uno de ellos es una cámara y el otro es un proyector [17, 34].

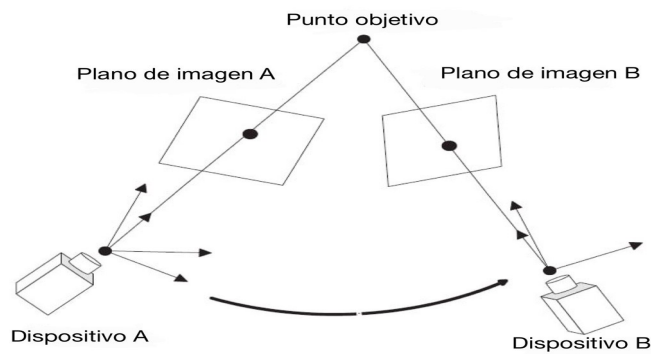


Figura 2.2: Profundidad por triangulación [17] [34]

### Profundidad por tiempo de vuelo

Las cámaras del tiempo de vuelo estiman directamente la distancia entre el objetivo y el dispositivo midiendo el tiempo de vuelo de las señales ópticas. La Figura 2.3 muestra la configuración de un sistema de tiempo de vuelo óptico, que consta de un transmisor de luz y un receptor de luz.

El transmisor de luz emite luz modulada sobre la superficie del objetivo, y el receptor detecta la luz reflejada. La distancia objetivo-dispositivo se puede calcular a partir del tiempo de ida y vuelta  $\Delta t$  como: se muestra en la Fórmula 2.1 [17, 34].

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \quad (2.1)$$

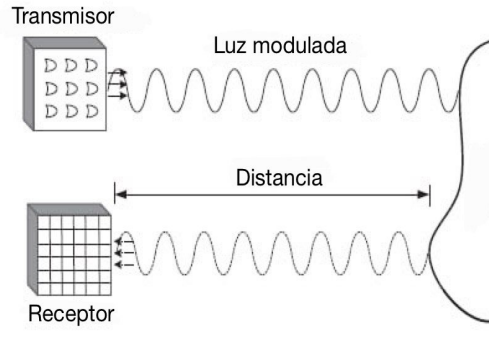


Figura 2.3: Profundidad por tiempo de vuelo [17, 34].

#### 2.3.4. RV

La RV es un término relativamente reciente y se define como: “*La simulación de un entorno real generado por ordenador, en el que, a través de una interfaz hombre-máquina, se va a permitir al usuario interactuar con ciertos elementos dentro del escenario simulado*” [18].

Tomando como referencia la definición de RV, haciendo uso de esta, se puede intentar mejorar la forma en la que se realiza la rehabilitación, las alteraciones motoras y/o cognitivas en pacientes, o en su defecto, hacer que el transcurso sea más ameno, aparte de que da la posibilidad de evaluar mejor el rendimiento funcional [35].

Por ejemplo, un paciente que sufre de parestesia, pero ha sido esquiador toda su vida, gracias a un entorno de RV es capaz de revivir el recuerdo de esquiar. El enfoque de este sistema es, ayudar a los sujetos para mejorar su calidad de vida y ayudar a reducir el impacto de la enfermedad. Por consiguiente, ¿qué mejor forma de ayudar, que demostrar que pueden seguir haciendo las cosas que acostumbran a hacer a pesar de su patología?

Existen sistemas como RemoviEM [30] que demuestran que el uso de la RV para la rehabilitación proporciona mayor motivación y evolución a los pacientes ante los métodos de rehabilitación tradicionales. De este caso se hablará más adelante en el Apartado 2.6.1.

Además de esto, hay evidencias reales de qué gracias al uso de la RV en sistemas creados con asesoramiento profesional clínico, hay mejoría de los pacientes que hacen uso de ellos [31].

Está claro que la RV y su uso para la rehabilitación es una herramienta útil para solucionar patologías motrices, no obstante, a día de hoy hay pocas entidades sanitarias que den un uso real a estos sistemas de bajo coste.

Por ejemplo, existe un sistema de tele-rehabilitación llamado “Bringing Virtual Rehabilitation to the Home”, que nace en Milán y surge de la necesidad de abaratar costes, ya que el sistema sanitario de salud convive con una limitación económica que imposibilita la inversión en sistemas caros para la atención de los pacientes [37].

## 2.4. Accesibilidad

En esta sección se va a centrar en los distintos parámetros de la accesibilidad que se han tenido en cuenta a la hora de realizar el sistema BALVIRT. Se entiende como accesibilidad a la capacidad de que la mayor cantidad de las personas puedan acceder a un contenido, en este caso al sistema BALVIRT.

Para BALVIRT la accesibilidad es algo muy importante, ya que el sistema busca el poder ayudar a los pacientes con las patologías que se explican en el Apartado 1. Se han elaborado una serie de medidas para lograrlo, las cuales se explican a continuación [19]:

1. La primera medida tomada para el sistema BALVIRT es la elección de colores, ya que se han escogido una gama de colores derivados del azul celeste y verde claro. Estos colores son conocidos porque transmiten una sensación de calma que no altera al paciente.
2. Otra medida de usabilidad es el tamaño de letra, por el hecho de que se ha escogido un tamaño de letra grande para que pueda verlo claramente todo tipo de personas.
3. La claridad en los textos, concisos y simples, hacen que sea más fácil de que el mensaje llegue a todas las personas. Además de la capacidad de que las instrucciones se lean en voz alta para la gente que no tiene la capacidad de ver o de leer la pantalla.
4. Contraste entre el fondo y el texto para fomentar la claridad del texto y que sea de fácil lectura. Colores claros con un color de texto oscuro.

5. Tipografía sencilla y sin adornos o remates, haciendo así que el contenido del texto sea la prioridad.
6. Botones, que además de tener textos, van acompañados con colores para así ayudar a la comprensión de la funcionalidad.
7. Los botones están señalados correctamente con un color y recuadro distinto al color de fondo y dejando suficiente área segura para poder seleccionarlo sin problemas.
8. Los campos texto están adecuadamente indicados por un título y el contenido que tiene que almacenar dicho campo.
9. La información más importante se encuentra en primera instancia y la información menos relevante se encuentra en segundo plano.
10. Las instrucciones a seguir se dan de forma escrita y desarrollada para la mejor comprensión de todas las funcionalidades por parte de todos los usuarios.
11. Se utilizan componentes propios de los sistemas a utilizar, es decir se hace uso de los paquetes propios de *Orbbec* [10] y *Unity* [9] para que el usuario no tenga que adquirir estos paquetes de la aplicación a empresas de terceros.

## 2.5. Usabilidad

Para evaluar la usabilidad del sistema BALVIRT se va a hacer uso de las heurísticas de Jakob Nielsen [20]. Se conoce como usabilidad a la facilidad que tiene un usuario para utilizar un sistema y aprender cómo funciona. A continuación se van a nombrar las diez heurísticas de Nielsen, se puede ver un resumen de ellas en la Figura 2.4 y se van a relacionar con el sistema BALVIRT:

1. Visibilidad del estado del sistema. El estado del sistema está todo el tiempo visible, ya que en todo momento se sabe si el usuario está conectado, cuál es la siguiente instrucción o ejercicio a realizar, además de que si algo dentro del sistema falla, se avisa mediante una ventana flotante al usuario para que pueda actuar en consecuencia.
2. Coincidencia entre sistema y mundo real. Hoy en día vivimos en una sociedad de imágenes y el contenido asociado a ellas. En BALVIRT los componentes están colocados de izquierda a derecha en función de la prioridad en la que se deben usar, ya que, actualmente residimos en una sociedad occidental, los textos y

componentes se encuentran por prioridad de izquierda a derecha. Además, los botones tienen asociados colores con ideas. Por ejemplo, el botón verde está asociado a una buena respuesta, mientras que el rojo está asociado a una mala.

3. El usuario tiene capacidad de control y libertad. En BALVIRT no existe algo tan crítico como para poder deshacer durante la ejecución de la aplicación. Aunque en las mejoras futuras de BALVIRT que se encuentran en el Apartado 5.2, se ha tenido en cuenta la adición de un botón para que se cancele el último ejercicio y el paciente tenga que repetirlo.
4. Consistencias y estándares. En este caso se habla de que no existen ambigüedades entre los distintos componentes y los nombres que los representan. Esta heurística entra en contacto con una de la toma de decisiones por accesibilidad explicada en el Apartado 2.4. Como ya se ha hablado en el anterior apartado, se hace uso de identificadores claros y simples, acompañados de simbolología o color para facilitar el uso de este sistema.
5. Prevención de errores. BALVIRT hace uso de ventanas emergentes para una vez terminada la sesión dar la posibilidad al usuario de imprimir sus propios resultados o no. Al primar la simplicidad del uso del BALVIRT para que todo el mundo pueda usarla, no existen (además de la nombrada anteriormente en el Apartado 2.4) muchas situaciones a las que se pueda aplicar esta heurística
6. Reconocimiento en lugar de recuerdo. Esta heurística tiene como objetivo dar uso a lo aprendido y no crear nuevos aprendizajes complejos. Esto es importante dado el perfil de los usuarios de BALVIRT y como se habla en el Apartado 2.4, es prioridad el uso de botones similares a los que se pueden encontrar hoy en día en cualquier aplicación. Además de utilizar una gama de colores acorde con su significado y, por último, la colocación de los elementos se dan de forma que sea agradable y de forma lógica para su ejecución.
7. Flexibilidad y eficiencia de uso. Esto es un concepto un poco complejo hoy en día, ya que existe una brecha generacional en el ámbito de la tecnología. Aunque esta cada vez es menor, es un punto de inflexión para los sistemas que trabajan con un amplio rango de edad. En BALVIRT se hace uso de lenguaje simple, para poder ser utilizado por todo el mundo, y como mejoras futuras en el Apartado 5.2, se pretende ampliar el número de sistemas operativos en los que BALVIRT podría ejecutarse sin problemas.

8. Diseño estético y minimalista. Como se ha hablado ya en el anterior Apartado 2.4 y en las anteriores reglas heurísticas, BALVIRT es un sistema que da prioridad al diseño claro y preciso para que todo el mundo pueda comprender como funciona. Además, este sistema contiene un diseño estético agradable a la vista para evitar cansancio innecesario por culpa de la interfaz.
9. Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores. En BALVIRT los errores que se pueden cometer actualmente, son mínimos y nada trascendentes en el transcurso de la ejecución del programa. El único error que se le puede proporcionar al usuario es el que ocasionaría la cámara al no estar correctamente conectada o no disponer de los drivers correctos para el funcionamiento del BALVIRT. Además de los mensajes de ayuda de la interfaz, se encuentra el anexo A dónde se explica el como instalar correctamente la cámara.
10. Ayuda y documentación. En BALVIRT al ser un sistema nuevo es necesario tener una buena documentación, en este TFG ya se encuentra documentada la puesta en marcha del sistema, de la configuración de la escena y de un manual de instrucciones más detallado para la instalación de la cámara por parte de *Orbbec*[10]. Además de estas instrucciones, los campos a rellenar y los ejercicios tienen comentarios para ayudar a la comprensión del sistema y a su correcto uso.



Figura 2.4: Heurísticas de Nielsen [21]

## 2.6. Estado del arte

De los sensores mencionados anteriormente en el Apartado 2.3.3 solo se van a comparar la *Kinect 2* [22] y *Orbbec Astra* [10] que son las dos opciones de las que

se dispone en la Escuela Universitaria Politécnica Teruel (EUPT). Además de que son las dos opciones más utilizadas actualmente.

*Kinect 2* [22] se desarrolló exclusivamente para los juegos, y para competir contra la cámara de *Playstation* [23], su principal competidor, esta se llama *Eye Toy* [23]. Con el tiempo, se fueron desarrollando sistemas con los que se pretendía ayudar a los pacientes, basando su fuente de información en sistemas de seguimiento del esqueleto o cámaras.

Desde el 2007 hasta el 2018 se han publicado numerosos artículos con esta temática (sobre unos 86), viendo un notable incremento en los años del 2013 al 2015 [36], como se muestra en la Tabla 2.1 (en el eje Y, número de artículos publicados y en el eje X, los años).

Aunque no estén representados los datos obtenidos en estos últimos años en la Tabla 2.1, la demanda de este tipo de sistemas se ha disparado debido a la situación de emergencia que se ha vivido recientemente, haciendo este campo mucho más atractivo para realizar estudios sobre él.

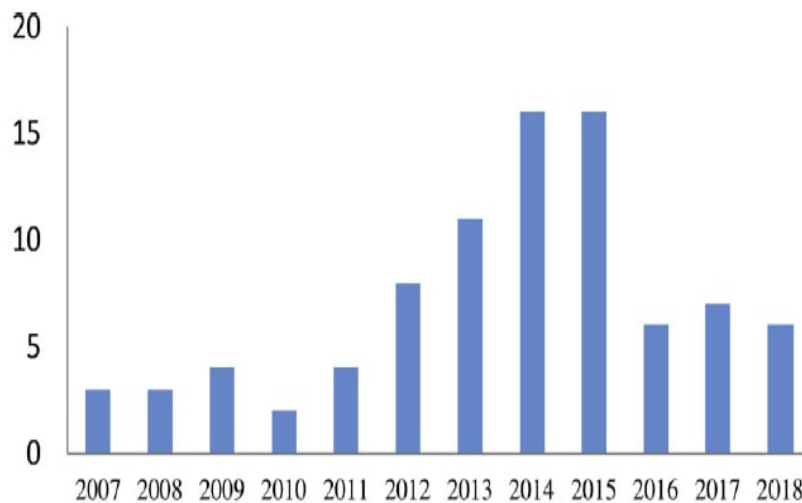


Tabla 2.1: Artículos publicados a lo largo de los años [25]

*Microsoft Kinect* [22] es un sensor de interfaz natural capaz de detectar y seguir las articulaciones del humano y su movimiento, compuesto por una cámara RGB, un proyector IR, un sensor de profundidad y un conjunto de micrófonos.

La versión del SDK propietario de *Kinect* [22] que se utiliza para la estimación del esqueleto y el seguimiento, es la 2.0. Esta hace uso de la estimación del tiempo de vuelo, y es capaz de rastrear 25 articulaciones para hasta 6 usuarios simultáneamente, con un rango de profundidad de 0,5 a 4,5 metros.

Los dos SDK de *Microsoft Kinect* [22] son compatibles únicamente con los sistemas operativos Windows (Windows 7 y superiores para *Kinect*[22] para *XBox 360*, y

*Windows 8* [24] y superiores para *Kinect*[22] *XBox One*). Esto hace que sea una opción poco escalable y reusable, ya que no serviría para sistemas basados en *Linux*, *Android* o *iOS*.

Mientras tanto, el sensor *Orbbec* [10] está compuesto, de forma similar al *Kinect*, por una cámara RGB, una cámara de profundidad, un proyector de infrarojos y dos micrófonos. Tiene una resolución de 640x480 para la cámara de profundidad y de 1280x960 para la RGB, ambas a 30 fotogramas por segundo, utilizando USB 2.0 como interfaz de datos.

El campo de visión es de 60 grados en horizontal, 49,5 grados en vertical y 73 grados en diagonal. El rango de profundidad es de 0,6 - 8,0 metros (óptimo entre 0,6 - 5,0 metros) para la versión de *Orbbec Astra* [10] actual, pero también hay una versión de corta distancia del sensor, *Orbbec Astra S* [10], con un rango de profundidad de 0,4 - 2 metros [25]. En la Tabla 2.2 se muestra una comparación entre los dos dispositivos.

<b>Criterios</b>	<b>Kinect 2</b>	<b>Orbbec</b>
Color de cámara	1920×1080, 30fps	1280×960, 7fps or 640×480, 30fps
Profundidad de cámara	512×424, 30fps	640×480, 30fps
Rango de profundidad	0.5-4.5m	0.5-4.5m
Campo de visión	70°horizontal 60°vertical	60°horizontal 49.5°vertical
SDK	Microsoft SDK 2.0	Astra SDK, OpenNI
Articulaciones del esqueleto	25	19
Conexión	USB 3.0	USB 2.0
Sistema operativo	Windows 8/10	Windows 7/8/10, OS X Linux, Android
Procesador	x64-based @ 3.1 GHz	x86-based @ 1.8+ GHz

Tabla 2.2: Comparación técnica entre *Kinect* y *Orbbec* [25]

Aunque hay muchas similitudes, el sensor de *Orbbec* [10] ha sido diseñado para varios usos con PC, tabletas o smartphones (a diferencia de *Kinect*[22], que estaba destinado exclusivamente para juegos, para ser utilizado con la consola *XBox*). Este sensor es compatible con varios sistemas operativos, plataformas y dispositivos (SDK basado en *C++*), así como varias macros de sensores de movimiento 3D existentes, que son de código abierto y altamente apoyados por una comunidad de desarrolladores.

En la figura 2.5 se muestran los dos esqueletos en una postura de bipedestación. En esta se puede ver que *Kinect 2* [22] cuenta con 6 articulaciones adicionales, para los pies, los pulgares y las puntas de los dedos de las manos.

Las otras articulaciones son: los pares de articulaciones derecha e izquierda para el pie (tobillo), la rodilla, la cadera, mano, muñeca, codo y hombro, y las articulaciones

no pares para la columna vertebral en la base, la parte media (central), el hombro y el cuello, y la articulación de la cabeza.

Como puede verse en la Figura 2.5, hay una ligera diferencia en la localización de las articulaciones, especialmente en la columna vertebral, en la parte de la base (que está situada más arriba en el esqueleto de *Orbbec* [10], y al mismo nivel de las caderas para *Kinect 2* [22, 25]).

En el artículo [25], se comprueba el rendimiento de los dos dispositivos. Tras comparar los resultados de 23 algoritmos de aprendizaje automático con los datos recogidos por cada sensor, se obtiene una precisión de clasificación muy similar, entre el 92 % y el 100 %, por parte de *Kinect* [22] y *Orbbec* [10] respectivamente.

Esto demuestra que *Orbbec* [10] puede utilizarse con seguridad en lugar de *Kinect* para el reconocimiento de gestos, sin influir en la precisión de clasificación. Tras el uso de 12 clasificadores han dado resultados del 100 % de precisión tanto para *Kinect* como para *Orbbec* [10] en el conjunto de 16 posiciones estudiadas [25, 17, 34].

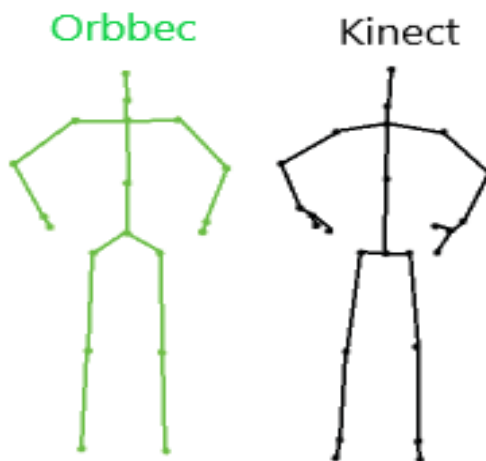


Figura 2.5: Comparación de esqueletos entre *Orbbec* y *Kinect* [25]

### 2.6.1. Ejemplos de uso de entornos virtuales

Actualmente, los entornos virtuales a nivel académico predominan con el sistema de *Kinect* [22], mientras que en referencia al ámbito de la empresa privada se ha optado por el uso de *Orbbec Astra* [10]. Es ya una realidad, que el uso de estos sistemas, dan resultados muy alentadores sobre la mejora de los pacientes respecto al método de rehabilitación tradicional [26].

No obstante, el uso de una cámara de seguimiento del esqueleto no es la única forma en la que se han realizado rehabilitaciones basadas en RV. A continuación, se muestran

dos tipos de ejemplos, el primer tipo con una tabla de equilibrios y pesos, y el segundo tipo haciendo uso del sistema de seguimiento de esqueleto.

### VR balance Training system

Este sistema consta de una tabla de equilibrios con una pantalla táctil de ordenador. La presión y peso ejercidos sobre la tabla, hace que el usuario interactue con el sistema. Para una mayor adherencia al sistema, se ha implementado un RV que recuerden al paciente las tareas que lleva a cabo diariamente [27]. En la Figura 2.6, se pueden observar algunos de los escenarios realizados para este sistema.

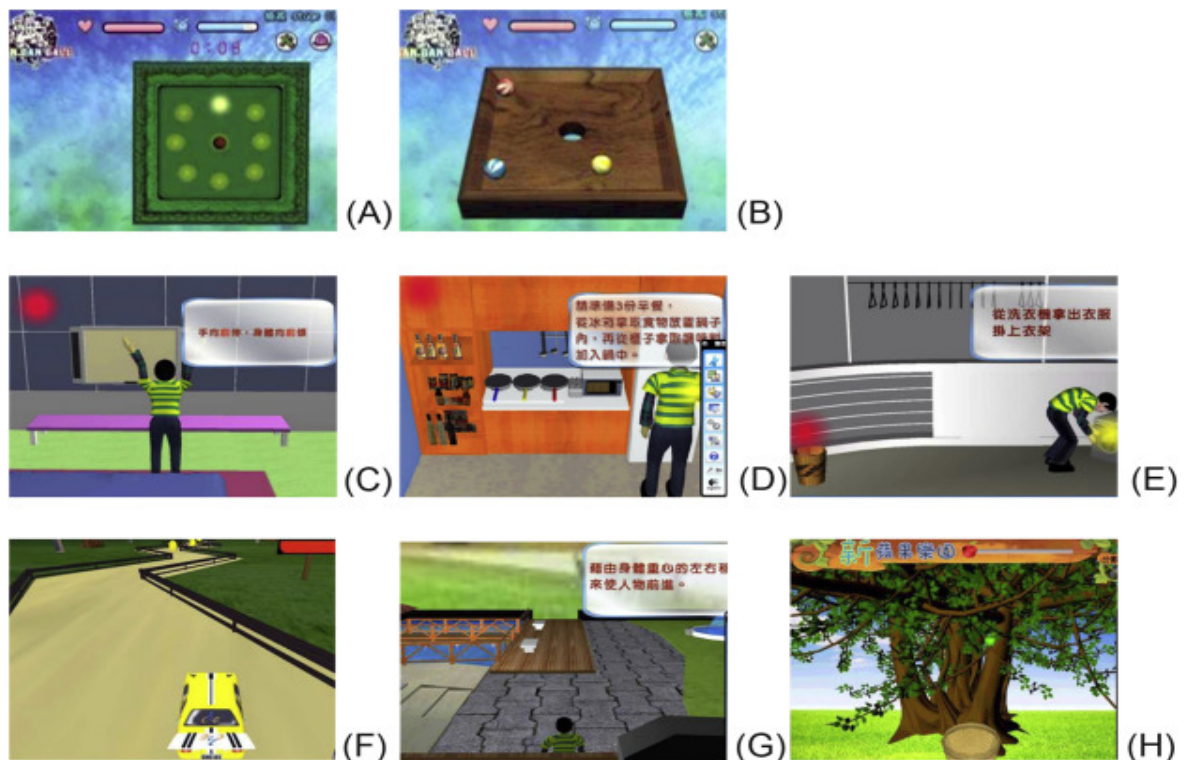


Figura 2.6: Capturas de VR balance Training system [27]

La conclusión obtenida para este sistema, fue que no se encontró ninguna diferencia entre los resultados obtenidos por medio del propio sistema y entre una sesión de rehabilitación convencional. En ambas se mejoraron el equilibrio y la calidad de vida del paciente [27].

### Kinect adventures

Este es un sistema que funciona con un sistema de seguimiento del esqueleto, en este caso *Kinect* [22]. Este es un EV creado con herramientas de software libre cuya finalidad es la de hacer que sea más llevadera una sesión de rehabilitación, además de corregir la postura del paciente [15].

Como extras este sistema de RV hace que se puedan recavar datos del paciente de sus posiciones y la forma en la que ejecuta sus movimientos; La interfaz es simple, consta de una cámara y de un pedestal en el que se encuentra el avatar que va a simular los movimientos del paciente [15], como se puede observar en la Figura 2.7.

Las conclusiones obtenidas para este sistema es que *Kinect* [22], como base de creación de EV, funciona correctamente. El proyecto está realizado con nociones básicas de programación y herramientas de software libre, lo que da libertad a crear nuevos sistemas para poder ayudar a todo tipo de pacientes [15].



Figura 2.7: Captura de Kinect adventures [15]

## RemoviEM

Este es un sistema que ayuda a los pacientes con esclerosis múltiple, para los cuales la rehabilitación motora es esencial. El paciente al estar sometido a tantas sesiones de rehabilitación puede suponerle una carga pesada a nivel anímico, por lo que se crea RemoviEM [31] para hacer más llevaderas las sesiones de rehabilitación con un sistema de bajo coste.

Este sistema está realizado por medio de RV y *Natural User Interfaces* (NUI). A continuación, se muestran una serie de imágenes de como se ven dos de los ejercicios (ver Figuras 2.8 y 2.9).

Como conclusiones, este sistema fomenta la regularidad de las sesiones, ya que el

paciente se encuentra motivado, y, se plantea la posibilidad de abarcar más ejercicios con la finalidad de conseguir mejorar la calidad de vida [30].



Figura 2.8: Captura de RemoviEM I[30]



Figura 2.9: Captura de RemoviEM II[30]

## Motion Rehab AVE 3D

Es un sistema de RV que ayuda a la rehabilitación motora de los miembros superiores e inferiores. Este funciona por medio de una consecución de ejercicios que el paciente va realizando uno a uno y es programable por un profesional. A continuación, se muestra la Figura 2.10 cómo se ve uno de los escenarios de este sistema. Incluye hasta seis actividades asignadas a cada parte del cuerpo para poder adaptarse a todo tipo de paciente [33].



Figura 2.10: Captura de Motion Rehab AVE 3D[33]

## 2.7. Sistema elegido

El sistema que va a ayudar a los pacientes se va a dividir en la parte del seguimiento, que es realizada por una cámara *Orbbec Astra* [10], mientras que la RV se implementa mediante el uso del motor gráfico llamado *Unity* [9], que realiza modelado y funcionamiento en 3D.

### 2.7.1. Body Tracking SDK

Orbbec [10] ha diseñado el *SDK de Body Tracking* [10] para que las cámaras 3D aprendan más sobre nosotros y sobre el mundo. *Orbbec Body Tracking* [10] permite a los ordenadores utilizar los datos 3D de cámaras o sistemas de seguimiento para ver

y entender el cuerpo humano. Los desarrolladores también pueden utilizar este SDK con las cámaras 3D de *Orbbec* [10], para crear aplicaciones intuitivas e innovadoras que liberen el potencial de la visión 3D. Los puntos de interés detectados por la cámara son los señalados en la Figura 2.11

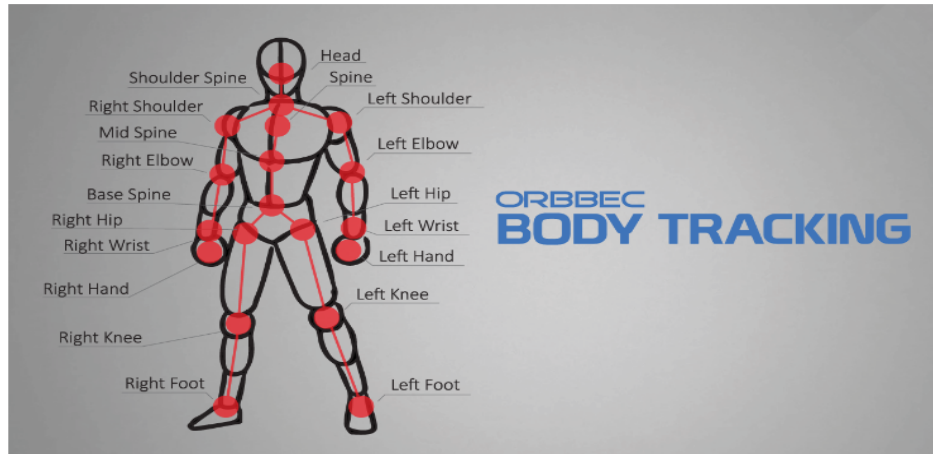


Figura 2.11: *Body Tracking SDK* [10]

### 2.7.2. Orbbec astra

El sistema de seguimiento del esqueleto elegido es *Orbbec Astra*[10]. El aspecto de este dispositivo es como se muestra en la Figura 2.12. Se trata de una cámara 3D, con microchip propietario de *Orbbec* [10], gama de colores de VGA, y con un alcance desde 0,4 a 8 metros. La cual, unida al driver *Body Tracking SDK*, como ya se ha explicado en el Apartado 2.7.1, permite el seguimiento del esqueleto de un paciente.



Figura 2.12: *Orbbec Astra* [10]

Esta es una solución de bajo coste respecto a sus competidoras, como pueden ser *Kinect*[22] u otras versiones de la propia *Orbbec* [10], hace que sea accesible por un gran

número de personas y no tener la necesidad de gastar grandes cantidades de dinero para tener un sistema de rehabilitación competente y funcional.

### **2.7.3. Unity**

Es una herramienta de desarrollo de videojuegos creada por la empresa *Unity Technologies*[9], aunque otro de sus principales usos es también el de crear experiencias de RV interactivas. Uno de los servicios comunes más relevantes es: la realización de analíticas para comprobar cómo se hace uso de la RV. Aparte de esto, existe una gran comunidad de usuarios con sus correspondientes foros, además de la documentación proporcionada por el propio servicio de *Unity Technologies*[9].

## **2.8. Conclusiones**

El ámbito de la salud, como todas las ramas de la ciencia, avanza cada día, y se descubren nuevos campos, nuevas técnicas y tecnologías, como el uso de sistemas de seguimiento y RV para el tratamiento de patologías relacionadas con el sistema nervioso. Este es un avance relativamente nuevo y no accesible para todo el mundo. Con el sistema creado en este trabajo es más fácil que pequeños centros de salud, con menos medios que los grandes hospitales, puedan brindar un servicio de rehabilitación más moderno. Lo cual puede ayudar a prevenir la despoblación de los pequeños pueblos y mejorar la calidad de vida de estos.

# Capítulo 3

## Análisis

### 3.1. Introducción

En este apartado se va a hablar de la organización llevada a cabo a lo largo de la creación del sistema BALVIRT y, además, se va a explicar como se ha realizado su diseño e implementación, su infraestructura y el análisis de requisitos del propio sistema.

### 3.2. Organización

A continuación se procede a explicar la organización seguida para la realización de este proyecto. Las distintas fases son:

1. El inicio de este proyecto comenzó con un estudio preliminar. En este estudio se establecieron las posibles tecnologías y se adquirió los conocimientos necesarios para llevarlo a cabo, ya que no se habían utilizado anteriormente en el grado. Esta fase se comprende desde mediados de octubre hasta mediados de diciembre de 2021.
2. Inicialmente se proporcionó un código a mejorar en el caso de que se pudiera emplear sin mucha complicación, y si no se debería empezar el proyecto desde cero. Tras unos meses comprendidos entre diciembre de 2021 y marzo de 2022, se llegó a la conclusión de que se tendría que empezar el sistema desde cero.
3. A la par que se realizaba el estudio del código, se hacía el análisis de las tecnologías que realmente podían encajar correctamente en la elaboración del proyecto. Esto se realizó mediante la investigación de artículos que versaban sobre la RV, rehabilitación virtual y los sistemas de seguimiento del esqueleto.
4. A comienzos de marzo de 2022, se empezó a poner en marcha el sistema y a establecer su funcionamiento más básico.

5. Conforme se fue elaborando el sistema a principios de junio del 2022, surgió un problema de compatibilidad que se explicará en el Apartado 3.6 que hizo que se reconsidera el diseño establecido en primera instancia, cambiando parte de las tecnologías a usar. Y teniendo que rehacer el código desde cero.
6. El código se empezó a elaborar desde principios de abril, y tras los cambios estructurales del proyecto se acabó terminando el código a principios de septiembre del 2022 con la corrección de errores.
7. La corrección de errores se lleva a cabo al final de la etapa de desarrollo, mientras se realizan las pruebas, se empiezan a realizar las correcciones a principios de septiembre del 2022, y duran hasta la entrega del documento.
8. La presentación se realiza la segunda semana de septiembre de 2022, de cara a la defensa del trabajo.

La organización se ve representada mediante el diagrama de Gantt, en la figura 3.1.

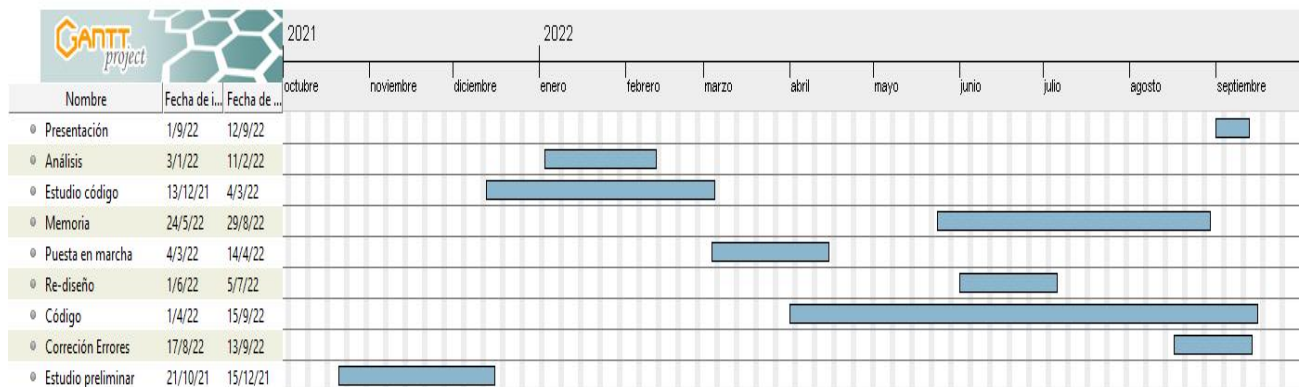


Figura 3.1: Diagrama Gantt

### 3.3. Casos de uso

Este sistema va a ser usado por dos agentes, uno principal, que va a ser el propio paciente y un agente secundario que será el enfermero auxiliar o fisioterapeuta (ver Figura 3.2). Existen determinadas acciones que las van a poder hacer por igual los dos agentes, como pueden ser iniciar o finalizar la sesión o simplemente la cumplimentación de los datos del paciente, ya que depende de cada caso podrá hacerlo el paciente por sí mismo o no, esto dependerá de su estado y capacidad.

Como se puede ver en la Figura 3.2 los casos de seguir las instrucciones e interactuar con el EV solo son propias del paciente. Sucede lo mismo con la puesta en marcha del

sistema para el auxiliar. El resto de casos pueden ser comunes o no, dependiendo de la habilidad o del estado del paciente.

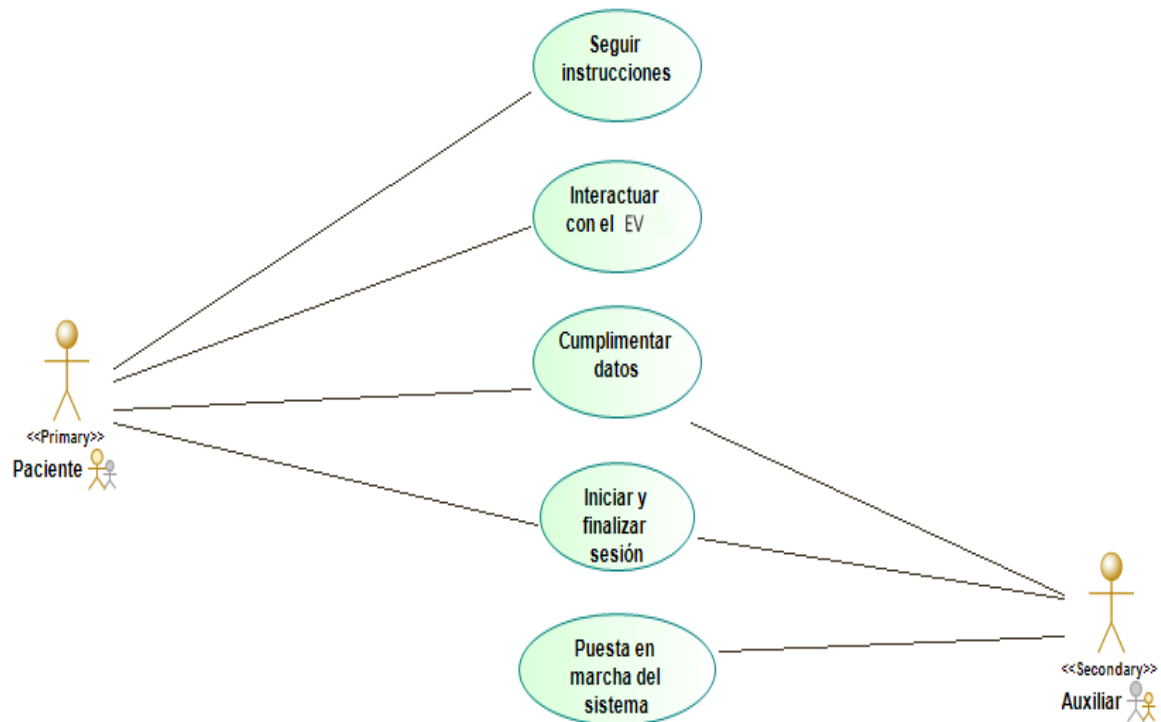


Figura 3.2: Diagrama casos uso BALVIRT

### 3.4. Requisitos del sistema

**RQ1:** El sistema BALVIRT debe de hacer uso de una cámara *Orbbec Astra* [10].

**RQ2:** El sistema tiene que funcionar en entornos reales, preparados previamente para su correcto funcionamiento.

**RQ3:** El sistema tiene que funcionar con el mayor número de persona posibles sin discriminar alturas y complexiones.

**RQ4:** El sistema permitirá escoger cuál es el lado afectado del paciente(o si son los dos por igual) para lograr un mejor rendimiento en la evolución del usuario y abarcar todas las patologías nombradas en el Apartado 1.

**RQ5:** El sistema deberá obtener los datos generados para cada sesión de los pacientes y que el especialista clínico deberá poder acceder a ellos.

**RQ6:** El sistema contará con un menú en el cual el paciente se podrá identificar y seleccionar el número de la sesión.

**RQ7:** El sistema tiene que tener la opción de poder probar la cámara, para ver el correcto funcionamiento de esta y su posicionamiento, antes de comenzar la sesión

**RQ8:** Al comienzo del juego deberá mostrar las instrucciones de cómo funciona el entorno virtual (EV).

**RQ9:** Al finalizar la sesión tiene que mostrar los fallos y aciertos obtenidos.

**RQ10:** El sistema debe funcionar en el sistema operativo de Windows 10 [24] y versiones anteriores.

**RQ11:** El sistema debe funcionar sin necesidad de conectarse a internet.

**RQ12:** El sistema mostrará su estado actual en todo momento.

**RQ13:** El número de repeticiones de cada uno de los ejercicios será configurable.

**RQ14:** Los datos de los pacientes se podrán exportar a un fichero para su posterior interpretación.

**RQ15:** El sistema debe ser escalable y reutilizable.

**RQ16:** BALVIRT cronometrará el tiempo que se tarda en realizar las tareas.

**RQ17:** Al finalizar la sesión se mostrará el tiempo invertido en realizar los ejercicios de la sesión.

**RQ18:** El sistema ofrecerá la posibilidad de imprimir los datos en un fichero al finalizar la sesión.

**RQ19:** En el caso de que no se proporcione ningún dato al sistema, los datos se rellenarán con información estándar.

**RQ20:** El tratamiento de datos se hará mediante estructuras *Json* para facilitar que sea accesible a todos los sistemas posibles.

**RQ21:** En el caso de que el dispositivo no se encuentre conectado correctamente, se avisará al usuario con un mensaje.

**RQ22:** En la escena de sesión será visible el tiempo que está tardando la actual sesión y el nombre a quien pertenece dicha sesión.

**RQ23:** El sistema debe poder evitar fallos software.

**RQ24:** El sistema debe cumplir los principios de accesibilidad de aplicaciones de escritorio.

**RQ25:** El sistema debe cumplir los con los principio de accesibilidad.

**RQ26:** El sistema debe cumplir con los principios de usabilidad.

**RQ27:** El sistema debe de ser capaz de almacenar los movimientos del sujeto mediante un sistema de seguimiento del esqueleto.

## 3.5. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema BALVIRT es la que se muestra en la Figura 3.3, consta de tres partes:

1. La primera parte es la perteneciente al hardware, la cámara *Orbbec* [10], que es la que se encarga de asignar los distintos puntos de interés en el paciente por medio de un software de seguimiento del esqueleto.
2. La segunda parte es el propio sistema de BALVIRT, que tiene toda la lógica, el control y la interfaz del juego. Además de esto, controla las conexiones con los periféricos y almacena los datos en el archivo de guardado local.
3. La tercera parte es el sistema de almacenamiento local, en la que se guardan los datos proporcionados por el paciente antes de empezar el juego y también sus resultados durante este.

## 3.6. Problemática

En este capítulo se va a tratar el tema de la problemática, no del enunciado, sino de las distintas situaciones de dificultad enfrentadas a lo largo de la elaboración de este

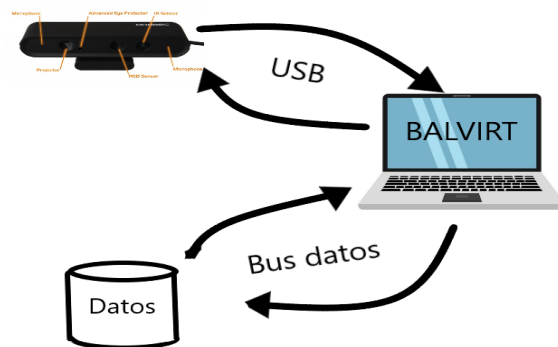


Figura 3.3: Arquitectura BALVIRT

proyecto. La inclusión de este capítulo se ha realizado debido a que se han encontrado excesivos contratiempos para realizarlo, y, para explicar el proceso de investigación para las distintas soluciones dadas a cada una de las diversas situaciones.

### 3.6.1. Elección de software

La elección del software a priori no debe de ser una decisión trivial. Una vez se ha determinado el hardware en el Apartado 2.7 se llega a la conclusión de que *Nuitrack* [28] y *Astra SDK* [10] son las dos únicas alternativas del mercado compatibles con el sistema elegido en el Apartado 2.7.

#### Nuitrack

Tras la investigación del tipo de sistema a evaluar, se encuentra que este es el sistema de seguimiento por excelencia. Por lo tanto, se instaló y se hicieron una serie de pruebas para ver si era viable su uso. A continuación se va a explicar el seguimiento de como se realizó:

- Puesta en marcha: El primer paso fue ponerse en contacto con el equipo de *Nuitrack* para obtener una versión de prueba con la finalidad de trabajar con ella en el TFG [28]. Una vez explicado el propósito del uso de su sistema, y ya que era con un fin académico, proporcionaron una licencia de prueba para poder llevar a cabo el proyecto.
- Limitaciones: Uno de los problemas de la licencia de prueba proporcionada por esta empresa es que el software solo funcionaría como sistema de seguimiento del esqueleto durante 3 minutos, después de esto, el sistema de seguimiento dejaría de capturar los movimientos sin previo aviso. Este sería un problema salvable siempre y cuando el sistema de seguimiento del esqueleto funcionara correctamente.

- Problemática: A pesar de las limitaciones se empezó a desarrollar el sistema. Para poder utilizar este software con *Unity* [9], se importó un paquete SDK para poder emplear *Nuitrack* [28]. El mayor problema de esta solución, aparte de la limitación del tiempo, es que el número de intentos para que *Nuitrack* [28] detecte el software cada vez que se prueba el sistema es muy alto. Esto se debe a que el software de *Nuitrack* [28] se conecta y desconecta por tiempo, lo cual altera el estado del sistema BALVIRT. Además, si en cada prueba no se agota el tiempo de uso del sistema, y se intenta parar el sistema para realizar algún cambio, el editor de *Unity* [9] se cierra abruptamente sin guardar los últimos cambios, haciendo casi impracticable la labor de creación del entorno. Por lo que finalmente se descartó esta opción.

No obstante, a pesar de todo los problemas, se llegó a implementar todo el EV de BALVIRT, teniendo en cuenta el uso *Nuitrack* [28], se puede ver cual fue el resultado en la Figura 3.4, donde se planteaba que el usuario realizará sus ejercicios diarios mediante tareas cotidianas como preparar el desayuno.

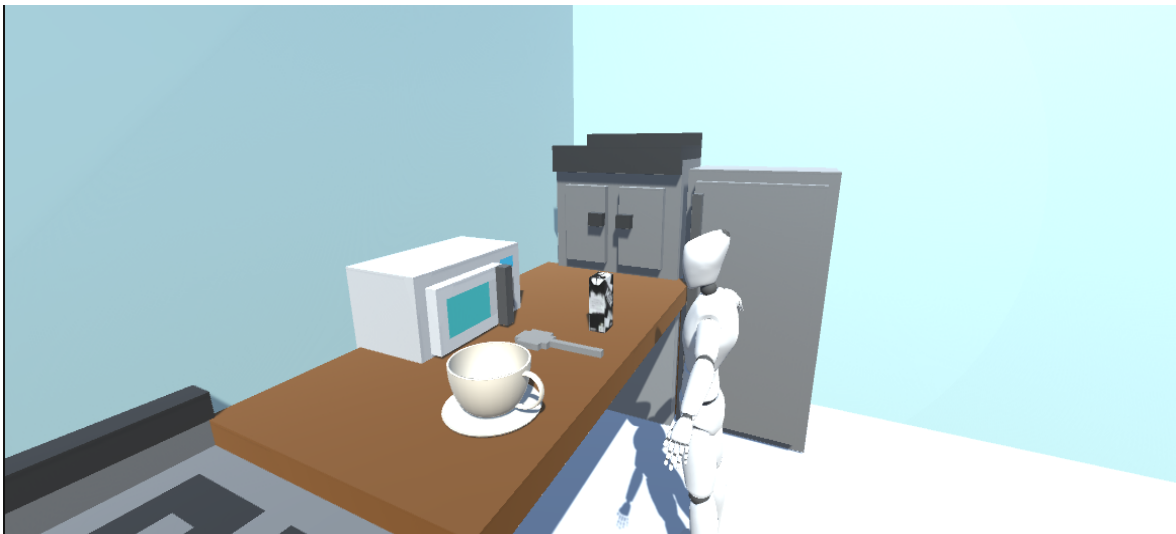


Figura 3.4: BALVIRT con *Nuitrack* [28]

### Astra SDK

La otra opción a desarrollar es *Astra SDK* [11], tras ponerse en contacto con *Orbbec* [10], se obtuvo que la única posibilidad de hacer un seguimiento del sistema del esqueleto, era mediante la compra del software de *Body Tracking SDK* de *Orbbec* [10], por lo tanto, tras la compra de dicho software se empezó a rediseñar el sistema.

- Puesta en marcha: La puesta en marcha después de la adquisición del software de *Body Tracking SDK* [10] y la adición de este software a *Unity* [9] se realiza

mediante la importación de un paquete SDK al entorno.

- Problemática: La mayor problemática con este software fue la escasa documentación de la versión actual del *Astra SDK* [11]. Esto se debe a que recientemente se realizó una actualización de la versión de este software y al realizar un gran cambio del software, se eliminaron las versiones anteriores, poco tiempo después se marcó como fin de soporte de *Astra SDK* [11] el 30 de septiembre de 2022. A pesar de fin de soporte, los sistemas de seguimiento actuales seguirán pudiendo usar este software. La fecha de fin de sistema se debe a que ya se encuentra en fase beta el nuevo software de seguimiento del esqueleto de *Orbbec* [10]. Estos cambios internos en la empresa hacen que la documentación de esta última versión de *Astra SDK* [11] sea escasa y limitada para crear sistemas muy elaborados o complejos.

### Conclusiones de las problemáticas

A pesar de la falta de documentación y de medios de creación de contenido usable con este software, sigue siendo mejor opción que el sistema de *Nuitrack*[28], ya que la conexión entre *Astra SDK*[11] y *Unity*[9] es directa, y no da los problemas de conexión que da su principal competidor, haciendo así que el sistema sea más robusto y que su puesta en marcha sea más agradable para los no expertos de la materia.

## 3.7. Conclusiones

La correcta planificación de un proyecto hace que el rendimiento para finalizarlo sea más alto, ya que sin una esta puede suponer la no cumplimentación de la totalidad del proyecto. Para realizar esta organización se han utilizado herramientas de planificación como puede ser los diagramas de Gantt y los sistemas de control de versiones para ir estableciendo las tareas con fechas de vencimiento y fomentar llevar al día la planificación del proyecto.

Respecto a los requisitos, se hace hincapié en los más importantes. Los requisitos y los hitos generados a lo largo de la planificación dan una imagen global de qué porcentaje del proyecto está ya realizado o lo bien que se van tratando todos los hitos respecto al tiempo establecido de cada uno de ellos.

Finalmente se comenta la problemática encontrada respecto a la implementación del software del sistema BALVIRT, y las posibles soluciones planteadas, además de la elección final tras explorar las limitaciones.

# Capítulo 4

## Diseño e implementación

### 4.1. Introducción

En este apartado se va a hablar del diseño e implementación, del sistema BALVIRT. Para empezar se va a hablar del diseño y de cómo se ha realizado la implementación del EV. La finalidad del EV es ayudar al paciente, como se explica en la introducción en el Apartado 1; además de esto, intenta hacer que el trabajo del fisioterapeuta que ayuda al paciente sea más llevadero, puesto que él así se puede centrar en la técnica de la ejecución del ejercicio que realiza el paciente, además de sí lo hace correctamente.

### 4.2. Diseño

El sistema BALVIRT consiste en hacer más amena las sesiones de rehabilitación para el paciente y para el especialista clínico. En el menú principal se podrán encontrar dos cajas de texto en las que se debe introducir el nombre y número de sesión del paciente, ya que se darán uso en su posterior análisis. Además de esto, se podrá escoger el color del modelo esqueleto, para que sea más personalizable. Una vez se hayan cumplimentado los datos se puede empezar la inmersión en el EV.

Este EV actualmente solo dispone de un único nivel, aunque este nivel puede ser programable, es decir, el escenario siempre es el mismo, pero las instrucciones se pueden cambiar para mejorar el progreso del paciente. Una vez se ha finalizado la sesión, se proporcionan los resultados de esta y da la posibilidad de imprimirlos en un fichero, para su posterior análisis.

## 4.3. Escenas

### 4.3.1. Menú principal

El menú principal tiene la posibilidad de poner el nombre y número de la sesión que está realizando el paciente para un mejor seguimiento. Como se ha descrito anteriormente, se puede seleccionar el color del esqueleto que va a simular los movimientos del paciente, en esta primera versión solo se puede seleccionar entre verde, rojo o azul. En el caso de que no se seleccione ni se rellene ningún dato, se rellenará con datos genéricos. El nombre será Usuario, la sesión por defecto será la uno y el color del esqueleto es blanco.

En una versión posterior se podrá escoger la existencia de la paresia en el paciente y dar las distintas instrucciones en función de su lado más afectado, se detalla más en el Apartado 5.2. En esta versión actual no se hace distintivo de la paresia del paciente para abarcar más perfiles de enfermedad y patologías nombradas en los antecedentes en el Apartado 1.



Figura 4.1: Menú principal BALVIRT

El color escogido para la escena es azul celeste con los botones de color blanco para dar al paciente una sensación de tranquilidad y paz, para asociar que el sistema es algo bueno para ellos y fomentar el uso del sistema BALVIRT. Además de cumplir así los principios de accesibilidad y usabilidad. Esto se puede observar en la Figura 4.1

### 4.3.2. EV BALVIRT

EV de BALVIRT (ver Figura 4.2) es una modificación del sistema de prueba proporcionado por *Orbbec* [10] y *Astra SDK* [11]. Esta escena es totalmente configurable, empezando por el panel de arriba, se pueden activar los distintos sistemas de la cámara *Orbbec* [10]. En la parte izquierda de la escena se encuentran las distintas

variables de configuración, desde la resolución hasta el número de puntos de seguimiento que puede realizar la cámara. En la parte derecha de la escena se puede ver el modelo de esqueleto del paciente, y hasta 4 tipos distintos de cámara. Las instrucciones a realizar se encontrarán encima del modelo del esqueleto, para que el paciente las vea correctamente. A continuación, se expone de manera detallada cada una de las partes.

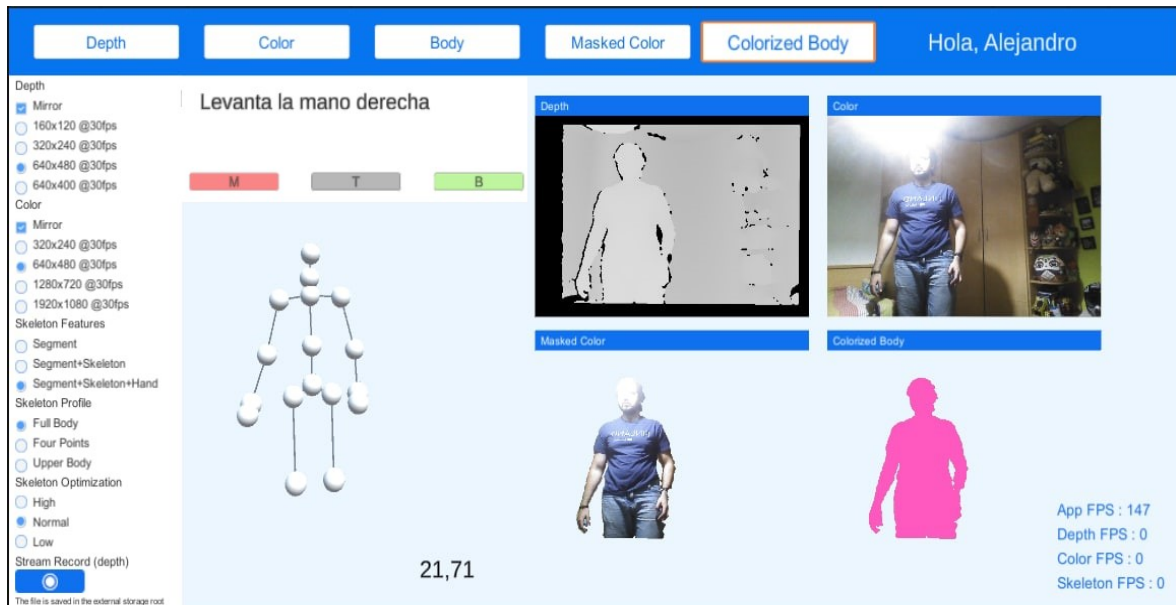


Figura 4.2: EV de BALVIRT

### Panel superior

Es la zona delimitada por un rectángulo verde en la Figura 4.3. Este panel es el que controla las cuatro cámaras posibles, y el sistema de esqueleto, y en la esquina superior derecha se encuentra un mensaje saludando al paciente. Los distintos botones que hay en el sistema son: profundidad (*depth*), color (*color*), cuerpo (*body*), enmascarado de color (*masked color*) y cuerpo colorizado (*colorized body*).

- Profundidad: activa la cámara que mide la profundidad del entorno mediante el software de *Orbbec* [10].
- Cuerpo: genera un seguimiento del esqueleto, mediante el software de *Astra SDK* [11], haciendo que cada una de las esferas se corresponda con una articulación.
- Color: reproduce la visión de la cámara en color.
- Enmascarado de color: genera una imagen enmascarando el color del entorno, viendo así posibles errores en el entorno.

- cuerpo colorizado: Este formato de cámara es una mezcla entre el color y el enmascarado de color.

### **Panel lateral izquierdo**

Es la zona delimitada por un rectángulo azul en la Figura 4.3. En el panel de la izquierda se pueden encontrar las distintas opciones de la cámara. Se puede modificar la resolución de la cámara de profundidad (*Depth*) y la correspondiente al color (*Color*). Para ambas, se puede activar la característica de espejo (*Mirror*), que hace que muestre la imagen como si fuera un espejo o directamente como lo procesa el sistema.

El siguiente ajuste personalizable es el de características de esqueleto (*Skeleton features*). Se puede configurar si se quiere mostrar solo los segmentos, los segmentos y el esqueleto o segmento, esqueleto y manos.

Otro ajuste relacionado con el esqueleto es seleccionar el perfil. En este caso se puede escoger entre el seguimiento de todo el esqueleto, solo la parte de arriba, o simplemente cuatro puntos del esqueleto, las muñecas, la cadera y la cabeza. También, se puede escoger la optimización del sistema de seguimiento del esqueleto.

El último botón de este panel izquierdo tiene la funcionalidad de grabar la sesión, este vídeo se guardará en un directorio del proyecto, lo cual puede ser útil para una posterior visualización de los movimientos del paciente.

### **Panel central**

Es la zona delimitada por un rectángulo rojo en la Figura 4.3. En este panel central se encuentra el grueso del sistema, como ya se ha explicado.

- En la parte de la derecha se pueden encontrar las cuatro cámaras diferentes, que se pueden activar según las necesidades de la sesión. Por ejemplo, si solo se quiere hacer una sesión de evaluación, se puede activar solo la cámara de profundidad para luego analizarlo y crear una rutina de evaluación a partir de ahí.
- En la parte inferior derecha de la pantalla se encuentran las características de eficiencia del sistema, midiendo así en tiempo real los fotogramas por segundo (FPS) de la aplicación. El siguiente valor son los FPS de la cámara de profundidad (*Depth FPS*), más adelante el valor de los FPS de la cámara de color (*Color FPS*) y por último los FPS del seguimiento del esqueleto (*Skeleton FPS*).
- La parte de la izquierda superior en la que se encuentran las instrucciones a seguir por el paciente. En el momento que el paciente logre el ejercicio, el auxiliar marcará el ejercicio como realizado. En el caso de que no sea correcto marcará el

ejercicio como incorrecto. Una vez se haya completado la rutina de ejercicios se mostrará un mensaje con los resultados obtenidos y la posibilidad de imprimir los resultados en un fichero o simplemente no guardar la sesión y volver al menú.

- En la parte izquierda inferior es donde se muestra el seguimiento del esqueleto, y las articulaciones con esferas del color seleccionado en el menú principal, si no se ha escogido ninguno, el color será blanco. Y, debajo del sistema de seguimiento se encuentra un temporizador, en el que muestra el tiempo que lleva el paciente con la sesión.



Figura 4.3: EV desglosado

## 4.4. Rutinas de ejercicios

En esta sección se va a hablar de las distintas rutinas de ejercicios que se puede encontrar en el sistema. En esta primera versión de BALVIRT se van a encontrar tres tipos de rutinas, la primera es una con ejercicios generales, la segunda y tercera son ejercicios propios de rehabilitación para pacientes con problemas motores y alguno específico para Parkinson o Ataxia [29].

### Rutina de ejercicios general

Esta rutina está hecha de forma genérica, de tal forma que hace uso de ejercicios con movimientos que los pacientes realizan habitualmente, para que se les haga más llevadero, es ideal para las primeras sesiones de rehabilitación. Los ejercicios a realizar son:

1. Levanta brazo derecho hacia arriba.
2. Levanta brazo izquierdo hacia arriba.
3. Levanta los dos brazos a la vez.
4. Extiende el brazo derecho con la palma hacia afuera.
5. Extiende el brazo izquierdo con la palma hacia afuera.

La instrucción de volver al estado inicial de la sesión de ejercicios no se tiene en cuenta, ya que no forma parte de la rutina como tal.

### **Rutina de ejercicios especial I**

En esta sección se va a buscar que el paciente mejore varios puntos a la vez para mejorar su patología. Se va a buscar potenciar su ventilación pulmonar, los estiramientos, flexibilización, coordinación de tronco y equilibrio, además de la coordinación de movimientos con los miembros superiores. Este tipo de rutina de ejercicio es recomendable para pacientes con Ataxia.

El primer ejercicio que se haría iría dirigido a mejorar principalmente la coordinación y el equilibrio del tronco, ya que trabajará la reacción de equilibrio, la reacción de enderezamiento y la reacción de apoyo. Para llevar a cabo el ejercicio, se debe colocar al paciente en sedestación en la camilla con los pies sin llegar a tocar el suelo y se le irá colocando objetos en la camilla a diferentes distancias a ambos lados para que el paciente tenga que cogerlos.

Primero se colocará el objeto a una distancia para que al alcanzarlo solo tenga que levantar la mano homolateral al objeto y así trabajar la reacción de equilibrio. Luego se colocará el objeto más lejos para que además de levantar la mano tenga que inclinar el tronco y levantar la pierna contralateral (apoyo monopodal) para mantener el equilibrio y así trabajar la reacción de enderezamiento.

Y, por último, se colocará el objeto más lejos para que tenga que además de todo lo anterior, apoyar la otra mano y así trabajar la reacción de apoyo. Para progresar en el ejercicio se puede cambiar la superficie de apoyo y pedirle que se siente en vez de en una superficie dura, en una blanda, por ejemplo sobre un cojín o introducir estos movimientos en las diferentes actividades de la vida diaria (AVD).

### **Rutina de ejercicios especial II**

Esta sección se centra en la mejora de pacientes del tipo de patologías como puede ser la enfermedad del Parkinson. Para este tipo de patologías se recomienda buscar

ejercicios de fuerza, motricidad de los miembros superiores, del equilibrio, además de la higiene articular y buscar la mejora de la flexibilidad.

Esta rutina irá centrada en mejorar la fuerza del paciente, y para realizar los ejercicios solo necesitaremos gomas elásticas de diferentes durezas. Para el primer ejercicio colocaremos al paciente en sedestación en una silla, cogerá la goma por un extremo y el otro lo sujetaremos en el suelo justo debajo del hombro que vaya a trabajar, por ejemplo pisándolo con una pata de la silla.

El movimiento partirá colocando su mano entre el hombro y su oreja y desde ahí se le pedirá que suba la mano realizando una flexión de hombro de 180 grados, trabajando así la fuerza del hombro, principalmente el deltoides anterior y el supraespinoso. Este ejercicio se debe hacer de manera bilateral trabajando ambos hombros y la carga dependerá de la situación física inicial del paciente. Se irá progresando tanto en la dureza de la goma como en el aumento de las repeticiones. Para el siguiente ejercicio se le pedirá que agarre la goma con una mano en cada extremo, y lo puede realizar tanto en sedestación como en bipedestación.

Se le pedirá que lleve las manos a una flexión de hombro del 90 grados y desde ahí que efectúe a esa altura una abducción horizontal con ambas manos y pidiéndole que se concentre, a la vez, en juntar las escápulas en la espalda. Con este ejercicio se trabajará la zona interescapular, principalmente el trapecio medio y el romboides. Al igual que el anterior, se irá progresando tanto en dureza de la goma como en repeticiones a lo largo de las sesiones.

Este ejercicio tiene dos variantes, la primera sería comenzar el movimiento por encima de la cabeza desde una flexión de hombro de 140 grados aproximadamente para centrarse más en el trabajo del trapecio inferior, y la segunda variante sería empezar el movimiento desde una flexión de hombro de 30 grados. Estos son dos ejemplos de ejercicios de fuerza para miembro superior, pero se podría usar otros muchos, ya que todo trabajo de fuerza del miembro superior le vendrá bien al paciente.

## 4.5. Implementación

Como ya se ha hablado en los capítulos anteriores de este documento, el desarrollo de este sistema se ha realizado mediante el motor gráfico de *Unity* [9] y el lenguaje de *C-sharp* para la realización de los ficheros de lógica y control del sistema. El hardware utilizado es la cámara de *Orbbec* [10] y la conexión de esta con el sistema se hace mediante el software *Astra SDK* [11].

### 4.5.1. Puesta en marcha del sistema

Antes de entrar en detalles de la implementación, se va a explicar detalladamente como instalar el sistema desde cero, y hasta que sea completamente funcional con todos los ajustes disponibles.

#### Paso 1. Instalación del hardware

El primer paso es descargar del driver de la página web oficial de *Orbbec* [10], una vez descargado se conecta la cámara. Para ello, hay que ir a administrador de dispositivos, y se busca el dispositivo de *Orbbec* en el apartado de USB. Una vez se ha encontrado, se tiene que seleccionar la opción de actualizar driver desde archivo local, entonces se selecciona el archivo descargado anteriormente. Acabada la instalación, es aconsejable incluir en la variable *PATH* del sistema el directorio en el que se encuentra la carpeta con el driver instalado. Para más detalles de la instalación, consultar Anexo A.

#### Paso 2. Activación de Astra SDK

Por defecto, el sistema debería llevar consigo un driver del *Body Tracking SDK* [10] y es autodetectable por el sistema. En el caso contrario, en el sistema encontrará un archivo dentro del directorio de *Orbbec*[10] en el cual se escribirá la licencia para poder hacer uso del seguimiento del esqueleto. Se detalla la activación de la licencia en el Anexo B.

#### Paso 3. Disposición del escenario

Una vez se ha instalado correctamente el driver del hardware el siguiente paso es disponer la escena correctamente para evitar fallos ajenos al sistema. Es recomendable colocar la cámara a la altura de los hombros del paciente, o incluso a la altura de la barbilla. El paciente se tiene que colocar entre 1,5 y 3 metros. Es necesario que la zona que rodea al paciente esté lo más libre posible, ya que se le va a pedir a este que realice movimientos con sus extremidades, y si no se despeja la zona puede provocar lesiones en el sujeto. Una vez dispuesta la “zona de interacción”, es hora de poner el sistema en marcha.

#### Paso 4. Arranque del sistema

Para arrancar el sistema hay que abrir el archivo *BALVIRT.exe*, una vez abierto, se accederá al menú principal, como ya se ha explicado en el apartado 4.3.1, preferiblemente se introduce el nombre del paciente, y el número de la sesión que

está realizando actualmente, si por ejemplo es la sesión 25, se pondrá este número en el apartado de número de sesión.

Este dato es útil para los auxiliares o fisioterapeutas, ya que estos datos se exportan a un fichero para que lo puedan observar con mayor detenimiento o simplemente para poder llevar un mejor control. Si el paciente está cansado de ver como el esqueleto de ayuda se muestra con un único color, puede hacer uso de la personalización de colores, por el momento solo está la opción de azul, verde o rojo. Una vez se han rellenado todos los parámetros se puede comenzar la sesión.

### **Paso 5. Configuración dentro de la sesión**

Al comenzar la sesión solo estará activada la opción de la cámara de profundidad (*depth*), por lo tanto, solo aparecerá una cámara en escena, si quiere que aparezcan el resto de cámaras y el seguimiento del esqueleto, debe de pulsar todos los botones del panel superior, ya explicados en el Apartado 4.3.2. La recomendación para el correcto y más óptimo funcionamiento del sistema es activar todas las cámaras y el seguimiento del esqueleto, además de esto, activar la grabación mediante el botón, localizado en la parte inferior del panel izquierdo.

El especialista clínico irá pasando uno a uno los ejercicios realizados por el paciente mediante el teclado o la interacción con la interfaz. En el caso de que el ejercicio se realice correctamente, se pulsará el botón verde de la pantalla con la letra B (Bien) que se encuentra inmediatamente debajo del panel de instrucciones. En caso contrario, es decir, el paciente no realice correctamente el ejercicio, se pulsará el botón rojo con la letra M (Mal).

Cuando el paciente realice todos los ejercicios, al acabar la sesión, saltará una ventana con los resultados de la sesión y si se quieren imprimir en un fichero. En el caso de que el paciente no pueda terminar toda la serie de ejercicios, se pulsará la tecla T (Terminar) del teclado (o el botón gris con una T de la interfaz) para finalizar la sesión de forma anticipada.

### **4.5.2. Archivos de guardado local**

El sistema está dividido en varias escenas, cada vez que se cambia de escena los datos obtenidos de esta se borran, por lo tanto, para evitar que se pierdan datos necesarios como el nombre, número de sesión y la personalización del color del esqueleto. En el caso en el que los datos no sean rellenados, los valores por defecto no serán almacenados.

Se hace uso de un objeto dentro de la escena de *Unity* [9], que tiene un fichero con la funcionalidad de almacenar los datos por medio de una función de guardar, y

se exportan esos datos a un archivo con formato *Json*, para añadir persistencia en el sistema.

Este objeto se vuelve a añadir en el resto de escenas dónde se vuelvan a necesitar los datos. El objeto tiene incluido un fichero de carga, en el que puedes obtener los datos. Por ejemplo en el EV explicada en el Apartado 4.3.2, es necesario incluir este objeto para dar uso al nombre del paciente en el mensaje de “Hola, x”, además del color del esqueleto. El método de carga, lo que hace realmente es obtener los datos del archivo *Json* que se ha generado en dicho objeto que guarda la información para usarla en una nueva escena.

El paso de datos se ha realizado de esta forma para poder mantener los datos a pesar de que se cierre la aplicación, es decir, al terminar la sesión se puede hacer uso del objeto para guardar todos los datos en un fichero.

### 4.5.3. Personalización de escena

En el EV, como ya se ha explicado anteriormente en el Apartado 4.3.2, existe la posibilidad de poder personalizarla por decisión de diseño. Ya que se podría establecer todo activado en primera instancia. Se ha decidido esto por el hecho de que, no siempre se van a necesitar todas las cámaras, y hay sistemas en los que el rendimiento se puede ver afectado, entonces así se garantiza el funcionamiento en un mayor número de dispositivos.

### 4.5.4. Funcionamiento del seguimiento del esqueleto

El funcionamiento del seguimiento del esqueleto se desarrolla en un script propio de *Orbbec* [10], este se llama *BodyView.cs*. Para crear la estructura del esqueleto se ha creado un objeto primitivo, esfera como articulación, a la cual se le aplica un material en el caso de que se haya escogido un color en el menú principal, que será distinto de blanco.

La clave se encuentra en los dos métodos principales del script. En la función *start* se crea el objeto tal y como se comenta en el párrafo anterior y se crean las dimensiones. El segundo método importante es la función *update*, en el cual a través de un *foreach*, se genera las distintas articulaciones desde el cuello en tres ramas: la rama central correspondiente al cuello, cintura, además de las piernas y las dos ramas restantes también nacen desde el cuello las dos articulaciones correspondientes a los brazos. Como se puede observar en el recuadro de color rojo de la Figura 4.4.

Haciendo así que se pueda hacer un seguimiento del esqueleto desde un mínimo de 4 puntos de referencia, hasta 19. Con los 4 primeros puntos (*Four points*) se referenciarán

las muñecas/manos, la cabeza y la cadera. Si se escoge la opción de la parte de arriba del cuerpo (*Upper body*) no se referenciarán los 19 puntos de interés, sino que sólo los que comprenden desde la cadera hasta la cabeza, excluyendo así solo las piernas del seguimiento. Esta última opción va a ser muy útil para las sesiones de rehabilitación en la que los pacientes están sentados o se trabaje únicamente la parte superior del cuerpo, como es el caso de BALVIRT. Por lo que, para este sistema, esta será la opción que se use la mayoría de veces. Por último, se pueden referenciar los 19 puntos del esqueleto (*Full body*).

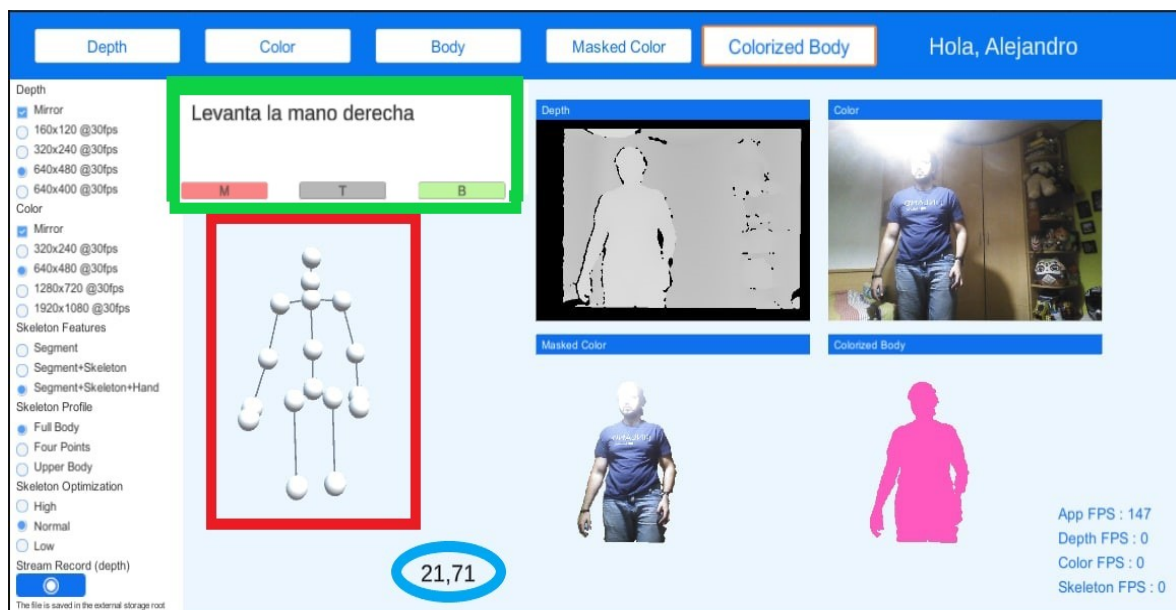


Figura 4.4: EV desglosado II

#### 4.5.5. Temporizadores

El tiempo de la sesión será cronometrado, posteriormente estos datos podrían servir para establecer los tiempos base en función de las patologías. Este empezará en el momento en el que se inicie la rutina de ejercicios. Para que el reloj lleve el tiempo, se hace uso de la función de *start* para empezar el contador y en el *update* actualizando la variable del tiempo según la librería *Time* perteneciente a *Unity* [9]. Se trabaja con el tipo *float* para una mayor precisión. El temporizador se puede ver en un círculo de color azul en la Figura 4.4.

#### 4.5.6. Rutina de ejercicios

Los ejercicios para rehabilitación están establecidos tras la investigación y una serie de conversaciones con especialistas clínicos. Estos ejercicios se muestran como ya se

explica en el Apartado 4.3.2; Se sucederá uno tras otro hasta completar la rutina o hasta que se quiera terminar.

Los ejercicios se almacenarán en forma de vector en el sistema y se recorrerá de forma dinámica mientras se ejecuta el sistema, haciendo así que el auxiliar no este pendiente de qué tipo de ejercicio ponerle al paciente. Los ejercicios se muestran para el paciente en el recuadro verde de la Figura 4.4.

Esta estructura en la que se almacena los ejercicios en un futuro podrá ser intercambiable, haciendo así que el sistema sea más escalable y personalizable. Además de ser extensible a nuevos nichos de estudio como otras patologías más específicas.

# Capítulo 5

## Conclusiones

### 5.1. Cumplimentación de objetivos

Para empezar este apartado de conclusiones se va a hablar de: si los objetivos propuestos en primera instancia a la hora de realizar este sistema, se han cumplido finalmente (estos objetivos se pueden encontrar en el Apartado 1). Los objetivos son los siguientes:

- El primer objetivo habla de la creación de un sistema que ayude a las patologías descritas en el Apartado 1. En resumen, se puede llegar a ver que el sistema cumple este primer objetivo establecido, ya que es una forma distinta de hacer sesiones de rehabilitación y que ayuda tanto al paciente como al especialista clínico.
- El siguiente objetivo es el de crear un sistema de bajo coste, aunque el presupuesto que fue asignado al proyecto no ha sido el esperado, el sistema BALVIRT sigue teniendo un coste muy reducido y es muy versátil, ya que puede servir para una gran cantidad de patologías.
- Tener un EV en el que se pueda desenvolver el paciente es otro objetivo, que se cumple, puesto que el paciente si tiene la sensación de estar conectado con el EV y moverse según sus movimientos en la vida real.
- El siguiente objetivo consiste en que el paciente pueda hacer sus sesiones de rehabilitación en un sistema que contenga como tecnologías *Unity* [9] y *Orbbec* [10]. Puesto que se han utilizado dichas tecnologías (se explica en el Apartado 2.7), se considera este objetivo también como cumplido.
- Respecto al objetivo de fomentar la adherencia al tratamiento del paciente mediante el sistema BALVIRT, no se puede concluir cierta afirmación, puesto que no se han realizado suficientes pruebas con pacientes ni se ha llevado a cabo

un estudio. En el Apartado 5.2 se dan unas pinceladas de cómo se debería realizar dicho estudio y cuándo saber si los resultados son significativos.

- El objetivo de tener un sistema de seguimiento del esqueleto, es que este monitorice y guarde los movimientos de un paciente. Se podrá ver su funcionamiento en la demo. La cual será mostrada el día de la presentación.
- Obtener los datos del paciente y su evolución es algo que se hace de forma regular haciendo una recopilación de todas las sesiones realizadas por dicho paciente. Por lo tanto, el objetivo de llevar un seguimiento del paciente también está cumplimentado.
- El objetivo de hacer más liviano el trabajo de los auxiliares o fisioterapeutas y el de ayudar a los pacientes a no perder movilidad y a ganar fuerza, está implícito en el propio enunciado del problema, y BALVIRT tiene esa finalidad. No obstante, no se han realizado suficientes pruebas como para llegar a un resultado significativo.

La cumplimentación de los objetivos del Sistema BALVIRT tiene que ver mucho con lo aprendido a lo largo de este grado y las asignaturas cursadas. En general todas han sido importantes a la hora de realizar un proyecto tan grande como este, directa o indirectamente se han hecho uso de cada una de las ellas.

Sobre todo se ha hecho uso de la capacidad de aprendizaje y de trabajo que solo se adquiere en un grado como este. Aún con todo esto, hay una serie de asignaturas que han tenido más peso que otras. A continuación, se enumeran las más reseñables y su uso:

- Programación I y Tecnología de la Programación. Estas asignaturas básicas han sido vitales para el desarrollo de BALVIRT, debido a la similitud de los lenguajes usados, y él haber aprendido a realizar el código de manera correcta, estructurada y legible.
- Administración de Sistemas I y II y Sistemas Operativos. Estas asignaturas sirven para los distintos comandos usados para administrar la cámara y la jerarquía de procesos padres y procesos hijos.
- Estructuras de Datos y Algoritmos. Ya que la creación de los esqueletos dentro de la interfaz se realizan mediante árboles ordenados no balanceados, partiendo de punto inicial en el cuello.
- Programación II y Programación de Sistemas Concurrentes y Distribuidos. Estas dos asignaturas son importantes por todo lo que conlleva la programación

orientada a objetos (POO), por el hecho de que *C-Sharp* hace empleo de esta (los ficheros de funcionamiento de *Unity*[9] se realizan en este lenguaje). Y, en el caso de Programación de Sistemas Concurrentes y Distribuidos, se hace uso de la “pelea” por un recurso de varios elementos a la vez y este recurso se tiene que administrar bien quién puede acceder y cuando.

- Interacción Persona Ordenador. Es una asignatura importante, ya que enseña cómo se deben colocar los elementos en una interfaz y los colores que se han de usar, es decir, usabilidad y accesibilidad. Esto en un sistema cuyo usuario tiene que sentirse cómodo, es de vital importancia ya que si hacer uso de BALVIRT es difícil no querrá usarlo.

Además de los conocimientos que se han adquirido a lo largo de estos años. También es interesante el saber qué ha motivado a realizar este proyecto. La elección de este TFG fue por una razón, quería un proyecto que tuviera trascendencia, que fuera útil, que pudiera aplicarse a un ámbito real de la medicina y que supusiese un reto. Puesto que durante el grado con esfuerzo y dedicación se van superando los retos que llegan, ¿por qué no buscar un reto mayor y salir por la puerta grande?

En primera instancia todo iba bien, las cosas seguían su curso y no había mayor complicación. Conforme iba avanzando iban apareciendo pequeñas trabas que parecían fáciles de salvar, y, por el momento, así era. A pesar de la previa investigación, la meticulosa planificación y el trabajo constante, de pronto, me encontré con un muro. El sistema que había utilizado para llevar a cabo el proyecto no era tan bueno como lo vendían y me tocó reestructurar todo desde el principio.

Claro, después de algo así, no queda otra que recomponerse y seguir con el trabajo regularmente hasta poder obtener resultados, porque sabes que antes o después llegarán. El camino ha sido duro, ha habido muchas horas de trabajo dedicadas, que aunque parezcan vacías, realmente te sirven como entrenamiento para lo que vas a acabar haciendo el resto de tu vida, no todo tiene porque funcionar a la primera.

Una vez ya terminada la memoria y BALVIRT, viéndolo con perspectiva, estoy contento del trabajo que he realizado. Aunque no sea lo que me imagine en un principio, al fin y al cabo, si algo te enseñan aquí, es que lo importante es poder solucionar los retos, si no es de una forma, será de otra. Y que todo trabajo y esfuerzo tiene su merecida recompensa.

## 5.2. Trabajos futuros

Como posibles trabajos futuros del sistema BALVIRT, aparte de las que se han ido nombrando a lo largo del documento. La primera mejora a realizar sería la de hacer que la aplicación fuera ejecutable en otros sistemas, además de en *Windows 10* [24]. Las posibilidades más plausibles son sistemas como *Android*, *Mac OS* o distribuciones de *Linux*.

En el momento que se ejecute la aplicación en sistemas *Linux*, al poder usar ese sistema operativo, hace que se pueda lanzar la aplicación en sistemas de bajo coste como puede ser una *Raspberry Pi*, abaratando así el coste de la aplicación mucho más.

Otra posible mejora también podría ser una conexión entre el auxiliar y el paciente por medio online, haciendo que no se necesite la presencialidad de ninguna de las dos partes. La desventaja sería que cada paciente necesitaría un sistema BALVIRT y que el uso no supervisado de este sistema podría ocasionar lesiones o caídas.

Actualmente, esto se puede desarrollar haciendo uso de aplicaciones de terceros como Team Viewer para realizar la conexión del ordenador del paciente con la del especialista clínico. Aunque lo suyo sería que la conexión paciente a especialista clínico se hiciera por medio del sistema BALVIRT sin necesidad de terceros.

Además de esto, en versiones posteriores se podría seleccionar el tiempo que tiene que durar la sesión haciendo que el EV tenga mayor dinamismo. No obstante, en esta primera versión se obvia este ajuste inicial debido a que no se quiere poner en una situación que pueda provocar estrés a los pacientes. Además de la inclusión de más datos en el formulario del menú principal, como los apellidos, el DNI, el tipo de enfermedad que sufre, el lado más afectado por la paresia.

La inclusión de distintos programas de ejercicios para abarcar más patologías y rango de pacientes sería una mejora futura. Además de añadir nuevos niveles con variaciones de dificultad, haciendo así que los pacientes que tienen que hacer un número muy alto de sesiones se les haga más llevadero y no sea siempre el mismo patrón de ejercicios. Además de añadir un botón para repetir el ejercicio en el caso de que no se haya realizado correctamente.

Para añadir mayor complejidad a los niveles, otra de las mejoras sería poner un tiempo contrarreloj y acabar la sesión cuando se acabe el tiempo. No obstante eso podría poner en una situación de estrés a los pacientes. Entonces se debería llevar a estudio si el rendimiento de los pacientes se ve afectado por el factor temporizador, ya que en esta primera versión interesa una familiarización con el entorno y una correcta realización de los ejercicios. Por esta razón no se ha implementado una contrarreloj en esta primera versión de BALVIRT.

Otra funcionalidad que se añadirá en BALVIRT en las siguientes versiones es, la capacidad de corregir el ejercicio en el caso de que el especialista clínico se equivoque a la hora de puntuar en este ejercicio. Esto no se ha considerado algo tan crítico, ya que una vez se imprimen los resultados se puede modificar el fichero para que la información que contenga sea lo más parecida posible.

Para la elaboración de un estudio para BALVIRT sería necesario dos grupos de personas, un grupo de control al que no se les haría utilizar BALVIRT para las sesiones de rehabilitación y otro grupo al que sí se le haría utilizar el sistema. El caso sería ir viendo los resultados según varios parámetros, como pueden ser la flexibilidad, el tiempo que se tarda en hacer las sesiones, la satisfacción del paciente. Y una vez se han recavado todos estos datos, sacar conclusiones de qué grupo ha obtenido mejores resultados a lo largo de su determinado tiempo.

Otra posibilidad de estudio de viabilidad para BALVIRT es la evaluación de este sistema según la patología, y ver cuál de estas se ve más beneficiada por el sistema. Habría que tener en cuenta variables como el tipo de patología, la severidad de esta, en el estado en el que se encuentra el paciente, la edad de este, si toma fármacos o no, el tipo de vida que lleva. Lo cual tras todas las complicaciones que he sufrido, el tiempo no ha jugado a mi favor, y no he podido ponerlo en práctica y obtener una serie de resultados para este proyecto, como me hubiera gustado.

# Capítulo 6

## Bibliografía

- [1] Equipo Mayo Clinic. Accidente cerebrovascular. *Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 2022.
- [2] Equipo Mayo Clinic. Neuropatía periférica. *Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 2019.
- [3] Equipo Mayo Clinic. Esclerosis lateral amiotrófica. *Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 2022.
- [4] Equipo Mayo Clinic. Paraplejia espásica hereditaria. *Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 2022.
- [5] Equipo Mayo Clinic. Miastenia gravis. *Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 2019.
- [6] Equipo Mayo Clinic. Distrofía muscular. *Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 2019.
- [7] Equipo Mayo Clinic. Parkinson. *Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 2019.
- [8] Equipo Mayo Clinic. Ataxia. *Mayo Foundation for Medical Education and Research*, 2022.
- [9] Unity Technologies. Unity.
- [10] Orbbec 3D Foundation. Orbbec.
- [11] Orbbec. Astra sdk.
- [12] Equipo de Instituto Nacional de Bioingeniería e imágenes biomédicas. Ingeniería de rehabilitación. *Engineering the Future of Health*.

- [13] Roberto Lloréns, Enrique Noé, Valery Naranjo, Adrián Borrego, Jorge Latorre, and Mariano Alcañiz. Tracking systems for virtual rehabilitation: Objective performance vs. subjective experience. a practical scenario. *Sensors*, 15(3):6586–6606, 2015.
- [14] Antoni Jaume-i Capó, Pau Martínez-Bueso, Biel Moyà-Alcover, and Javier Varona. Interactive rehabilitation system for improvement of balance therapies in people with cerebral palsy. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 22(2):419–427, 2014.
- [15] Francisco MA de Araújo, Paulo Roberto F Viana Filho, Jesus A Adad Filho, Nuno M Fonseca Ferreira, António Valente, and Salviano FSP Soares. A new approach of developing games for motor rehabilitation using microsoft kinect. In *2019 IEEE 7th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, pages 1–6. IEEE, 2019.
- [16] K Bakhti, D Mottet, G Mélia, and I Laffont. Low cost objective diagnosis of learned non-use of the paretic arm after a stroke using kinect technology. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 58:e11–e12, 2015.
- [17] Ling-Fung Yeung, Zhenqun Yang, Kenneth Chik-Chi Cheng, Dan Du, and Raymond Kai-Yu Tong. Effects of camera viewing angles on tracking kinematic gait patterns using azure kinect, kinect v2 and orbbec astra pro v2. *Gait & posture*, 87:19–26, 2021.
- [18] Rev Neurol. Aplicación de la realidad virtual en los aspectos motores de la neurorrehabilitación. 2010.
- [19] Laura. Accesibilidad en las apps: 20 consejos para lograr una app accesible. [online], 2022.
- [20] Jakob Nielsen. Ten usability heuristics, 2005.
- [21] Diego Amarin. 10 principios de usabilidad de nielsen (con ejemplos) - diego amarin, 2022.
- [22] Microsoft. Kinect.
- [23] Sony. Playstation.
- [24] Microsoft. Windows10.

- [25] Alina Delia Călin Adriana Coroiu and Adriana Coroiu. Interchangeability of kinect and orbbec sensors for gesture recognition. In *2018 IEEE 14th international conference on intelligent computer communication and processing (ICCP)*, pages 309–315. IEEE, 2018.
- [26] Mohamed Adjel, Antoine Seilles, Denis Mottet, and Guillaume Tallon. Skeleton tracking for serious games and real-time medical diagnosis. *Human Computer Interaction and Emerging Technologies: Adjunct Proceedings from*, page 361, 2020.
- [27] Wen-Chieh Yang, Hsing-Kuo Wang, Ruey-Meei Wu, Chien-Shun Lo, and Kwan-Hwa Lin. Home-based virtual reality balance training and conventional balance training in parkinson’s disease: A randomized controlled trial. *Journal of the Formosan Medical Association*, 115(9):734–743, 2016.
- [28] Nuitrack. Nuitrack sdk.
- [29] Anne Shumway-Cook and Marjorie H Woollacott. *Motor control: translating research into clinical practice*. Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- [30] Jose-Antonio Lozano-Quilis, Hermenegildo Gil-Gómez, Jose-Antonio Gil-Gómez, Sergio Albiol-Pérez, Guillermo Palacios-Navarro, Habib M Fardoun, Abdulfattah S Mashat, et al. Virtual rehabilitation for multiple sclerosis using a kinect-based system: randomized controlled trial. *JMIR serious games*, 2(2):e2933, 2014.
- [31] Sergio Albiol-Pérez, José-Antonio Gil-Gómez, Roberto Llorens, Mariano Alcaniz, and Carolina Colomer Font. The role of virtual motor rehabilitation: a quantitative analysis between acute and chronic patients with acquired brain injury. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(1):391–398, 2013.
- [32] Veronica Gavrilă, Lidia Băjenaru, and Ciprian Dobre. Towards the development of a medical rehabilitation system. In *2021 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, pages 521–528, 2021.
- [33] Jean Vergouwen, Nicolas de Quadros, Renato Júnior, André Pellin, Mateus Trombetta, Patrícia Henrique, and Rafael Rieder. Motion rehab 3d ave v2: um novo vr-exergame para fisioterapia motora. In *Anais Estendidos do XXII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada*, pages 15–19, Porto Alegre, RS, Brasil, 2020. SBC.
- [34] Rui Chen, Jing Xu, and Song Zhang. Comparative study on 3d optical sensors for short range applications. *Optics and Lasers in Engineering*, 149:106763, 2022.

- [35] Belinda Lange, A Rizzo, Chien-Yen Chang, Evan A Suma, and Mark Bolas. Markerless full body tracking: Depth-sensing technology within virtual environments. In *Interservice/industry training, simulation, and education conference (I/ITSEC)*. Citeseer, 2011.
- [36] Ines Ayed, Adel Ghazel, Antoni Jaume-i Capo, Gabriel Moyà-Alcover, Javier Varona, and Pau Martínez-Bueso. Vision-based serious games and virtual reality systems for motor rehabilitation: A review geared toward a research methodology. *International journal of medical informatics*, 131:103909, 2019.
- [37] Owen O’Neil, Manuel Murie Fernandez, Jürgen Herzog, Marta Beorchia, Valerio Gower, Furio Gramatica, Klaus Starrost, and Lorenz Kiwull. Virtual reality for neurorehabilitation: insights from 3 european clinics. *PM&R*, 10(9):S198–S206, 2018.

# Anexos

# Anexos A

## Instalación del driver y obtención de la documentación

Si quiere disponer de mas información, la documentación oficial se encuentra en:  
Documentación oficial de *Orbbec*

1. Primero descargar la última versión del driver de *Orbbec* [10] obtenido de la página oficial.
2. Después se ejecuta el instalador y presiona el botón de instalar. (Ver Figura A.1).
3. Para continuar, el siguiente paso darle al botón *next* y a continuación observar si el driver se ha instalado correctamente como se puede ver en la Figura A.2.
4. Una vez se ha completado la instalación se cierra el dialogo que ha aparecido, y se ejecuta el administrador de dispositivos. Si se ha instalado correctamente, el dispositivo *Orbbec* [10] se verá como se muestra la Figura A.3.

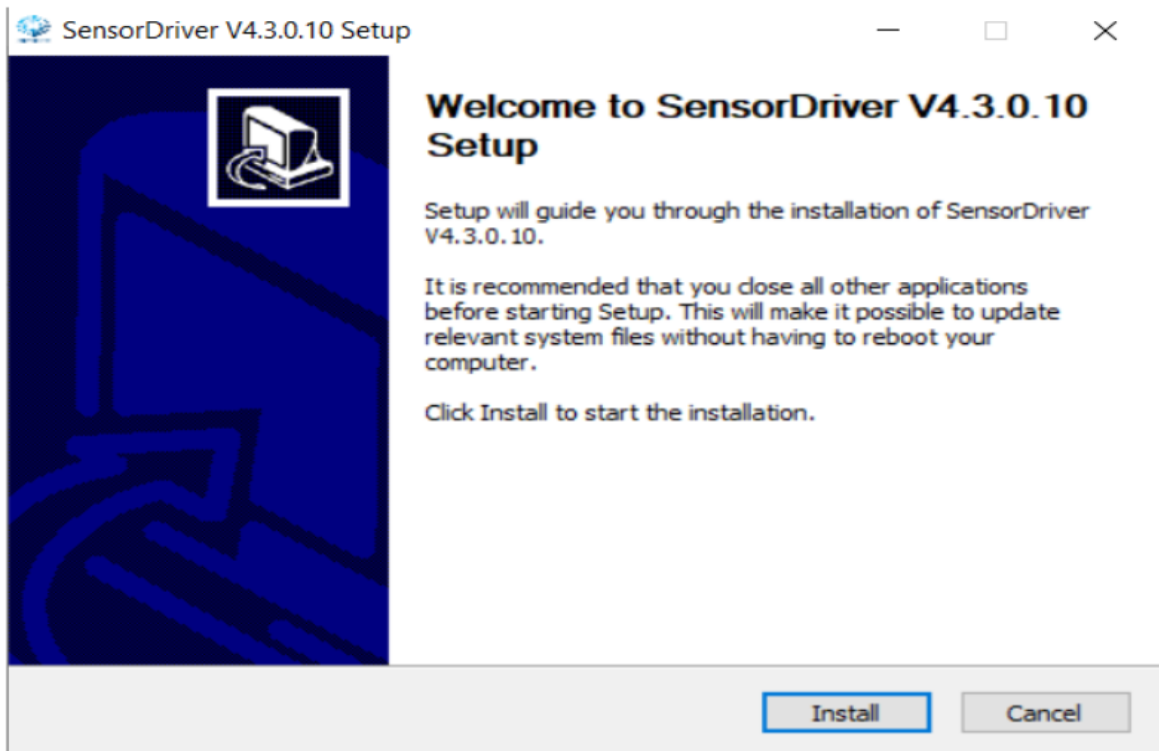


Figura A.1: Primer paso [10]

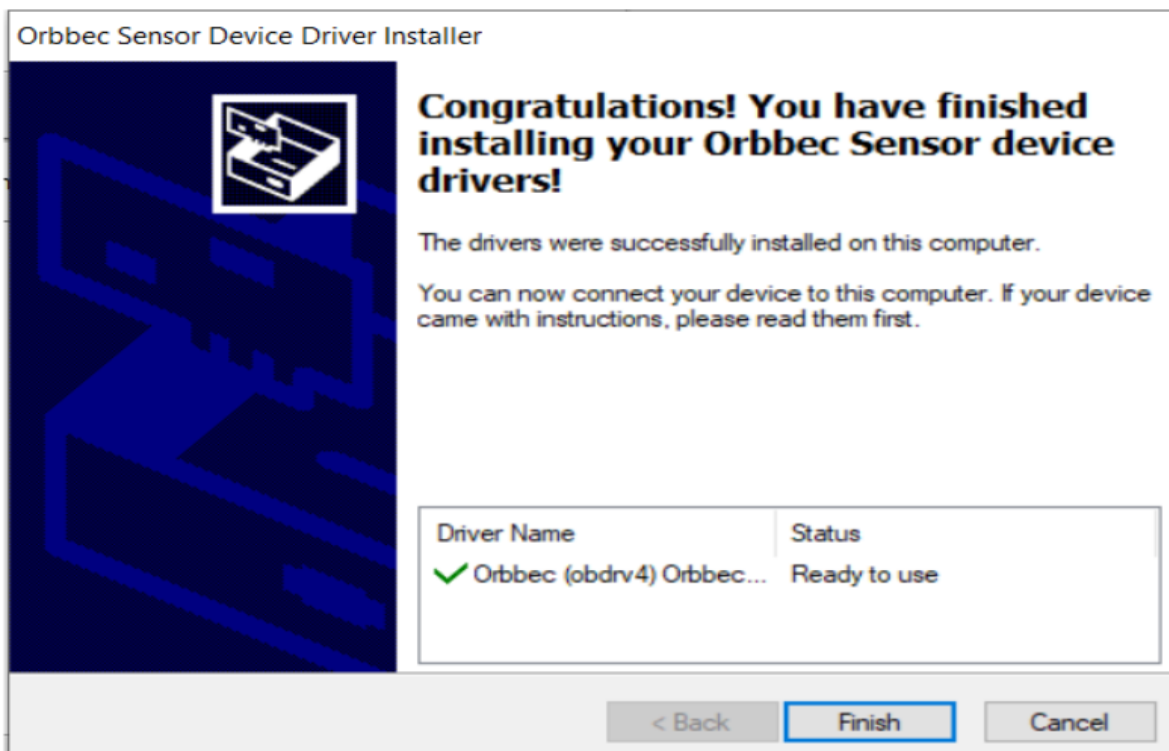


Figura A.2: Segundo paso [10]

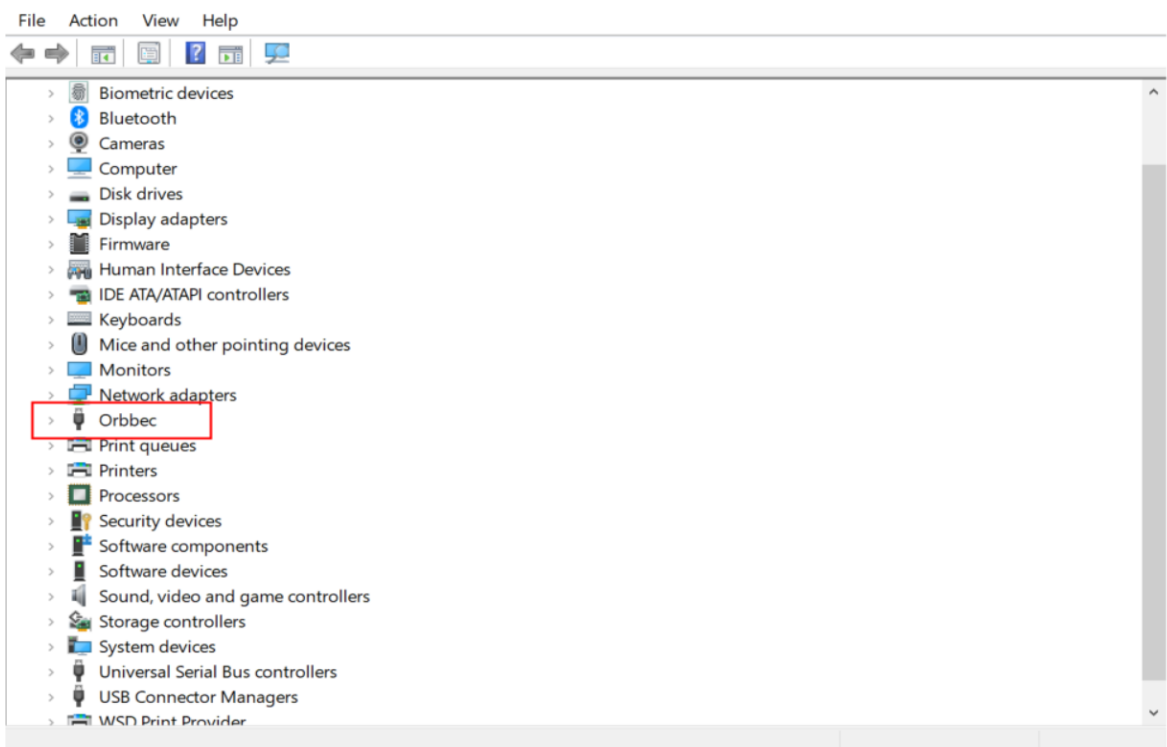


Figura A.3: Tercer paso [10]

## Anexos B

### Introducir licencia en Astra SDK

Para introducir el número de licencia hay dos formas, una vez ya se ha importado el paquete de *AstraSDK* [11] a *unity* [9]. A continuación se explican las dos opciones:

#### B.1. Por medio de inspector

La primera opción es por medio del inspector de *unity* [9]. La escena de prueba de *AstraSDK* [11], se selecciona el objeto *MainCamera* como se muestra en tras ejecutar la Figura B.1, y, dentro de ese objeto se encuentra el fichero *Astra SDK Manager*, en el cual se puede introducir el número de licencia como se muestra en la Figura B.2.



Figura B.1: Primer paso [10]

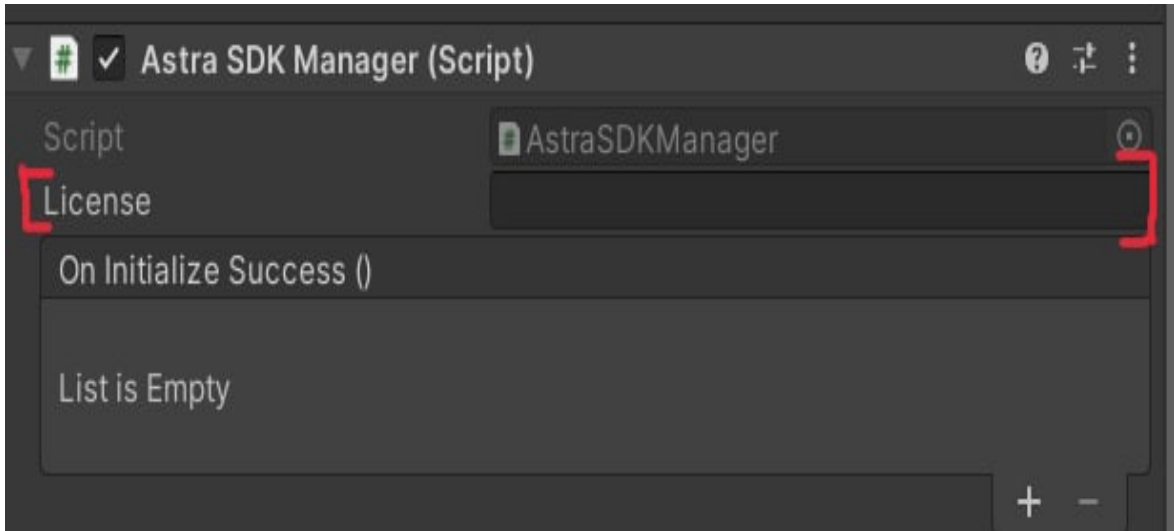


Figura B.2: Segundo paso [10]

## B.2. Por medio de fichero

La segunda opción requiere un poco más de trabajo. Primero hay que entrar en la carpeta de *scripts* dentro del proyecto y encontrar el *script* de *Astra SDK Manager*, se muestra dónde se encuentra en la siguiente imagen B.3. Una vez encontrado el fichero, se ejecuta y se busca la función *public string License* como puede ver en la Figura B.4 y se introduce ahí el código de licencia.

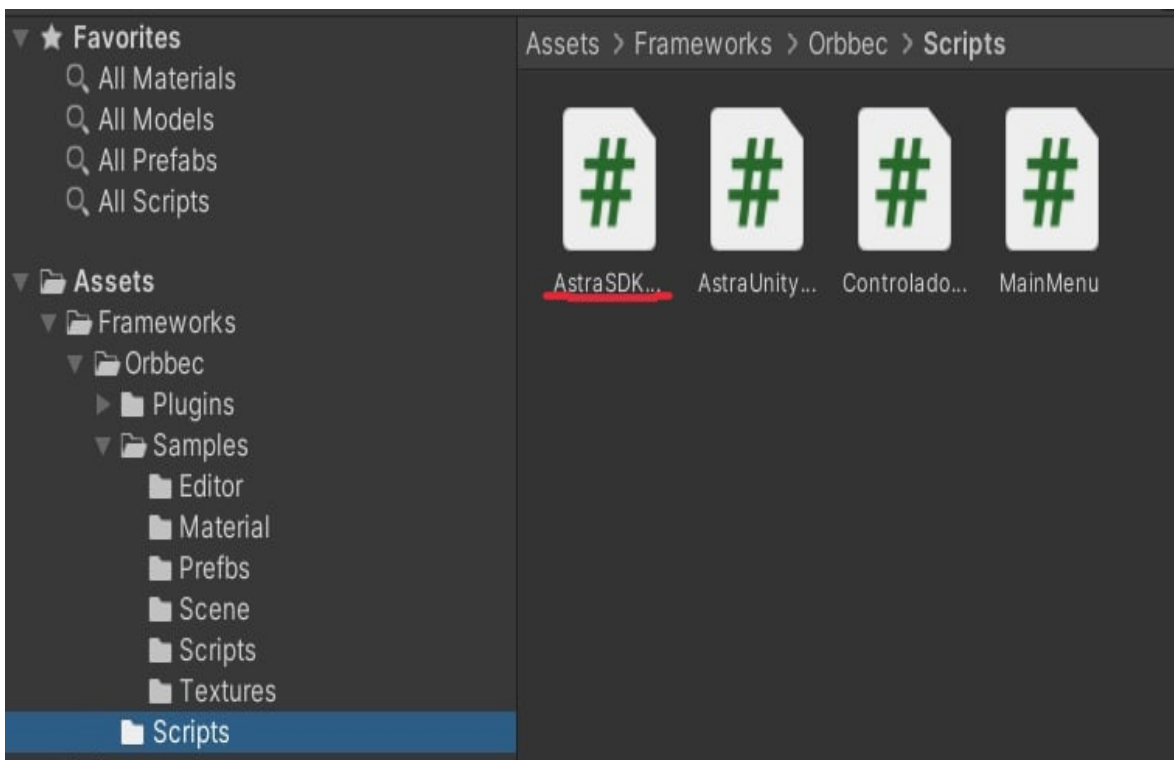


Figura B.3: Primer paso [10]

```
[SerializeField]
private string _license = "";
//Get and set license
0 referencias
public string License
{
    get
    {
        return _license;
    }
    set
    {
        _license = value;
    }
}
```

Figura B.4: Segundo paso [10]