
Control Remoto de Videojuegos con Smartphones



MEMORIA DE TRABAJO DE FIN DE GRADO

Pablo Gómez Calvo
Sergio J. Higuera Velasco

Grado de Desarrollo de Videojuegos
Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

Febrero 2021

Documento maquetado con TEXIS v.1.0+.

Control Remoto de Videojuegos con Smartphones

Memoria de Trabajo de Fin de Grado
Grado de Desarrollo de Videojuegos
Directores:
Carlos León Aznar
Pedro Pablo Gómez Martín

Versión 1.0.0

Grado de Desarrollo de Videojuegos
Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

Febrero 2021

Copyright © Pablo Gómez Calvo y Sergio J. Higuera Velasco

A todo aquél que confió en nosotros

Agradecimientos

Nadie es innecesario.

Yitán, Final Fantasy IX

El primer agradecimiento hay que dárselo a la Universidad Complutense por aceptar la creación de este grado, un grado que demuestra la importancia del mundo de los videojuegos en la sociedad actual. Con este grado se han conseguido romper muchas barreras, entre ellas está poder especializarse y adoptar los videojuegos como nuestra profesión.

Dar gracias a los profesores que nos han acompañado estos años y que han contribuido en el desarrollo del grado. Una mención aparte para las dos personas que han hecho posible la realización de este Trabajo de Fin de Grado, Carlos León Aznar y Pedro Pablo Gómez Martín.

Nuestro último agradecimiento va dirigido a nuestras familias por soportarnos en todos nuestros momentos durante el grado.

Resumen

¡No estáis preparados!

Illidan Tempestira, World of Warcraft

Los videojuegos pueden ser disfrutados con una amplia variedad de dispositivos de entrada. Desde un mando tradicional hasta unas gafas de realidad virtual pasando por estaciones de simulación de conducción de coches. Los dispositivos móviles no se quedan atrás en ofrecer nuevas posibilidades para jugar a videojuegos. La presencia de estos dispositivos en gran parte de los hogares hace que estos se conviertan en una alternativa a los dispositivos de entrada habituales. Por ello, este proyecto tiene como objetivo la utilización de un dispositivo móvil como dispositivo de entrada de juegos ejecutados en el pc. Para ello se ha desarrollado una librería para el motor de videojuegos Unity y una aplicación para Android.

La herramienta desarrollada se ha probado en un juego para comprobar la usabilidad de la herramienta y su proceso de inclusión. Con este juego se han realizado pruebas de rendimiento para comprobar la velocidad del proceso y ver si la librería cumplía los estándares de tasas de fotogramas por segundo. Los resultados muestran que este estándar es alcanzado por los dispositivos en los que se ha probado.

Palabras claves

Dispositivo de entrada, móvil, Android, Unity, videojuego, desarrollo de videojuegos

Abstract

Keywords

Índice

| | |
|---|------------|
| Agradecimientos | VII |
| Resumen | IX |
| Abstract | XI |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Motivación | 1 |
| 1.2. Objetivos | 3 |
| 1.3. Metodología | 4 |
| 1.4. Planificación | 5 |
| 1.5. Estructura del documento | 6 |
| Introduction | 7 |
| Motivation | 7 |
| Objectives | 7 |
| Methodology | 7 |
| Planning | 7 |
| Document Structure | 7 |
| 2. Estado del arte en entrada de usuario para videojuegos | 9 |
| 2.1. Dispositivos de entrada en ordenadores de propósito general . | 9 |
| 2.1.1. Evolución de los teclados | 9 |
| 2.1.2. Evolución de los ratones | 10 |
| 2.2. Evolución de los gamepads a través de las generaciones de consolas | 12 |
| 2.2.1. Primera generación (1972-1976) | 13 |
| 2.2.2. Segunda generación (1976-1983) | 13 |
| 2.2.3. Tercera generación (1983-1987) | 14 |
| 2.2.4. Cuarta generación (1987-1993) | 15 |
| 2.2.5. Quinta generación (1993-1998) | 16 |
| 2.2.6. Sexta generación (1998-2005) | 17 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.7. Septa generación (2005-2012) | 18 |
| 2.2.8. Octava generación (2012-2020) | 20 |
| 2.2.9. Novena generación (2020-Actual) | 22 |
| 2.3. <i>Feedback</i> en los controladores | 23 |
| 2.4. Sistemas de <i>streaming</i> en videojuegos | 24 |
| 3. Especificación del protocolo de comunicación | 29 |
| 3.1. Arquitectura del proyecto a alto nivel | 29 |
| 3.2. Protocolo de comunicación entre juego y dispositivo de entrada | 32 |
| 4. Implementación de las aplicaciones | 35 |
| 4.1. Implementación de la aplicación de Android | 35 |
| 4.1.1. Conceptos básicos de Android | 36 |
| 4.1.2. Desarrollo de la aplicación Android | 38 |
| 4.2. Implementación de la aplicación de Unity | 39 |
| 4.2.1. Funcionamiento de Unity | 40 |
| 4.2.2. Desarrollo de la API en Unity | 41 |
| 5. Pruebas con usuarios | 43 |
| 5.1. Integración de la librería en juegos finalizados | 43 |
| 5.2. Objetivos y organización de las pruebas | 45 |
| 5.3. Resultados de las pruebas | 47 |
| 5.3.1. Pruebas de rendimiento | 47 |
| 5.3.2. Resultados del test de opinión posterior a las pruebas | 49 |
| 5.4. Análisis y discusión de los resultados | 49 |
| 6. Conclusiones y trabajo futuro | 51 |
| 7. Conclusions | 53 |
| 7.1. Future Work | 53 |
| 8. Trabajo Individual | 55 |
| 8.1. Pablo Gómez Calvo | 55 |
| 8.2. Sergio Juan Higuera Velasco | 55 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| 2.1. Evolución de los teclados | 11 |
| 2.2. Primer ratón desarrollado por Douglas Engelbart y Bill English | 11 |
| 2.3. Ratón del Xerox Alto de los años 70 | 12 |
| 2.4. Joystick utilizado para jugar a Spacewar! | 13 |
| 2.5. Dispositivos de entrada relevantes en la 1. ^a generación de consolas | 14 |
| 2.6. Dispositivos de entrada relevantes en la 2. ^a generación de consolas | 14 |
| 2.7. Dispositivos de entrada relevantes en la 3. ^a generación de consolas | 15 |
| 2.8. Dispositivos de entrada relevantes en la 4. ^a generación de consolas | 16 |
| 2.9. Dispositivos de entrada relevantes en la 5. ^a generación de consolas | 17 |
| 2.10. Dispositivos de entrada relevantes en la 6. ^a generación de consolas | 17 |
| 2.11. Dispositivos de entrada relevantes de Nintendo en la 7. ^a generación | 18 |
| 2.12. Dispositivos de entrada relevantes de Xbox y PlayStation en la 7. ^a generación | 19 |
| 2.13. Dispositivos de entrada relevantes en la 8. ^a generación | 20 |
| 2.14. Nintendo Switch | 21 |
| 2.15. PS5 Dualsense Controller | 22 |
| 2.16. Primeros dispositivos con <i>force feedback</i> | 24 |
| 2.17. Flujo de la entrada de usuario de juegos en la nube | 26 |
| 3.1. Arquitectura del proyecto | 30 |
| 3.2. Diagrama del protocolo de comunicación entre ambos dispositivos | 34 |
| 4.1. Estados de las aplicaciones Android | 37 |
| 4.2. Ciclo de vida de una Actividad de un sistema Android | 38 |

| | |
|---|----|
| 4.3. Diagrama de clases de la aplicación Android | 40 |
| 4.4. Diagrama de clases de la aplicación de Unity | 42 |
| 5.1. Prueba del uso del QR para iniciar juego | 44 |
| 5.2. Tiempo de compresión y descompresión de las imágenes . . . | 48 |

Índice de Tablas

| | | |
|------|--|----|
| 2.1. | Ancho de banda necesario para jugar a Stadia vs GeForce Now | 25 |
| 3.1. | Envío de la resolución del móvil al juego. | 32 |
| 3.2. | Tiempo de vibración del dispositivo móvil en milisegundos | 33 |
| 3.3. | Pulsación enviada desde el dispositivo móvil al ejecutor del juego | 33 |
| 5.1. | Sistemas utilizados por cada usuario durante las pruebas | 48 |
| 5.2. | Resultados del test realizado a los usuarios posterior a la prueba | 49 |

Capítulo 1

Introducción

La tecnología se ha vuelto indispensable en prácticamente todos los ámbitos de nuestra sociedad. Son pocos los escenarios en los que no se vea involucrado un aparato tecnológico. Tareas tan cotidianas como preparar un café por la mañana o levantar una persiana ahora son posibles con una aplicación en nuestro móvil o con un comando por voz.

Además de para facilitar nuestras tareas, los dispositivos móviles se han unido a los ordenadores y las consolas de videojuegos en la tarea de entretenér a una gran cantidad de usuarios. Con la progresión en la calidad de los dispositivos móviles, la industria del videojuego ha decidido unirse y comenzar a lanzar juegos con grandes presupuestos al mercado móvil.

Como veremos, la entrada de los dispositivos móviles en la industria del entretenimiento no ha sido solo en forma de plataforma de juego si no como un aliado de los dispositivos ya existentes. Los dispositivos móviles han ayudado a la industria del entretenimiento a ampliar el abanico de opciones que los usuarios tienen para jugar e interactuar con las consolas actuales.

Con este proyecto se pretende explorar la situación actual del uso de dispositivos móviles como dispositivo de entrada para videojuegos ejecutados en otra plataforma y las motivaciones que existen para invertir e investigar en este nuevo modelo de interacción de usuario. Junto con esta investigación, se llevará a cabo con un proceso de desarrollo de una herramienta que haga posible jugar utilizando un dispositivo móvil como dispositivo de entrada para videojuegos.

1.1. Motivación

Uno de los pilares que siempre ha caracterizado a la industria del videojuego es la innovación a la hora de crear nuevas experiencias para los

usuarios. Son experiencias que enriquecen a muchos jugadores y que cada vez se disfrutan de una manera más cómoda y flexible. Uno de los culpables del aumento de esta flexibilidad a la hora de jugar son los dispositivos móviles.

En esta última década, el mercado del *gaming* ha acogido al teléfono móvil como su nuevo integrante. Los juegos para móviles han tenido mucho éxito entre las nuevas generaciones de jugadores. Tal y como se muestra en el informe publicado por AEVI (2019), el 45 % de los ingresos de la industria del videojuegos en el año 2019 provino de los videojuegos móviles donde se incluyen tanto dispositivos móviles como tablets. Estapé (2018a) plantea si estos nuevos dispositivos móviles son una amenaza para las consolas actuales y presenta el caso de varios fabricantes de periféricos *gaming* que se han lanzado al mundo de la fabricación de dispositivos móviles orientados a jugar.

Títulos relevantes dentro de la industria como *League of Legends*, *Call of Duty* o *Fortnite* ya tienen su versión para dispositivos móviles. Gracias a que estos títulos son gratuitos y se encuentran a la cabeza de los *e-sports* en sus modalidades de PC y consola (TEO, 2020), su relevancia dentro de las plataformas móviles ha sido aun mayor. A pesar de esto, tal y como cuenta Sanmartín (2019), existen varios limitantes en el *gaming* para dispositivos móviles. Algunos de estos limitantes son la batería de los dispositivos y la necesidad de una conexión estable a Internet.

Para resolver estos inconvenientes, las principales desarrolladoras de dispositivos móviles comenzaron a fabricar las gamas altas de estos dispositivos que suplían los problemas de batería, calentamiento y frecuencia de refresco de las pantallas. Sony en particular ha apostado por el desarrollo de una serie de dispositivos móviles pensados para largas sesiones de juego¹. Además de esto, Sony ha desarrollado su aplicación para poder jugar de manera remota a PlayStation 4 y PlayStation 5, **PS Remote Play**.² Además de para poder jugar, Sony ha desarrollado otra aplicación que permite a los usuarios controlar la interfaz de la consola PlayStation 4 desde su dispositivo móvil haciendo que este simule ser un mando y una segunda pantalla, **PS4 Second Screen**.³

Nintendo por su parte ha desarrollado la aplicación **Nintendo Switch Online**⁴ para llevar a cabo la comunicación en sus juegos online. Esta apli-

¹Xperia - <https://www.sony.es/electronics/xperia-mobile-gaming>

²<https://remoteplay.dl.playstation.net/remoteplay/lang/es/index.html>

³<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.playstation.mobile2ndscreen&hl=es&gl=US>

⁴<https://www.nintendo.es/Familia-Nintendo-Switch/Nintendo-Switch-Online/Aplicacion-para-moviles-1374628.html>

cación convierte tu dispositivo móvil en un chat de voz y texto, lo que suple la falta de micrófono incorporado en la consola y permite a los jugadores comunicarse con sus compañeros en los juegos online. Microsoft ha desarrollado su aplicación **Xbox**⁵ con la que poder jugar de manera remota a su consola. Gracias a esta aplicación, el usuario puede descargarse los juegos en su Xbox, ejecutarlos y conectar su móvil o tablet para poder jugar directamente en su smartphone a través de Internet.

Después de desarrollar sus aplicaciones, Sony sacó al mercado una serie de juegos conocidos como **PlayLink**.⁶ Este nuevo tipo de juegos se concentra en una colección de títulos que tienen como característica común que no es necesario usar un mando convencional de PlayStation. Estos títulos se juegan directamente usando el teléfono móvil como mando y el único requisito es tener cada uno de los dispositivos móviles conectados a la consola vía Wi-Fi. Esto soluciona por completo el problema de la escasez de mandos de consola en los hogares ya que únicamente serán necesarios los teléfonos móviles de las personas que vayan a jugar.

El propósito de este trabajo consiste en lograr utilizar un móvil como dispositivo de entrada en un juego de PC, imitando las características de algunas de las aplicaciones anteriormente mencionadas. Para poder lograrlo, se propone crear una librería de uso libre para el motor de videojuegos Unity. Esto permitirá la posibilidad de ampliación y modificación de la librería dependiendo de las necesidades de cada desarrollo.

1.2. Objetivos

La finalidad del proyecto es la conexión de 2 dispositivos, uno de ellos que ejecuta el juego y el otro funciona como un dispositivo de entrada para controlar el videojuego. Esta conexión debe ser estable, con el mínimo retraso posible y que sea fácil de incorporar en proyectos ya desarrollados.

El dispositivo móvil tiene la función de ser el dispositivo de entrada del videojuego. Para lograr esto, en la pantalla del móvil se muestra un mando virtual. Una vez el usuario interactúe con este mando virtual, las pulsaciones de los botones que se encuentran en la pantalla se envían al juego a modo de entrada de usuario. Además de esto, el mando virtual que se muestra puede configurarse desde el juego enviándole al dispositivo móvil la imagen del mando que mostrar.

Con respecto a las plataformas donde realizar ambas aplicaciones, hemos

⁵<https://www.xbox.com/es-ES/consoles/remote-play>

⁶<https://www.playstation.com/es-es/accessories/playlink/>

decidido utilizar Android de manera nativa para el dispositivo de entrada y Unity para la parte del juego. Se ha decidido hacer el plug-in para Unity ya que es uno de los motores de juegos más utilizado actualmente. En España el 83 % de las empresas de videojuegos utilizan este motor para desarrollar sus juegos (Libro blanco del desarrollo español de videojuegos 2019). El uso de Android para la aplicación de móvil se debe a las facilidades que ofrece Google para subir aplicaciones a la plataforma Play Store y al amplio parque de dispositivos Android que existen actualmente.

Para conseguir este objetivo se ha dividido el objetivo final en los siguientes pasos:

- Desarrollar un *plug-in open source* para Unity que permita establecer conexión y recibir *input* desde otro dispositivo.
- Desarrollar una aplicación *open source* para Android que permita establecer conexión con otro dispositivo para ser usado como dispositivo de entrada.
- Realizar un estudio posterior de los resultados del proyecto a través de una serie de pruebas con usuarios.

Para el último punto, se va a realizar un juego simple que pueda ser controlado con un dispositivo móvil para probar que la librería desarrollada funciona. Una vez el juego esté terminado, se va a realizar una prueba con usuarios para obtener una serie de datos como latencia de red, uso del procesador y tiempos de compresión y descompresión de imágenes. Los datos recolectados nos permitirán averiguar si el sistema desarrollado es apto para uso en juegos comerciales y futuros desarrollos.

1.3. Metodología

Como metodología de desarrollo se ha decidido usar una metodología ágil de producción que es habitual en la industria del desarrollo de software y videojuegos. Se ha elegido una metodología ágil por la experiencia positiva en proyectos previos.

Scrum, propuesto por Schwaber and Sutherland (1995) es un framework para la gestión de proyectos de trabajo en equipo. El texto original proviene de un congreso (OOPSLA 1995) pero en él no se incluyen muchos de los términos que hoy se asocian con la metodología SCRUM como las reuniones diarias (Mei, 2020). Scrum introduce el término *sprint* para referirse a períodos de tiempo de entre 2 y 4 semanas de duración en la que el equipo de desarrollo se compromete a realizar una serie de tareas. Estas tareas no

deben ser cambiadas durante la duración del sprint y el progreso de estas tareas debe ser compartido en las diferentes reuniones de scrum diarias. Una vez finalizado el sprint, debe de planificarse el siguiente con el objetivo de mejorar el producto ya existente. Clinton Keith explica cómo introducir esta metodología en cada uno de los equipos de desarrollo que configuran un estudio de videojuegos. Actualmente los videojuegos son productos que tardan varios años en desarrollarse e involucran grandes presupuestos, es por esto que revisar el producto sobre el que se está trabajando cada poco tiempo ayuda a las diferentes partes del equipo a tener una visión más global del videojuego (Keith, 2010).

Debido a los problemas de disponibilidad durante el desarrollo del proyecto, se realizaba una pequeña reunión de 10 minutos cada 1-3 días para ver el progreso de cada uno de los integrantes. En estas reuniones se revisaba la planificación para la siguiente reunión o la siguiente semana. Al principio del desarrollo fueron necesarias reuniones mucho más largas que en muchas ocasiones incluían a los directores del TFG en las que se discutían las diferentes características que deberían tener las aplicaciones que se estaban desarrollando. Estas reuniones más extensas servían como cierre de *Sprint* y como preparación del siguiente. El seguimiento de las diferentes tareas a realizar se realizaba usando la herramienta online **Pivotal Tracker** donde se marcaban las tareas con 3 posibles estados: “Open”, “In Progress” o “Done”.

1.4. Planificación

La planificación del desarrollo de este proyecto se ha dividido en 3 fases:

Documentación y diseño: Durante esta fase tratamos de delimitar claramente el alcance y objetivos del TFG, reunir fuentes y referencias y preparar las herramientas que se utilizarían durante el resto del desarrollo. Además, en esta primera fase se realizó un diseño de las aplicaciones que se desarrollarían en los meses posteriores.

Desarrollo: Durante esta fase del desarrollo se realizaron todas las funcionalidades especificadas en la fase anterior del proyecto. Al hacerse revisiones periódicas de la implementación, algunas de las funcionalidades iniciales sufrieron cambios o fueron eliminadas y se añadieron otras que encajaban más con el rumbo que estaba tomando el desarrollo. Esta fase ha ocupado la mayor parte del tiempo que ha tomado realizar este proyecto. Durante esta fase se realizaron 2 aplicaciones en forma de demo con las que poder probar la herramienta y demostrar la viabilidad del proyecto.

Cierre: Durante la fase final del desarrollo se realizaron las mejoras

finales de las aplicaciones y se refinaron los últimos detalles de rendimiento. En esta fase también se realizaron las pruebas con usuarios para extraer datos tanto de rendimiento de las aplicaciones como de posibles fallos y mejoras de las aplicaciones. Estos datos se han refinado, filtrado y analizado y han servido para extraer las conclusiones finales de este trabajo. Además, durante esta última fase del desarrollo se ha trabajado en terminar la redacción de este documento junto con la revisión por los directores de este TFG.

1.5. Estructura del documento

Este proyecto se divide en 6 capítulos, cada uno de ellos dedicado a una temática. Esta sección está situada en el capítulo de introducción donde se ha definido la motivación y los objetivos del proyecto.

El capítulo 2 recoge el estudio inicial del estado del arte en el cual se exponen los antecedentes de la temática del trabajo. En este capítulo se mencionan y explican los cambios que han sufrido los diferentes dispositivos de entrada para videojuegos desde los inicios. En este capítulo se incluye también el funcionamiento de los sistemas de streaming y la retroalimentación en los controladores de videojuegos.

En el capítulo 3 se explica todo lo relacionado con la especificación de las aplicaciones que se van a desarrollar. Esta especificación incluye una descripción del protocolo de comunicación entre dispositivos necesario para este desarrollo.

En el capítulo 4 se explica de manera detallada la implementación de las aplicaciones que se han desarrollado para este proyecto.

El capítulo 5 se explica la demo desarrollada para probar la viabilidad del *plug-in* desarrollado y como caso práctico para la presentación de este proyecto. Además, se recopila el pequeño experimento que se ha llevado a cabo con diferentes usuarios para probar la aplicación y recopilar *feedback* de los diferentes usuarios que han probado la demo. También se describen los participantes, los resultados obtenidos y la discusión sobre estos resultados.

En el último capítulo se explican de manera detallada las conclusiones obtenidas después de realizar el proyecto y una visión general del trabajo futuro que inspira este trabajo.

Introduction

Motivation

Objectives

Methodology

Planning

Document Structure

Capítulo 2

Estado del arte en entrada de usuario para videojuegos

A lo largo de las diferentes generaciones de computadores y de consolas se han ido desarrollando una serie de dispositivos de entrada que permiten al usuario interactuar con la máquina. Estos dispositivos van desde teclados y ratones hasta cámaras que permiten transformar tus movimientos físicos en movimientos dentro de un entorno virtual pasando por detectores de aceleración y pantallas táctiles. En este capítulo se presentan muchos de los trabajos pasados en el ámbito de los dispositivos de entrada de usuario.

2.1. Dispositivos de entrada en ordenadores de propósito general

Los dispositivos de entrada son aquellos que permiten introducir datos o información en un ordenador para que este los procese u ordene. Otro término usado para estos dispositivos es periférico. A pesar de que este término implica a menudo el concepto de adicional y no esencial, en muchos sistemas informáticos son elementos fundamentales. Beekman (1999) expone que los más comunes de estos dispositivos de entrada son el teclado y ratón. Pero no existen únicamente estos 2 dispositivos de entrada, a lo largo de la historia de la informática se han ido desarrollando diversos dispositivos de entrada tanto sonora como visual y de movimiento mecánico.

2.1.1. Evolución de los teclados

La historia de los teclados actuales tiene su origen en las máquinas de escribir. Estas primeras máquinas de escribir tienen su origen en el año 1877,

cuando la empresa Remington las comenzó a comercializar de manera masiva. En un primer momento las teclas se dispusieron en orden alfabético, algo que cambiaría un año después con la aparición de la primera patente del teclado QWERTY (figura 2.1a). Tal y como señala Stamp (2013), esta primera versión de las máquinas de escribir tenían un defecto que fue notorio cuando los usuarios escribían rápidamente una sucesión de letras que se encontraban cerca en el teclado. Este defecto consistía en que las barras que conectaban cada una de las teclas chocaban si se pulsaban teclas que estuvieran demasiado cerca. Para evitar este fallo en el modelo inicial se desarrolló el sistema QWERTY, el cual distancia los pares de letras que se suelen escribir juntas.

Uno de los primeros avances de estas máquinas de escribir ocurrió en la década de 1930, cuando se combinaron la tecnología de la entrada e impresión de las máquinas de escribir con la tecnología de la comunicación del telégrafo. Este dispositivo fue muy popular durante el siglo XX y sus funciones eran las de enviar y recibir mensajes mecanografiados de un punto a otro a través de un canal de comunicación. Más adelante fue utilizado en conjunto con las cintas perforadas para almacenar datos en los primeros ordenadores. Así, en 1955, el Whirlwind del MIT, se convierte en el primer ordenador del mundo que permite a sus usuarios introducir comandos a través de un teclado. Además, confirmó lo útil y conveniente que puede ser un dispositivo de entrada como el teclado.

Actualmente las principales mejoras que han sufrido los teclados de ordenador se basan en la eliminación de cables gracias al Bluetooth (figura 2.1b), la disminución de la presión que hay que ejercer sobre la tecla para que esta sea detectada y la ergonomía. Con la llegada de los dispositivos táctiles se añadió además el concepto de teclado virtual. Este teclado virtual elimina el uso de un teclado hardware para pasar a un teclado software que imita el teclado tradicional QWERTY pero en una pantalla táctil.

2.1.2. Evolución de los ratones

Además del teclado, el segundo dispositivo de entrada por excelencia es el ratón. La primera maqueta (figura 2.2) fue diseñada durante los años 60, disponía de 2 ruedas metálicas que al desplazarse por una superficie movían 2 ejes. Cada uno de estos ejes controlaba el movimiento tanto vertical como horizontal del cursor en la pantalla y disponía de un botón en la parte superior con el que se permitía hacer clic en la posición en la que se encontraba el cursor.

El siguiente avance del dispositivo fue cambiar su carcasa de madera por una de plástico y añadir más botones. Tal y como describió Entrialgo (2020),

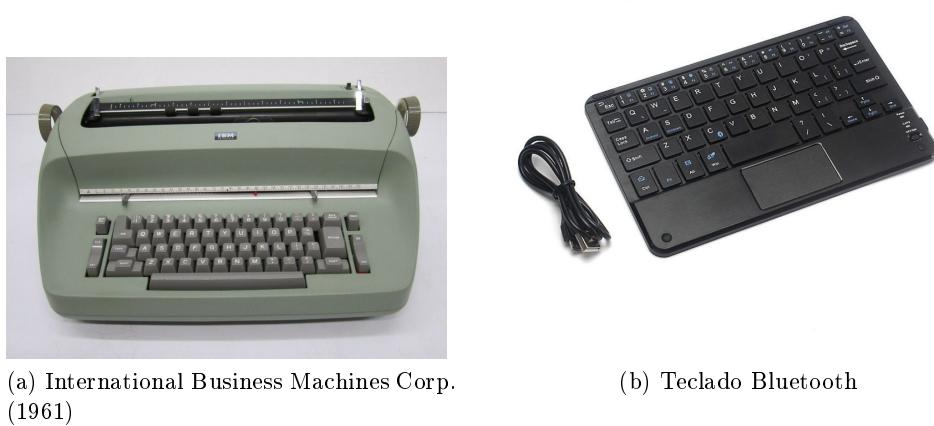


Figura 2.1: Evolución de los teclados



Figura 2.2: Primer ratón desarrollado por Douglas Engelbart y Bill English

este avance suele ser atribuido a Microsoft o a Apple. Lejos de ser así, fue la empresa **Xerox** la que realizó el nuevo diseño del ratón (figura 2.3) y del que es considerado el primer ordenador personal de la historia junto al Altair 8080. Este nuevo dispositivo sustituía las 2 ruedas que marcaban la posición del cursor por una única bola de metal. El movimiento de esta bola era la que determinaba la posición del cursor en la pantalla.

En el año 1992 Microsoft decidió vender en un mismo paquete su última versión de MS-DOS y Windows 3.1, lo que hizo que el ratón pasase a ser un periférico fundamental. Se dejaba atrás el mundo del texto y se abrían a todos los públicos las interfaces gráficas del PC. Este cambio hizo que el ratón siguiera evolucionando y durante la década de los 90 e inicios del 2000 los ratones sufrieron algunas mejoras. Algunas de estas mejoras son: una rueda central o lateral para el desplazamiento, el sensor de movimiento óptico por diodo LED o un sensor basado en un láser no visible. Un sector que aprovechó mucho esta estandarización del ratón y de las interfaces gráficas fue el de los videojuegos. El ratón se ha convertido en una parte esencial del mundo de los videojuegos de PC, sirviendo no solo para seleccionar y accionar objetos



Figura 2.3: Ratón del Xerox Alto de los años 70

en pantalla en juegos de estrategia, sino para controlar la cámara o cambiar la dirección del personaje en juegos de primera y tercera persona.

2.2. Evolución de los gamepads a través de las generaciones de consolas

Se dice que el primer intento de videojuego es una patente de 1947 sobre la simulación del lanzamiento de misiles pero no fue hasta 1958 y el lanzamiento del famoso **Tenis para Dos** creado por William Higinbotham que se puede comenzar a hablar de videojuegos (Estapé, 2018b). En este juego se recreaba una pista de tenis en la que la pelota iba de un lado a otro de la pista. Poco después, en 1962 vio la luz **Spacewar!**. Este título fue desarrollado por Steve Russell y posteriormente modificado por sus estudiantes. En este juego lo que se quería era simular una pelea entre 2 naves en el espacio, fue el primer paso de los juegos multijugador en un mismo dispositivo. El dispositivo de entrada de este juego consistía en 2 ejes de rotación que se usaban para controlar la rotación y el empuje de la nave. Además de esto, el mando disponía de un botón para disparar misiles (figura 2.4).

Será en la década de los 70 cuando las máquinas recreativas comiencen a tener repercusión con la salida de **Pong** en 1972 y **Space Invaders** en 1978. Muchos títulos y sagas tienen su inicio en esta época en la que las salas de recreativas estaban abarrotadas de jóvenes dispuestos a pasar allí todas las horas posibles jugando y compitiendo con otros jugadores. Con la salida de las consolas en los años y décadas posteriores, las rápidas mejoras del hardware y el avance la tecnología hizo que las máquinas recreativas se quedasen obsoletas en poco tiempo. Además de esto la proliferación de los cibercafés y los juegos en línea hicieron que el consumo de máquinas arcade se estancara.



Figura 2.4: Joystick utilizado para jugar a Spacewar!

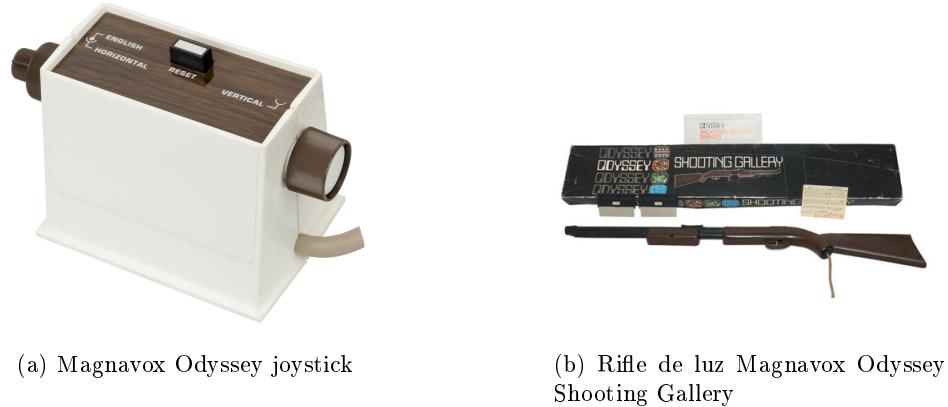
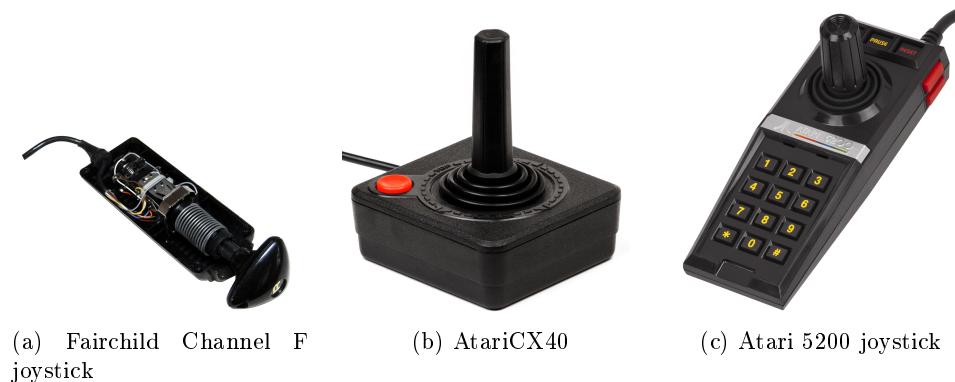
2.2.1. Primera generación (1972-1976)

En 1972 fue lanzada de manera oficial la **Magnavox Odyssey**, considerada la primera videoconsola. El dispositivo de entrada para poder jugar consistía de 2 diales que se utilizaban para el movimiento horizontal y vertical del personaje como puede verse en la figura 2.5a. Durante ese mismo año, la misma Magnavox sacó su juego de disparos conocido como *Magnavox Odyssey Shooting Gallery*. Este juego tenía la particularidad de que tenía que ser jugado con un mando diferente al original de la consola. Este accesorio nuevo era una pistola de luz (figura 2.5b). El funcionamiento de este nuevo mando era que los disparos se registraban siempre y cuando la pistola apuntase a una luz intensa por lo que si el jugador apuntaba hacia una bombilla, el juego marcaba como “alcanzado” el primer objetivo de la pantalla. La primera solución de este problema fue dibujar la pantalla en negro una vez el objetivo es alcanzado para así comprobar que se está apuntando a la pantalla, esto se desarrollaría en posteriores juegos.

2.2.2. Segunda generación (1976-1983)

En 1976 la empresa Fairchild Semiconductor sacó al mercado la **Fairchild Channel F** cuya característica principal a nivel de entrada de usuario fue la incorporación de un joystick de 8 direcciones. Además, la parte de arriba de este mando podía girarse para ser compatible con juegos como *Pong* y también podía ser pulsado y usarse normalmente como botón de disparo, tal y como puede verse en la figura 2.6a.

En 1977 salió al mercado uno de los joysticks más famosos. Este joystick es el que se utilizaba en la consola **Atari VCS** que posteriormente sería conocida como **Atari 2600**. Este joystick se conocía como el **Atari CX40** y

Figura 2.5: Dispositivos de entrada relevantes en la 1.^a generación de consolasFigura 2.6: Dispositivos de entrada relevantes en la 2.^a generación de consolas

consistía de una palanca que permitía un movimiento en 8 direcciones y un botón (figura 2.6b). Junto con este modelo, Atari sacó al mercado un tipo de conexión que se convertiría en el estándar de facto. Los sistemas posteriores eran compatibles con estos joysticks ya que lo tomaron como referencia. Unos pocos años después, en 1982, Atari lanzó su nueva consola Atari 5200. El sistema combinaba un diseño mecánico demasiado complejo con un sistema de circuito flexible interno de muy bajo coste. Este controlador incluyó un botón de pausa, una característica única en ese momento (figura 2.6c).

2.2.3. Tercera generación (1983-1987)

En 1983 Nintendo sacó al mercado **Nintendo Entertainment System (NES)**. El controlador de esta consola no fue el primer dispositivo donde se utilizó pero el éxito de la consola lo popularizó. Esta cruceta permitía un

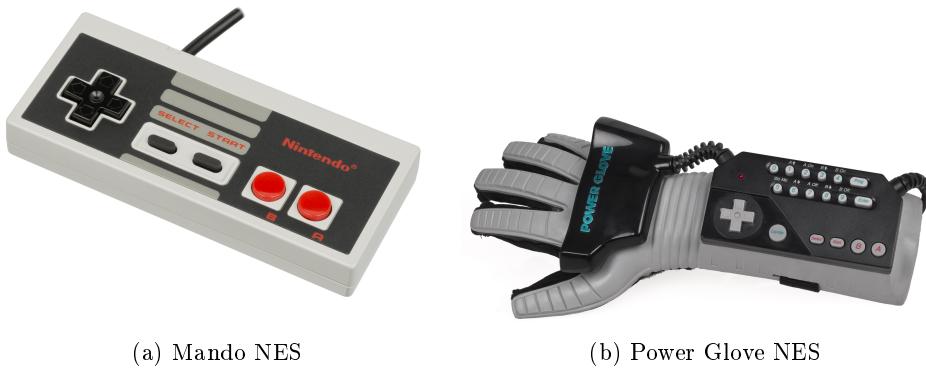


Figura 2.7: Dispositivos de entrada relevantes en la 3.^a generación de consolas

movimiento en 4 direcciones y que pretendía reemplazar a las voluminosas palancas de mando de los controladores. Además de la cruceta, el mando disponía de 2 botones redondos (A y B) y otros 2 botones rectangulares (START y SELECT) tal y como puede verse en la figura 2.7a. En lo sucesivo, se lanzaron varios dispositivos especiales diseñados precisamente para usarse con juegos específicos, aunque muy pocos de estos se volvieron populares. Uno de estos dispositivos era el **Power Glove** (figura 2.7b), el que sería considerado como uno de los primeros periféricos de interfaz en recrear los movimientos de la mano en una pantalla de televisión o de un ordenador en tiempo real.

2.2.4. Cuarta generación (1987-1993)

En 1990 Nintendo hizo evolucionar a la Nintendo NES y lanzó la **Super Nintendo Entertainment System (SNES)** (figura 2.8b), la cual dejó atrás un diseño cuadrado del controlador y se inclinó por un diseño más ergonómico, se mejoró la cruceta y se añadieron otros 2 botones (X e Y). El tiempo de respuesta del controlador era de 16 milisegundos.

Dentro de la evolución de los controladores, en 1993 la compañía SEGA sorprendió con el lanzamiento de un nuevo accesorio para su consola **Sega Mega Drive**. Este accesorio consistía en un aro octogonal que se colocaba en el suelo y se conectaba directamente al puerto de controlador de la consola. Lo llamaron **Sega Activator** (figura 2.8a) y fue el primer controlador en el que se utilizaba el cuerpo completo para jugar. El jugador se tenía que situar en el centro del aro, el cual emitía rayos infrarrojos hacia arriba para detectar los movimientos del jugador. Los juegos orientados para el Sega Activator eran juegos que involucrasen el movimiento de brazos y piernas para que el jugador cruzase los rayos infrarrojos y así se detectase el movimiento.

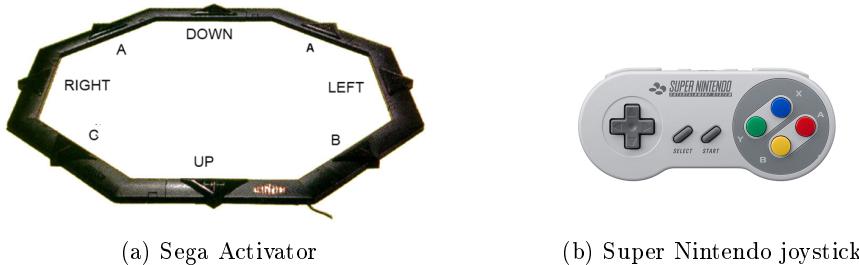


Figura 2.8: Dispositivos de entrada relevantes en la 4.^a generación de consolas

Al tratarse de 8 segmentos, cada uno de estos segmentos estaba mapeado como si fuera un botón en el mando tradicional, el cual se “pulsaría” cada vez que el jugador cruzase un segmento de los rayos infrarrojos.

2.2.5. Quinta generación (1993-1998)

Durante los años 90 **Sony** entró al terreno del desarrollo de consolas y por consecuencia, de modelos diferentes de controladores de videojuegos. Con su primera consola, la **Sony PlayStation**, incluyeron un nuevo diseño de mando que recogía muchos de los diseños vistos hasta el momento. A diferencia de Nintendo, este controlador cambió la nomenclatura de los botones A, B, Y y X por las figuras Δ , O , \times y \square , mantenía la cruceta y los botones START y SELECT y además añadió 4 botones más en la parte lateral del mando para los dedos índice y corazón. 3 años más tarde Sony sacaría una re-edición del mando al que le incorporaron 2 sticks analógicos junto con un botón con un LED para cambiar entre los diferentes modos usados para el control del personaje (figura 2.9c). Únicamente la versión japonesa presentaba una función de retroalimentación de vibración.

Por el lado de Nintendo, la consola sucesora de la Super Nintendo fue la **Nintendo 64** que fue acompañada por un nuevo diseño de mando que no pasó desapercibido (figura 2.9a). Disponía de una cruceta en la parte izquierda del mando, un stick de 360 grados y un botón START en el centro del mando y 6 botones en su parte derecha. Complementario a esto, en la parte trasera del mando había 2 botones más y también en la parte trasera se daba la opción de introducir un dispositivo extraíble que proporcionaba retroalimentación de vibración (figura 2.9b). Este accesorio se activaba en ocasiones concretas como al disparar un arma y servía para sumergir al jugador en el videojuego.



Figura 2.9: Dispositivos de entrada relevantes en la 5.^a generación de consolas

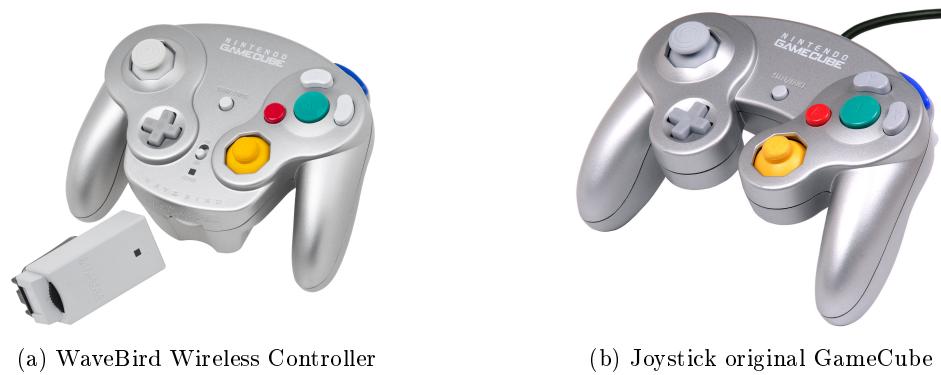


Figura 2.10: Dispositivos de entrada relevantes en la 6.^a generación de consolas

2.2.6. Sexta generación (1998-2005)

En los años posteriores las compañías siguieron sacando diferentes mandos que modificaban tamaño y posiciones de los botones pero no salieron cambios significativos hasta que en 2002 Nintendo lanzó al mercado un nuevo mando alternativo para su consola **GameCube**, este controlador tenía la peculiaridad de ser inalámbrico. Lo llamaron **WaveBird Wireless Controller** (figura 2.10a) y sentó las bases para los próximos mandos inalámbricos. Contaba con una cruceta, 6 botones digitales, 2 botones híbridos ya que hacían la función de gatillos y 2 palancas analógicas para el movimiento del personaje y la cámara normalmente. Como alimentación usaba 2 pilas AA y para comunicarse con la consola usaba radiofrecuencia, lo que permitía al jugador alejarse hasta 6 metros de la consola. Poco tiempo después tanto Sony con su PlayStation 3 como Microsoft con su Xbox 360 añadirían las baterías a sus mandos para convertirlos en inalámbricos.



Figura 2.11: Dispositivos de entrada relevantes de Nintendo en la 7.^a generación

2.2.7. Septa generación (2005-2012)

En 2006 Nintendo lanzó al mercado una consola cuya idea principal era ser usada por todos los miembros de la casa. Esta consola fue **Wii** y trajo consigo la característica más importante de esta consola, una nueva versión de mando. El **Wiimote** o **Wii Remote** tiene la capacidad de detectar movimiento en los 3 ejes mediante el uso de acelerómetros y la de apuntar. A diferencia de lo que ocurría con las pistolas de luz, la detección de la dirección del apuntado venía dado por una barra de sensores con LED infrarrojos (figura 2.11a). Para lograr detectar la dirección a la que el Wiimote apunta, el dispositivo incorpora en su parte superior un sensor óptico *PixArt*. Este dispositivo unido a una barra de 10 sensores LED infrarrojos, permitían al jugador apuntar de manera precisa hasta 5 metros de distancia de la barra. Para que el apuntado fuese más preciso la barra debía colocarse encima o debajo de la televisión.

El diseño del controlador es similar a los control remoto de televisión para así hacer que sea lo más intuitivo posible. En su parte frontal, el Wiimote dispone de los botones A, 1, 2, +, -, HOME, POWER y una cruceta. Además de estos botones el mando incorpora un botón trasero en forma de gatillo y un altavoz en su parte frontal. El mando necesitaba 2 pilas para ser utilizado e incluía 4 luces numeradas que servían para ver la carga del mando y el número del jugador que utilizaba ese mando. El accesorio principal del mando era el **Nunchuck** que además venía incluido con la consola (figura 2.11b). Nunchuck daba 2 botones adicionales en su parte trasera y



Figura 2.12: Dispositivos de entrada relevantes de Xbox y PlayStation en la 7.^a generación

un joystick analógico. Estos accesorios al mando podían conectarse por un puerto de expansión del que disponía el mando en la parte inferior. También en la parte inferior venía incluida una correa con la que poder asegurar el mando a la muñeca y evitar que durante una sesión de juego el mando se resbalase de la mano.

En 2010 Microsoft dio el salto a un nuevo controlador de videojuegos para su consola Xbox 360. Este nuevo periférico es conocido con el nombre de **Kinect** (figura 2.12a) y permite a los usuarios controlar e interactuar con la consola sin necesidad de tener contacto físico con un mando tradicional. Este control se realiza por gestos y reconocimiento de voz. El sensor Kinect es una barra horizontal de unas 9 pulgadas conectada a una pequeña base circular con un eje que permite que esta rote. Además, está diseñado para ser colocado por encima o por debajo de la televisión. El dispositivo cuenta con una cámara RGB, un sensor de profundidad, un micrófono de múltiples matrices y un procesador personalizado que ejecuta el software patentado. Esto proporciona captura de movimiento de todo el cuerpo en 3D, reconocimiento facial y capacidades de reconocimiento de voz. El micrófono de matrices del sensor de Kinect permite a la Xbox 360 llevar a cabo la localización de la fuente acústica y la supresión del ruido ambiente, permitiendo participar en el chat de Xbox Live sin utilizar auriculares. El sensor de profundidad es un proyector de infrarrojos combinado con un sensor CMOS monocromo que permite a Kinect ver la habitación en 3D en cualquier condición de luz ambiental. El rango de detección de la profundidad del sensor es ajustable gracias al software de Kinect capaz de calibrar automáticamente el sensor, basado en la jugabilidad y en el ambiente físico del jugador, tal como la presencia de sofás, mesas y otro tipo de muebles.

PlayStation también lanzó al mercado su sistema de control de video-



Figura 2.13: Dispositivos de entrada relevantes en la 8.^a generación

juegos por movimiento, **PlayStation Move** (figura 2.12b), y es compatible con los sistemas PS3 y PS4. PlayStation Move compitió tanto con el Kinect de Xbox como con el WiiMote de Nintendo. Para poder utilizar PlayStation Move se necesitan 3 componentes: *Motion Controller*, *Navigation Controller* y *PlayStation Eye* (figuras 2.12b y 2.12c). Motion Controller es el mando principal y tiene una forma alarga con una esfera luminosa en su parte superior. Esta esfera es utilizada para que PlayStation Eye detecte el mando. Esta cámara lee los movimientos del mando para posteriormente ser interpretados por el juego. Como complemento al Motion Controller, existe el Navigation Controller. Este controlador cumple la misma función que el Nunchuck de Wii.

2.2.8. Octava generación (2012-2020)

Coinciendo con la salida al mercado del PlayStation Move, Nintendo lanzó su nueva consola en 2012; la **Wii U** y con ella un controlador de videojuegos híbrido. Este controlador híbrido es el **Wii U GamePad** y es el mando principal de la consola. La principal distinción con respecto a los mandos tradicionales es la incorporación de una pantalla táctil (figura 2.13a), la cual se utiliza para mostrar información adicional durante una partida y además puede usarse como pantalla principal en caso de no disponer de un televisor mientras se juega. Además de como controlador de videojuegos, el Wii U GamePad es utilizado como control remoto independiente para controlar la pantalla de la televisión u otro aparato vía infrarrojos sin necesidad de tener la consola encendida. El mando contaba con altavoces y micrófono e incorporaba una cámara frontal de 1.3 megapixeles. Los sensores que incorporaba eran: acelerómetro, giroscopio, geomagnético e infrarrojo e incorporaba vibración. La conexión a la consola se hacía mediante bluetooth y disponía de NFC para futuros accesorios que incorporaron a los diferentes videojuegos.

En 2013 Sony hizo una revisión de su DualShock y como mando de la



Figura 2.14: Nintendo Switch

consola PlayStation 4 lanzó el **DualShock 4** (figura 2.13b). Este mando añadió al diseño anterior un panel táctil en la parte frontal, lo que hizo que la distribución de los botones que antes eran centrales cambiasen. En la parte trasera se añadió una barra LED que se ilumina en varios colores para diferenciar e identificar a los diferentes jugadores. Microsoft por su parte en 2015 puso a la venta su nuevo **Xbox One Elite Controller**. Una de las principales características es que tiene un diseño modular por lo que cada pieza es intercambiable para que cada jugador pueda adaptarlo a su medida. La personalización es el principal aliciente en este mando ya que permite reprogramar tanto los cuatro botones tradicionales de la parte frontal como los gatillos. También se da la posibilidad de establecer curvas de sensibilidad en las palancas analógicas. Gracias a la posibilidad de añadir piezas, este mando incluye 4 palancas más en la parte trasera como puede verse en la figura 2.13c.

En 2017 Nintendo presentó su nueva consola híbrida que tiene como base Wii U. La consola es **Nintendo Switch** (figura 2.14b) y es una consola que puede ser jugada tanto de manera portátil como en formato sobremesa con una televisión o un monitor. Los mandos diseñados para esta consola son los **Joy Con** y consisten en 2 unidades, cada uno de ellos contiene una palanca analógica y una matriz de botones. Estos mandos tienen la peculiaridad de que pueden usarse tanto acoplados a la consola o por separado. Cada uno de los Joy-Con puede ser utilizado como mando individual y se distribuyen en pares, designados como Joy-Con L y Joy-Con R. Una misma Nintendo Switch puede tener conectados hasta un total de 8 Joy-Con para juegos multijugador.



Figura 2.15: PS5 Dualsense Controller

La comunicación que tienen los mandos con la consola se realiza por bluetooth gracias a una batería no extraíble de 525 mAh en cada mando. Ambos controladores contienen una palanca analógica, cuatro botones en su parte frontal, dos botones superiores, dos botones laterales accesibles cuando se desacoplan de la consola, un botón - para el Joy-Con L y un botón + para el Joy-Con R y un indicador de jugador luces LED (figura 2.14a). Cada uno de los Joy-Con contiene un acelerómetro y un giroscopio, que pueden ser utilizados para los juegos que incluyen movimiento. Además, el Joy-Con R contiene un sensor de seguimiento de profundidad infrarroja, que puede leer objetos y movimientos sostenidos delante de él. Cada uno de los Joy-Con incorpora un motor para hacer vibrar el mando durante las sesiones de juego.

También durante 2017, Sony anunció una serie de juegos nuevos que se jugarían de una forma totalmente diferente ya que el mando utilizado sería cada uno de los teléfonos móviles de los usuarios. A esta serie de juegos se la conoce como **PlayLink**. La idea detrás de PlayLink es que todos los usuarios de la consola PlayStation 4 y sus familiares y amigos disponen de un dispositivo móvil pero no todos disponen de varios mandos para poder jugar con más personas en juegos cooperativos. PlayLink es una aplicación móvil que cada usuario se descarga en su Android o iOS y así puede usar su teléfono como un mando más de PlayStation 4. El requisito para que la conexión sea efectiva es que tanto la consola PS4 como los dispositivos móviles que se vayan a usar estén conectados a la misma red WIFI.

2.2.9. Novena generación (2020-Actual)

A finales del año 2020 Sony lanzó al mercado su nueva consola, la PS5 y con ella un nuevo mando al que bautizaron como **DualSense** (figura 2.15). Como ya pasaba con el DualShock 4, este mando funciona con batería y lleva un altavoz integrado. La gran novedad que trae este mando es la retroalimentación háptica. Se han sustituido los motores de vibración tradicionales

por 2 activadores que emiten vibraciones dinámicas capaces de simular todo tipo de sensaciones. Además de la nueva retroalimentación háptica, el nuevo DualSense incorpora 2 gatillos adaptativos. Estos gatillos emiten diferente fuerza de resistencia contra el jugador dependiendo del arma que se esté utilizando. El ejemplo que pusieron los desarrolladores de Sony fue con la cuerda de un arco, inicialmente no tiene resistencia pero cuanto más se tense la cuerda del arco más fuerza es necesaria.

2.3. *Feedback* en los controladores

En los inicios de los videojuegos y de las consolas el objetivo fue la creación de nuevos tipos de juegos con diferentes mecánicas y mejoras gráficas. En la era actual de los videojuegos se ha ido mucho más lejos de los primeros juegos como Pong y Tetris, la tendencia ha llevado a la creación de escenarios virtuales más realistas y a que el jugador formase parte de ese entorno virtual. Particularmente la respuesta que se da al usuario del videojuego al realizar acciones es conocida como **tecnología háptica**. Este tipo de tecnología se refiere al conjunto de interfaces tecnológicos que interaccionan con una persona mediante el sentido del tacto. La tecnología háptica tiene sus inicios en los dispositivos de los sistemas servo para controlar grandes aviones con la intención de poder hacerlo de manera remota. En estos sistemas se instaló un sistema de control que proporcionaba una resistencia a la palanca del piloto proporcional al ángulo de ataque del avión. Otro ejemplo destacable de esta tecnología se encuentra en la película **4-D Honey, I Shrunk the Audience!** del año 1994 que simulaba que los ratones se soltaban por el auditorio y corrían por toda la sala. Para conseguir esta simulación se bombeaba aire a través de un pequeño tubo de plástico y al agitarse, imitaba la sensación de las colas de los ratones rozando las piernas de los espectadores.

En los videojuegos esta tecnología fue introducida a través de los controladores. Al inicio estos sistemas de vibración se introdujeron en los controladores como dispositivos que se acoplaban al mando por separado como pasaba con el **Rumble Pack** de Nintendo 64. Con la salida del **Dualshock** en su versión japonesa esto cambió. Este mando incorporaba un sistema de vibración conocido como *tabletas vibradoras (rumble packs)* que tenían ese efecto de vibración al conducir vehículos o disparar armas de fuego. Con la llegada de las pantallas táctiles también aparecieron las pantallas hápticas. Estas pantallas son aquellas que transmiten una vibración al tocarla. El ejemplo más actual de tecnología háptica puede encontrarse en la reciente consola de Nintendo, Nintendo Switch. Nintendo no ha denominado a la tecnología que usan sus Joy-Cons como tecnología háptica sino como **Rumble HD**.



Figura 2.16: Primeros dispositivos con *force feedback*

El mundo de la simulación trata de intentar recrear el mundo real dentro de un videojuego. En este tipo de juegos de simulación la respuesta que recibe el usuario importa mucho debido al carácter inmersivo que puede llegar a ofrecer. Para lograr esto, en 1997 Microsoft sacó al mercado un producto que incluía *force feedback*, Force Feedback Pro (figura 2.16a). Como este dispositivo estaba pensado para su uso en PC, los puertos eran únicamente de entrada. Para conseguir enviar datos desde el ordenador al dispositivo era necesario utilizar las capacidades que disponía este puerto para poder usar MIDI. Esto quiere decir que los primeros mensajes de vibración venían dados por mensajes MIDI y que ordenadores que no tuvieran la posibilidad de usar este puerto, no podrían utilizar la función de vibración de los mandos. En ese mismo año, Microsoft sacó al mercado el que sería el primer volante con retroalimentación (figura 2.16b). Este sería el primer volante para jugar fuera de las máquinas recreativas arcade.

2.4. Sistemas de *streaming* en videojuegos

Con la extensión de los dispositivos móviles en el mundo de los videojuegos y las mejoras en las conexiones a Internet, la industria de los videojuegos se mueve a pasos acelerados hacia el *gaming* en la nube. Servicios de retransmisión vía streaming como *Netflix* o *Amazon Prime Video* ofrecen la posibilidad de disponer de un catálogo de series a películas a través de Internet. Con este precedente, empresas como Google¹ y Nvidia² se han adentrado al

¹<https://stadia.google.com/>

²<https://www.nvidia.com/es-es/geforce-now/>

mundo de los juegos en la nube.

Esta nueva forma de forma no solamente consiste en retransmitir al usuario final la partida que está jugando sino que el proceso va mucho más allá. Esta diferencia tiene lugar a la hora de tratar el input del usuario. En un videojuego tradicional, ejecutado en la misma máquina en la que se está jugando, una vez el usuario realiza una entrada el videojuego lo procesa y genera una respuesta apropiada. En los videojuegos en la nube una vez el usuario realiza una acción, esta debe ser enviada al servidor donde el juego está siendo ejecutado. Una vez en el servidor, la entrada que generó el usuario es tratada y se realizan los cambios en el estado del juego que haya provocado el usuario con su entrada. Cuando el estado cambia en el servidor se prepara el frame, se codifica y es enviado de vuelta al usuario que tendrá que decodificar el frame una vez le llegue al dispositivo donde esté jugando (Krishna, 2016).

Los anchos de banda requeridos para estas dos tecnologías varían con las resoluciones a las que se quiera jugar (tabla 2.1). Ambos sistemas aconsejan una conexión Ethernet o un router que disponga de una red de frecuencia 5 GHz.

| | Google Stadia | Nvidia GeForce Now |
|--------------------|----------------------|---------------------------|
| 720p 60fps | 10 Mbps | 15 Mbps |
| 1080p 60fps | 20 Mbps | 25 Mbps |
| 4K 60fps | 35Mbps | No Disponible |

Tabla 2.1: Ancho de banda necesario para jugar a Stadia vs GeForce Now

En los sistemas de streaming de video convencionales se utiliza la técnica conocida como *buffering*. Esta técnica puede realizarse siempre y cuando la conexión a Internet sea lo suficientemente rápida como para descargar un fragmento de los datos que van a usarse a continuación antes de necesitarlos. Con esto lo que se consigue es aprovechar los momentos en los que se dispone de un ancho de banda mayor para descargar parte del contenido que se va a visualizar a continuación. Esto permite al usuario no ser consciente de retrasos momentáneos en la red. En el mundo de los juegos en la nube este proceso se ve truncado por la interacción del usuario. El juego no puede predecir lo que va a pasar por lo que no se puede hacer *buffering* de los frames. Este hecho convierte a los sistemas de juegos en la nube en sistemas sensibles a los retrasos en la red.

En los juegos que se transmiten por red, una vez el usuario ha realizado la pulsación, esta pulsación es transmitida al servidor de manera encriptada. Una vez la entrada del usuario llega al servidor, debe ser desencriptada y los

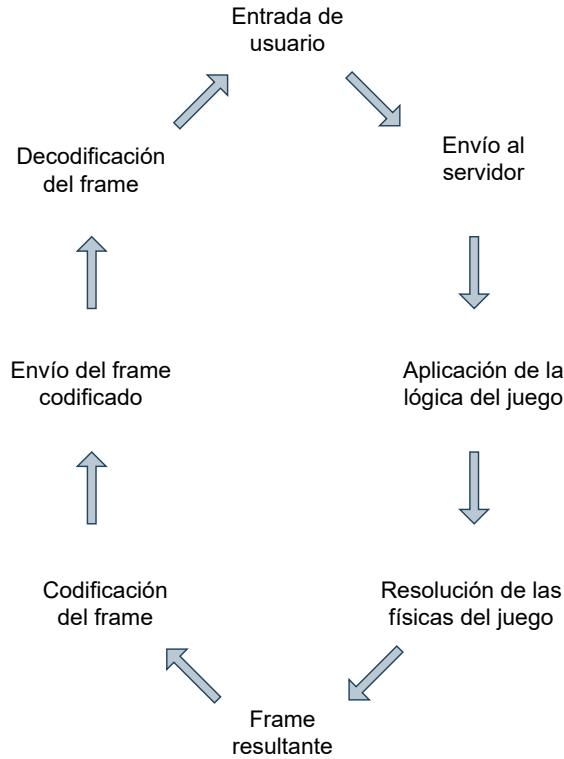


Figura 2.17: Flujo de la entrada de usuario de juegos en la nube

cambios deben aplicarse en el juego. Una vez aplicados los cambios, el frame debe ser codificado y transmitido de vuelta al usuario. El usuario decodifica el frame y lo muestra. Este ciclo se repite constantemente en el ciclo de los juegos en la nube (ver figura 2.17).

El interés de los jugadores por un producto depende de muchos aspectos. Uno de los principales es la experiencia que el usuario recibe al jugar. Esto hace que una caída del servicio mientras el jugador está jugando puede crear una frustración en el usuario y hacer que este pierda el interés. La latencia está definida como el tiempo de respuesta entre el servidor donde se está ejecutando el juego y el cliente que está jugando. Existen diferentes tipos de latencias o retrasos en la red. El más común es el retraso en la renderización del siguiente frame.

En este proyecto todos estos inconvenientes convergen. El uso de la red requiere de un mínimo ancho de banda y es por esto que tal y como se hablaba al principio del capítulo, los sistemas como Stadia piden unas mínimas velocidades para poder asegurar la fluidez a la hora de jugar. Un juego que ejecute a 60 frames por segundo quiere decir que se disponen de 16 segun-

dos aproximadamente para realizar el ciclo comentado en la figura 2.17. En ocasiones para conseguir mantener estas tasas de frames se realiza una disminución de la calidad gráfica con la que llega el frame. Realizar estos cambios dinámicos de manera puntual en picos donde el uso del ancho de banda es demasiado ayuda a que el jugador no tenga desconexiones o retrasos en la entrada que ha realizado.

Capítulo 3

Especificación del protocolo de comunicación

La finalidad de este trabajo es conseguir la conexión entre 2 dispositivos con la creación de una librería para un motor de videojuegos. Uno de ellos va a funcionar como un controlador de videojuegos y otro como ejecutor del juego. Para que esta comunicación se consiga es necesario analizar y definir las funcionalidades que se quieren ofrecer a los desarrolladores que usen la librería.

En este capítulo se va realizar un análisis de las diferentes funcionalidades que son necesarias para que la comunicación pueda realizarse. Se expondrán las ventajas y las desventajas de cada una de estas funcionalidades y por último se definirá el protocolo de comunicación entre los 2 dispositivos involucrados en este trabajo.

3.1. Arquitectura del proyecto a alto nivel

Como ya hemos mencionado, el objetivo a alto nivel consiste en lo siguiente (figura 3.1).

Para conseguir usar el dispositivo móvil como mando para videojuegos se plantearon las posibles características que podrían incluirse. Como se detalla más adelante, estas opciones difieren en la versatilidad que se le ofrece al usuario de la librería, la complejidad de programación y el ancho de banda usado durante la ejecución del juego.

La primera de estas opciones se basa en el uso de imágenes estáticas de mandos cargados previamente en la aplicación del móvil. La comunicación entonces serían las pulsaciones que se envían desde el móvil al ordenador. En este esquema el feedback viene dado por la aplicación que se ejecuta en

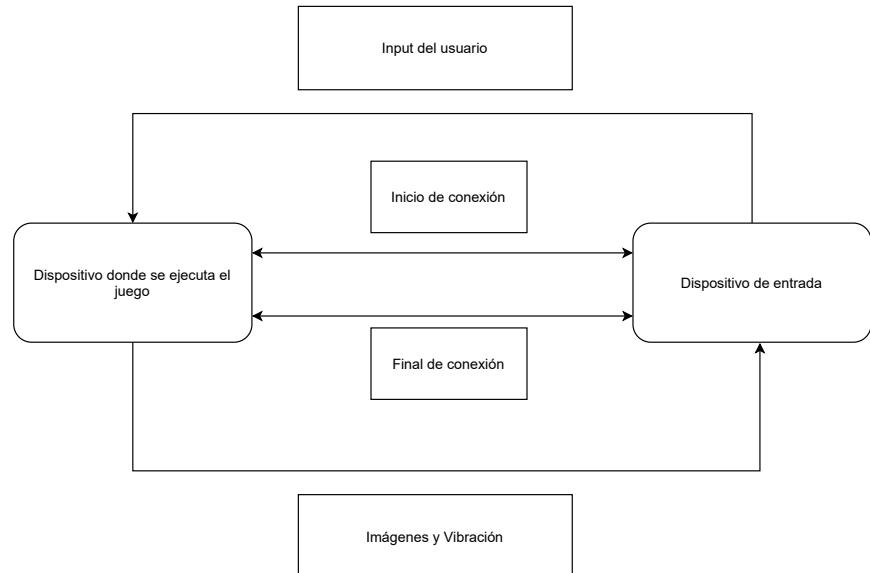


Figura 3.1: Arquitectura del proyecto

el dispositivo móvil. La principal ventaja en el envío de una única imagen estática es el poco uso de ancho de banda. La única comunicación que se tiene por red es el envío de las pulsaciones del usuario en la pantalla del móvil al ordenador. Esta comunicación puede realizarse utilizando TCP y conseguir así que no se pierda ninguna pulsación del usuario. Otra ventaja que ofrece es la poca complejidad que supone para el usuario final de la librería. Con este sistema, el juego sería notificado de la llegada de pulsaciones desde el teléfono gracias a la librería desarrollada. El desarrollador del juego únicamente tendría que encargarse de decidir qué hacer con la llegada de cada pulsación. Esto lleva directamente a la primera desventaja, la poca versatilidad que se le da al usuario de la librería. Al no haber una comunicación desde el videojuego hasta el móvil, perdemos la oportunidad de que el desarrollador del juego modifique el mando que quiere utilizar o que ordene al teléfono activar la vibración a su gusto.

Para resolver el problema de la modificación del mando que usar se planteó una nueva característica: permitir que el juego envíe imágenes en formato .PNG a lo largo de la sesión de juego. Para que esto sea posible se tiene que habilitar el envío de datos en ambas direcciones. Hacer esto supone un aumento en el uso necesario del ancho de banda a cambio de dar más versatilidad al usuario de la librería. Para conseguir la modificación de las imágenes, Android ofrece un sistema de capas en las imágenes que se describan en el archivo de manifiesto. Estas capas se pintan en orden descendiente, siendo la última imagen declarada la que taparía al resto.

Para disminuir el impacto en el ancho de banda se planteó la opción de que el envío del mando desde el juego al dispositivo móvil se hiciese únicamente al inicio de la conexión. Hacerlo de esta manera permitiría al usuario de la librería modificar el mando con el que se quiere jugar pero este no se podría cambiar en ningún momento de la ejecución. Esta decisión aumenta el coste en el ancho de banda al inicio de la conexión pero disminuye drásticamente una vez que la imagen del mando ha sido guardada, lo que permite seguir usando TCP como protocolo de transmisión.

Otra de las características posibles es más versátil para el desarrollador del videojuego pero también es más costosa en cuanto al ancho de banda que usa. Esta nueva característica da la posibilidad al usuario de la librería de enviar streaming de video al dispositivo móvil y que este lo muestre por pantalla. Para que esto sea posible la comunicación entre ambos dispositivos tiene que realizarse en ambos sentidos durante toda la ejecución con un intercambio constante de datos. Como esta característica es la más versátil para el usuario de la librería, en esta arquitectura se daría la posibilidad de controlar la vibración también al desarrollador. Darle todas estas características al desarrollador implica un aumento en la complejidad del código que este tiene que implementar. Dado que el consumo del ancho de banda sube de manera considerable, en este diseño se ha optado por modificar el protocolo de transmisión de TCP a UDP para disminuir el consumo. Esto implica que se asume una posible pérdida de pulsaciones realizadas por el usuario o una posible pérdida de frames en el envío del streaming de video.

Este último conjunto de características ha sido el utilizado para este proyecto. Las funcionalidades que se ofrecen al usuario de la librería son:

- Envío de pulsaciones desde el dispositivo móvil al juego.
- Envío de streaming de imágenes en formato .PNG desde el juego al móvil.
- Envío de orden de vibración del juego al móvil.

Para que el desarrollador tenga un control total de lo que se envía en cada momento, se da la opción de enviar un mensaje de vibración al dispositivo móvil. Esto permite que el móvil vibre no solo por las pulsaciones, sino, por ejemplo, cuando el jugador reciba daño o se choque si está jugando a un juego de conducción. En la siguiente sección se detalla el protocolo desarrollado y en el próximo capítulo se detallará la implementación de la parte de móvil y PC.

3.2. Protocolo de comunicación entre juego y dispositivo de entrada

Un protocolo de comunicación es un sistema de reglas que permiten a 2 o más dispositivos comunicarse entre ellos. Estas reglas se establecen para permitir la transmisión de datos y la forma en la que la información debe ser procesada. Cada mensaje tiene un significado exacto destinado a obtener una respuesta de un rango de posibles respuestas predeterminadas para esa situación en particular. Una de las características principales de un protocolo de comunicación es que ambas partes tienen que conocer y usar los mensajes que se van a enviar y a recibir.

Al inicio de la comunicación, el dispositivo encargado de ejecutar el juego debe quedarse a la escucha en un puerto asignado a la espera de un primer mensaje. Este primer mensaje es enviado por el móvil y tiene de tamaño 1 byte y define el número de versión del protocolo. Este número de versión es utilizado para comprobar si el cliente y el servidor son compatibles y así evitar errores en la interpretación de los datagramas. Instantáneamente después, el dispositivo móvil envía al juego la resolución de su pantalla. Este dato viene dado en un mensaje de 4 bytes donde los 2 primeros se tratan como el ancho de la pantalla y los 2 siguientes como el alto. Se han utilizado 2 bytes porque no se esperan resoluciones de pantalla que superen el valor de 2^{16} .

| Bits | 0-15 | 16-32 |
|------|-------|-------|
| 0 | Ancho | Alto |

Tabla 3.1: Envío de la resolución del móvil al juego.

En caso de que estos mensajes lleguen con un formato incorrecto son descartados. En caso de que la versión del protocolo no coincida, el servidor descarta el mensaje y sigue a la espera de una versión que coincida.

Una vez la conexión se ha establecido correctamente, el dispositivo que ejecuta el juego envía al controlador la duración de la vibración que debe realizar para que el usuario reciba un feedback haptico. Este mensaje contiene 3 bytes que se distribuyen de la siguiente forma:

- Primer byte con valor 5 a modo de cabecera para que se sepa el tipo del mensaje.
- 2 bytes que indican la duración de la vibración en milisegundos.

Este mensaje puede ser enviado de nuevo en caso de que quiera cambiarse

| Bits | 0-7 | 8-23 |
|------|---------|---------------------|
| 0 | 0000101 | Tiempo de vibración |

Tabla 3.2: Tiempo de vibración del dispositivo móvil en milisegundos

la duración de la vibración. Además de modificar el tiempo, se da la opción de hacer peticiones al móvil para que este vibre por una determinada acción del juego. Esto puede hacerse con el envío de un mensaje de tamaño 1 byte cuya cabecera contenga el valor 2, valor designado para activar la vibración en el tiempo determinado por la estructura anterior.

Tras el envío de este mensaje comienza un bucle de juego en el que ambos dispositivos intercambian mensajes de una manera no ordenada. Además de la vibración, el juego tiene la posibilidad de enviar imágenes. Estas imágenes pueden enviarse en forma de imágenes estáticas o en forma de streaming de video. El formato de compresión utilizado será **PNG** y la cabecera que diferencia este tipo de mensajes es un byte con valor 3.

Además de enviar estos mensajes, el dispositivo encargado de ejecutar el juego recibirá mensajes de 6 bytes cuya estructura será:

- El primer byte tiene el valor 0 e indica el tipo del mensaje.
- El segundo byte es el tipo de la pulsación. El valor 0 indica el comienzo de la pulsación y el valor 1 indica el fin de la pulsación.
- Los últimos 4 bytes representan las coordenadas X e Y de la pulsación del usuario. Los 2 primeros bytes indican la coordenada X en la pantalla del móvil y los 2 últimos la coordenada Y.

| Bits | 0-7 | 8-15 | 16-31 | 32-47 |
|------|----------|-------------------|------------|------------|
| 0 | 00000000 | Tipo de pulsación | Posición X | Posición Y |

Tabla 3.3: Pulsación enviada desde el dispositivo móvil al ejecutor del juego

Para el cierre ordenado de la comunicación desde el dispositivo móvil se envía un mensaje de tamaño 1 byte que tiene como cabecera del mensaje el valor 4 que es el valor que indica cierre de conexión. Para este mensaje no se espera nada de vuelta ya que es siempre el móvil el que cierra la conexión. Para la detección de pérdidas de conexión se utilizan paquetes de tipo *Keep Alive* cuya cabecera tiene el valor 6. Este paquete consta del envío de 1 solo byte y una vez que este tipo de mensaje se envía el receptor está obligado a responder para que la conexión no se corte.

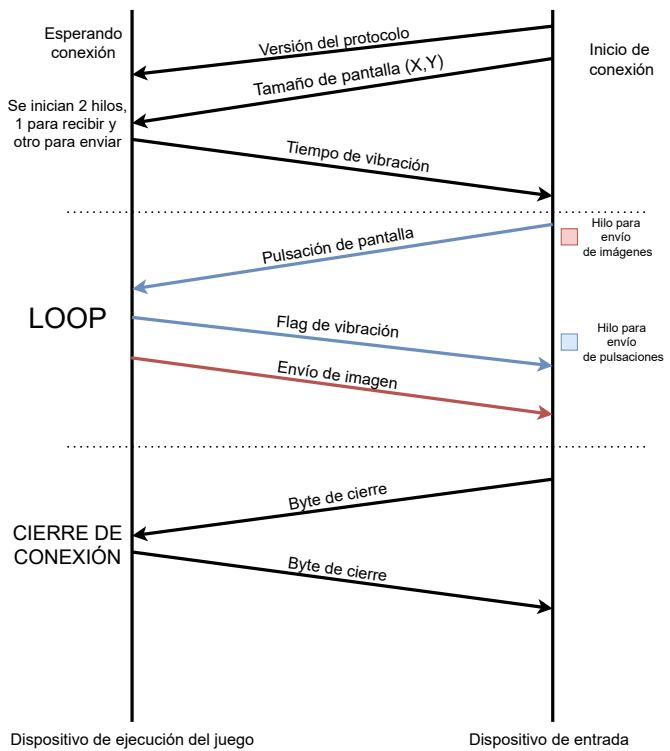


Figura 3.2: Diagrama del protocolo de comunicación entre ambos dispositivos

En el próximo capítulo

Tal y como hemos visto en este capítulo, para la realización de este proyecto surgieron 3 alternativas de las posibles características que debería incorporar. Tras analizar las ventajas y desventajas se escogió la que mayor versatilidad daba al desarrollador a cambio de un mayor coste en el ancho de banda. Para solventar esto se decidió utilizar UDP como protocolo de transmisión. En el próximo capítulo se procede a explicar la implementación tanto de la aplicación de Android como de la aplicación de Unity.

Capítulo 4

Implementación de las aplicaciones

En el capítulo anterior se analizaron las diferentes opciones de diseño del proyecto y se detalló el protocolo de comunicación entre el juego y el dispositivo móvil. Además de esto se expusieron las ventajas y desventajas de usar los diferentes conjuntos de características expuestas. En este capítulo se detallará todo el proceso de creación y desarrollo de las diferentes aplicaciones que utilizan el protocolo de comunicación anteriormente expuesto. Se ha dividido este capítulo en 2 secciones, una para cada aplicación desarrollada:

- Implementación de la aplicación de Android (sección 4.1)
- Implementación de la aplicación de Unity (sección 4.2)

4.1. Implementación de la aplicación de Android

El objetivo principal de la aplicación Android es poder utilizar este dispositivo como un mando. Para conseguir esto la aplicación recibe un flujo de imágenes enviadas desde el juego. La aplicación está restringida a un uso exclusivo en apaisado. Cada vez que la aplicación registre una pulsación del usuario en la pantalla, esta enviará por red al juego las coordenadas de la pulsación. Para poder hacer este envío, la aplicación móvil debe conocer la IP del dispositivo que ejecuta el juego y en qué puerto espera recibir los mensajes. Para evitar que el usuario tenga que escribir estos datos y mejorar la usabilidad de la aplicación, este proceso se hace con códigos QR. Como se verá más adelante, el juego debe mostrar el código QR que codifica la cadena IP:Puerto.

En el momento de arranque, la aplicación activará la cámara del dispositivo móvil para que el usuario escaneé el código QR. Con esto la aplicación

recibe los datos que necesita para iniciar la conexión con el juego sin que el usuario tenga que preocuparse por nada más.

4.1.1. Conceptos básicos de Android

Android Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para la plataforma de Android. Actualmente Android Studio está disponible para las plataformas Microsoft Windows, macOS y GNU/Linux. Android Studio incluye una gran variedad de herramientas para facilitar el desarrollo en Android entre las que se incluyen:

- Plantillas para crear diseños comunes de Android y otros componentes.
- Un editor de diseño enriquecido que permite a los usuarios arrastrar y soltar componentes de la interfaz de usuario.
- Soporte para construcción basada en Gradle.
- Dispositivos virtuales de Android que se utiliza para ejecutar y probar aplicaciones.
- Consola de desarrollador: consejos de optimización, ayuda para la traducción y estadísticas de uso.
- Integración de ProGuard y funciones de firma de aplicaciones.

Los lenguajes de programación aceptados por Android Studio son Kotlin, Java y C++. En concreto para este proyecto se ha usado Java como lenguaje de programación.

Android es un sistema operativo que gestiona su propio ciclo de vida. Las aplicaciones en Android se rigen por una serie de componentes. Uno de estos componentes son las **Activity**. Estos componentes son claves a la hora de manejar los estados de una aplicación en Android. A diferencia de otros paradigmas de programación que comienzan sus aplicaciones con un método `main()`, la instancia de una Actividad invoca métodos de devolución de llamada (*callbacks*) que se corresponden con etapas específicas de su ciclo de vida. La experiencia de una aplicación para un dispositivo móvil difiere mucho de la versión de escritorio de esa misma aplicación ya que la interacción del usuario con la aplicación no siempre comienza en el mismo lugar. Un claro ejemplo de esto sucede con las aplicaciones de mensajería instantánea. Un usuario puede estar navegando por cualquier red social y encontrarse una publicación interesante y compartirla por correo electrónico o por una aplicación de mensajería instantánea.

La mayoría de las aplicaciones contienen varias pantallas, lo cual significa que contienen varias actividades. Este concepto se pondrá posteriormente

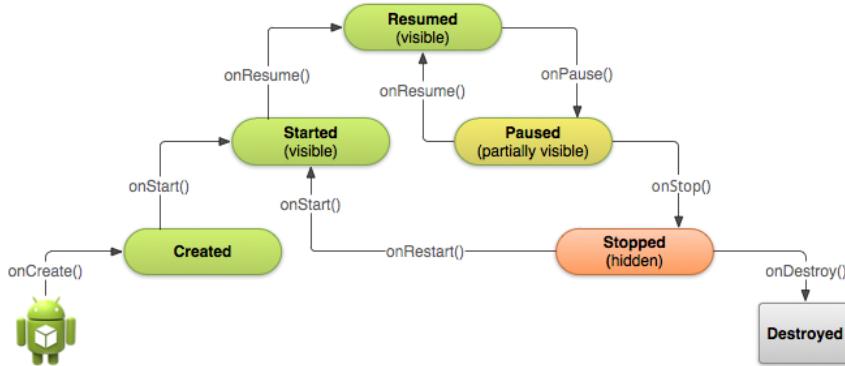


Figura 4.1: Estados de las aplicaciones Android

de manifiesto ya que para el desarrollo de la aplicación han sido necesarias dos Actividades. Cuando un usuario navega por una aplicación, la cierra, la vuelve a abrir o la minimiza, las instancias de las Actividades de la aplicación pasan por una serie de estados de su ciclo de vida (figura 4.1). Estos estados son controlados por el propio sistema Android. Cuando la aplicación cambia de estado, el sistema avisa a la Actividad mediante los siguientes *callbacks*: **onCreate()**, **onStart()**, **onResume()**, **onPause()**, **onStop()** y **onDestroy()**.

Cada uno de los *callbacks* que tiene la actividad es llamado en un momento concreto de la ejecución de la Actividad. Las características de cada una de estas llamadas son las siguientes:

- **onCreate()** → Este método es el primero que llama cuando se crea la Actividad. Este estado es utilizado para ejecutar la lógica de la aplicación que debe ocurrir únicamente una vez en todo el ciclo de vida.
- **onStart()** → Cuando la actividad entra en el estado Started, el sistema invoca esta devolución de llamada. La llamada *onStart()* hace que el usuario pueda ver la actividad mientras la app se prepara para entrar en primer plano y se convierte en interactiva.
- **onResume()** → El sistema invoca esta devolución de llamada cuando una Actividad que estaba pausada vuelve a ser el foco.
- **onPause()** → Esta devolución de llamada es invocada cuando el usuario abandona la Actividad.
- **onStop()** → El sistema invoca esa devolución de llamada una vez la Actividad está a punto de finalizar. En este método la aplicación debe liberar los recursos que no son necesarios mientras esta no sea visible para el usuario.

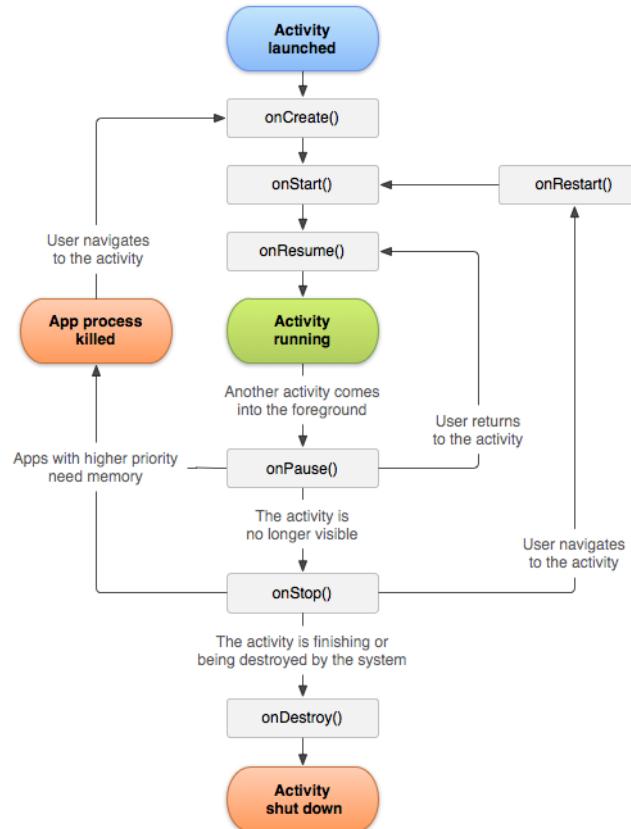


Figura 4.2: Ciclo de vida de una Actividad de un sistema Android

- **onDestroy()** → Se llama a este método antes de que se finalice la actividad. El sistema invoca esta devolución de llamada cuando la aplicación se cierra. En este momento es donde los componentes del ciclo de vida pueden guardar cualquier elemento que se necesite antes de que finalice la Actividad.

En el siguiente apartado se explicará el uso de estas llamadas del sistema Android dentro del proyecto y la utilización de diferentes actividades. Además se expondrá la arquitectura de la aplicación desarrollada para Android.

4.1.2. Desarrollo de la aplicación Android

Para que la aplicación Android cumpla los requisitos expuestos en el apartado de especificación del proyecto, se han implementado 4 clases:

- **MainActivity** → Esta primera clase corresponde a la primera actividad. En esta primera actividad se utiliza la cámara para leer un código

QR y guardar como parámetro el contenido del código. Este contenido es la IP del equipo donde se está ejecutando el juego y el puerto al que deben ser enviadas las pulsaciones del usuario. Estos datos son pasados a la actividad hija para comenzar a usar el móvil como dispositivo de entrada.

- **ControllerActivity** → Esta es la actividad principal. Desde esta actividad se recogen los datos de IP y puerto al que debe conectarse el dispositivo Android gracias a la lectura de un código QR realizada con la actividad padre. Al crearse la actividad se lanza la ejecución de una hebra que se encargará de recibir, leer e interpretar las imágenes que lleguen por red una vez la aplicación se conecte al juego. Desde esta clase se controla la pulsación del usuario en la pantalla. De esta pulsación se guardan 3 datos: posición (x,y) donde se ha realizado la pulsación y el tipo de pulsación (presionar, levantar o arrastrar). Este dato permite soportar el *multitouch* en la aplicación. El comportamiento de este hilo viene dado en la clase **UdpClientThread** que se encarga de preparar el datagrama de la pulsación y enviarlo. La última función de esta clase es la de cambiar la imagen que se muestra en la aplicación.
- **UdpClientThread** → Esta clase tiene como función el envío de datos a la aplicación donde se ejecuta el juego. Esta hebra se encarga del envío de paquetes que incluyen el tipo de pulsación que se ha realizado, la coordenada *x* y la coordenada *y* de la pantalla del dispositivo donde se ha realizado la pulsación. Una vez que la aplicación se cierre, el datagrama de cierre de conexión se envía desde esta hebra.
- **ReceiveData** → Esta clase se ejecuta desde una hebra distinta a la de la Actividad principal y la función que desempeña es la de recibir información que mande el juego. En este hilo se espera la llegada del *streaming* de imágenes desde el juego. Estas imágenes se esperan en formato PNG ya que se realiza la descompresión de este formato. El tiempo de vibración puede ser modificado en cualquier momento por el desarrollador por lo que ese mensaje también es tratado en este hilo.

4.2. Implementación de la aplicación de Unity

Como se comentó al principio de este capítulo, el motor de videojuegos elegido para la realización de este proyecto ha sido Unity. Unity es un motor de videojuegos multiplataforma creado por *Unity Technologies* en 2005. Unity está disponible como plataforma de desarrollo para Microsoft, Mac OS y Linux y tiene soporte de compilación con múltiples plataformas:

- **Web** → WebGL.

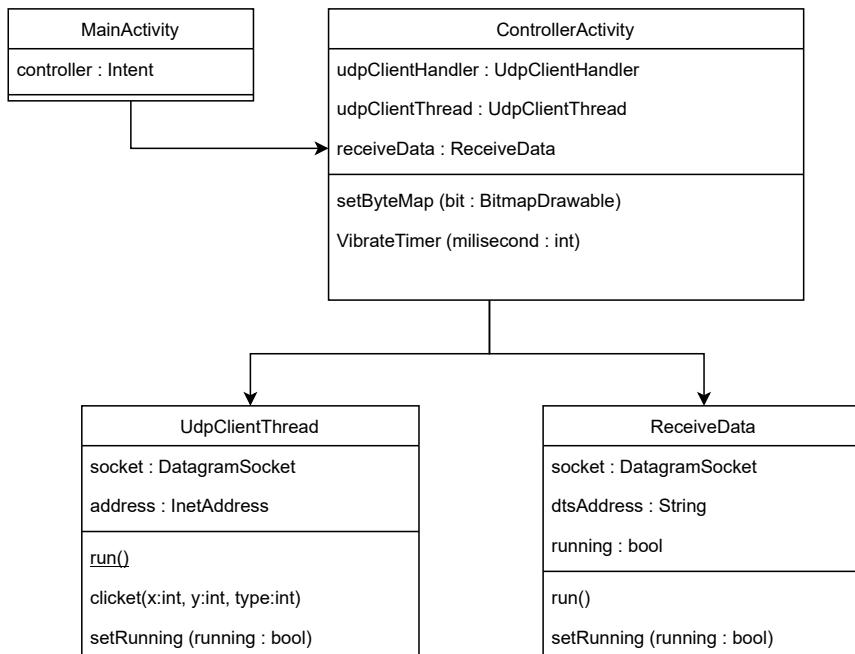


Figura 4.3: Diagrama de clases de la aplicación Android

- **PC** → Windows, SteamOS, Linux, OS X y Windows Store Apps.
- **Dispositivos móviles** → iOS, Android, Windows Phone.
- **Smart TV** → tvOS, Samsung Smart TV, Android TV.
- **Consolas** → PlayStation Vita, PlayStation 4, Xbox 360, Xbox One, Wii U, Nintendo 3DS, Nintendo Switch.
- **Dispositivos de realidad virtual** → Oculus Rift, Google Cardboard, HTC Vive, PlayStation VR, Samsung Gear VR

Actualmente en la versión 2021.1 de la documentación de Unity, no existe soporte para la nueva generación de consolas.

4.2.1. Funcionamiento de Unity

Unity es un motor de videojuegos que aglutina una gran variedad de herramientas para el desarrollo. Estas herramientas van desde inclusiones de **Scripts** para dar comportamientos específicos a cada una de las **Entidades** del juego hasta elementos más visuales como diagramas de estado para el control de las animaciones de un modelo. Para que todos estos sistemas tan diferentes puedan convivir, hay una serie de funciones que se ejecutan en un orden determinado. Unity a su vez se compone de varios elementos clave:

- **Escena** → Las escenas contienen los objetos del juego. Pueden usarse para crear niveles, menús o cualquier estado del juego.
- **GameObjects / Entidades** → Cada una de las escenas contiene objetos. Estos objetos se llaman GameObjects. Cualquier elemento es considerado un GameObject, no tiene por qué tener una representación visual (música, cámara, etc).
- **Componentes** → Los componentes son los diferentes atributos que se le dan a los GameObjects para que tengan funcionalidad (movimiento, posición, animación, colisión física, etc).

Unity ofrece una serie de componentes que dan una funcionalidad ya definida a un objeto, esta funcionalidad va desde tener una posición definida en el mundo hasta emitir un sonido y realizar una animación. Los desarrolladores pueden desarrollar sus propios componentes usando Scripts. Estos scripts indican a las diferentes entidades cómo comportarse. El lenguaje seleccionado para este sistema de *scripting* es C# y un script debe estar vinculado a una entidad para que este se ejecute.

4.2.2. Desarrollo de la API en Unity

Las características específicas de Unity deben tenerse en cuenta para la integración de la librería dentro del motor pero la librería está desarrollada en .NET. El inicio de la comunicación entre en juego y el móvil se realiza con la lectura de un QR que lleva los datos de IP del PC donde se está ejecutando el juego y el puerto donde el juego va a estar escuchando y por donde llegarán los datos del móvil. Este código se genera utilizando la librería **ZXing**¹ en su versión de .NET.

Para que la aplicación desarrollada en Unity cumpla los requisitos expuestos en el apartado de especificación del proyecto, se han realizado 2 clases:

- **UDPSocket** → Esta clase se utiliza para la creación de todo lo necesario para hacer funcionar esta herramienta. Con el método **init()** se inician 2 hebras de ejecución diferentes. Una de ellas se encarga de enviar los datos necesarios al móvil. Estos datos son tanto la solicitud de vibración como la imagen a renderizar en el dispositivo o los mensajes de tipo *keepalive* en caso de que el usuario no interactúe con el juego en un tiempo determinado. La otra se encarga de recibir los datos de entrada del dispositivo y avisar a los diferentes *listeners*. Estos

¹<https://archive.codeplex.com/?p=zxingnet>

listeners utilizan esa información para los propósitos designados por el desarrollador del juego (mover al personaje, pausar el juego, salir, etc). Esta clase también se encarga de cerrar la conexión.

- **InputMobileInterface** → El desarrollador del juego debe crear una clase que implemente este interfaz. En esta clase se recibirán las notificaciones de los eventos que lleguen desde el móvil. Estos eventos son las coordenadas de las pulsaciones, las dimensiones del móvil y el aviso del cierre de la conexión por parte del móvil.

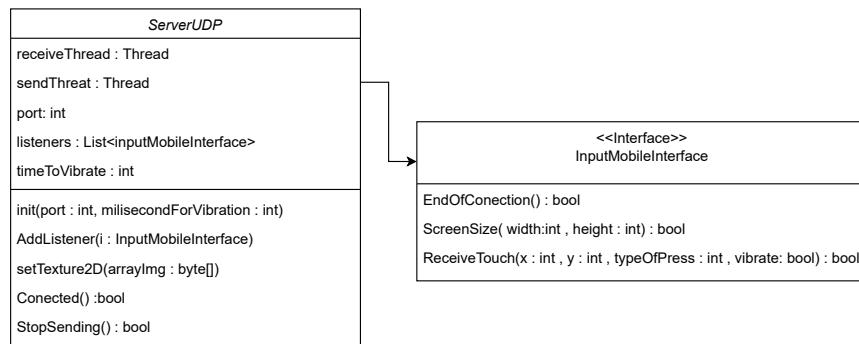


Figura 4.4: Diagrama de clases de la aplicación de Unity

En el próximo capítulo

En este capítulo se ha expuesto el desarrollo de las aplicaciones de Android y Unity. Además, se han explicado algunos de los conocimientos básicos para usar ambas herramientas. En el próximo capítulo se explicará la integración de la librería en un juego ya terminado con el que se realizarán una serie de pruebas con usuarios. Estas pruebas servirán para obtener datos del rendimiento del proyecto. Aplicando una serie de baremos se determinará si el uso de la librería desarrollada cumple con las expectativas.

Capítulo 5

Pruebas con usuarios

En el capítulo anterior hemos visto cómo se ha realizado la implementación de las diferentes características de la aplicación de Android y Unity. Además de esto, se han explicado cada una de las clases que contiene la librería y de las que deberá hacer uso el desarrollador.

En este capítulo se van a realizar pruebas de rendimiento de la herramienta con usuarios. Para que estas pruebas puedan realizarse, se ha introducido la librería en un proyecto terminado. Estas pruebas se realizarán con usuarios ajenos al proyecto y los resultados marcarán los aspectos a mejorar en futuras revisiones de este trabajo.

5.1. Integración de la librería en juegos finalizados

Unity ofrece una plataforma de aprendizaje llamada *Unity Learn*.¹ En esta plataforma se encuentran varios proyectos en los cuales pueden incluirse diferentes modificaciones explicadas en la propia plataforma para aprender a utilizar algunos aspectos de Unity. El proyecto escogido de la plataforma ha sido **Karting Microgame**², un juego de conducción arcade muy parecido a la saga de *Mario Kart* desarrollada por Nintendo.

Este juego terminado ha sido el utilizado para probar la librería que se ha desarrollado en este proyecto. El objetivo de integrar la librería en un juego terminado es el de probar cómo de fácil es utilizar la herramienta desarrollada en este trabajo. Además, se plantea integrar la librería para posteriormente realizar pruebas con usuarios. Los usuarios utilizarán la librería para jugar mientras que se están monitorizando sus acciones. Como se explicó en el capítulo anterior, el dispositivo móvil necesita conocer la IP y el puerto del

¹<https://learn.unity.com/projects>

²<https://assetstore.unity.com/packages/templates/karting-microgame-150956?>

juego para poder establecer una conexión. Esto se realiza mediante un código QR cuya implementación no viene incluida en la librería ya que esta es una solución que se ha propuesto para este ejemplo.

Esta implementación del código QR utiliza la librería **ZXing** en su versión de .NET. En la solución propuesta, la clase que se encarga del manejo del QR también se encarga de obtener la IP del sistema y un puerto libre. Estos 2 datos deben aparecer con el formato “IP:Puerto” para que la aplicación de móvil pueda leerlo.



Figura 5.1: Prueba del uso del QR para iniciar juego

Para la utilización de la librería debe incluirse un *GameObject* en la escena que contenga un componente que la utilice. En la solución propuesta, este objeto es el encargado de iniciar el servidor y mostrar el QR para que el móvil pueda iniciar la conexión. Además, esta clase debe dar la opción de añadir un nuevo *listener* de la interfaz *InputMobileInterface* para recibir los mensajes del móvil. La última función de este componente es la de preparar las imágenes que se van a enviar al dispositivo Android y enviarlas. Este proceso debe hacerse en la función **LateUpdate()** ya que esta función de Unity es llamada por el motor al final de cada ciclo de ejecución. Esto sirve para asegurarse que la textura que se captura de la cámara no va a sufrir alteraciones en ese *frame*. Para conseguir esto, debe incluirse en el proyecto una nueva cámara de Unity de la que poder extraer la textura que se va a enviar por red. Una vez se tenga esta textura, se comprimirá en formato PNG y se enviará utilizando la librería.

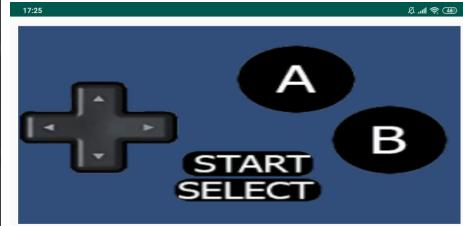
Para que los mensajes que llegan del móvil sean tratados se ha implemen-

tado la clase **MobileInput**. Esta clase es la versión del *input* adaptada al uso de la librería. En esta clase se tienen guardados cada uno de los botones del mando con sus coordenadas (x,y), ancho y alto. Esto nos permite comparar las coordenadas de las pulsaciones del usuario con la posición virtual de los botones del mando que se han definido previamente. En caso de que la pulsación se encuentre dentro de las coordenadas del botón, la pulsación se da como correcta. Como cada móvil usa unas dimensiones diferentes, esta clase es la encargada de escalar la posición de los botones virtuales iniciales una vez el dispositivo móvil manda sus dimensiones. Por último, esta clase se encarga de recibir el mensaje de desconexión del móvil. En este ejemplo se ha optado por reiniciar el servidor.

En este ejemplo se ha querido mantener la opción de jugar tanto con los controles originales como usando el móvil. Para conseguir esto se ha implementado la clase **SelectController**, lo que permite al usuario final elegir cuál de las 2 opciones de *input* quiere usar para jugar.



(a) Menú Principal Juego



(b) Ejemplo de mando en Android

5.2. Objetivos y organización de las pruebas

Previo a las pruebas con usuarios se definieron una serie de objetivos que cubrir durante la evaluación. Estos objetivos son los siguientes:

- Comprobación del funcionamiento de ambas aplicaciones (Android y Unity) en diferentes configuraciones.
- Rendimiento de la parte de red, sobretodo en el envío de imágenes y el tiempo de envío de las pulsaciones.
- Valorar cómo de intuitivo es el uso de la herramienta.

Para comprobar si el rendimiento de los diferentes procesos que realizan las aplicaciones para comunicarse se han implementado rastreadores o *trackers* en las aplicaciones. Estos *trackers* son clases y métodos cuya función es la de llevar la cuenta del tiempo que tardan cada una de las diferentes acciones que se realizan. Se ha implementado un *tracker* que se encarga de comenzar a contar cuando el usuario realiza una pulsación y para de contar una vez la aplicación recibe el mensaje de vibración. Este proceso es un ciclo completo de interacción de usuario, lo que nos permite comprobar cuánto es el retardo que experimenta el usuario al interactuar.

Además de este *tracker*, se han implementado dos más para controlar la compresión y la descompresión del PNG. La compresión del PNG se realiza en Unity y la descompresión se realiza en Android. Estos datos son recolectados en el juego y plasmados en un documento de texto para su posterior tratamiento. Estos datos nos ayudarán a saber cuánto tarda el frame desde que es recogido por la cámara en Unity hasta que es descomprimido y plasmado al usuario en el móvil.

El rendimiento de ambas aplicaciones es dependiente del *hardware* del móvil y del ordenador ya que se utilizan varios hilos de ejecución de manera simultánea y el trabajo de compresión y descompresión del PNG requiere de un tiempo que puede incrementar si el procesador trabaja a frecuencias demasiado bajas. Es por esto que los últimos datos que el *tracker* extrae del usuario son el modelo de procesador, tarjeta gráfica y memoria RAM del ordenador. Para los datos del dispositivo móvil se le pide al usuario que lo indique en un formulario posterior a la prueba.

Se ha diseñado un proceso de pruebas que maximice la libertad de los usuarios a la hora de jugar. Lo que se ha decidido controlar son las diferentes etapas del test. El proceso de la prueba es igual para todos los usuarios. Al extraer los datos mientras el usuario juega, no importa cómo juegue el usuario ni que pruebe una mecánica en específico. El único requisito es que la conexión se cierre de manera por lo menos una vez por usuario ya que es en este momento cuando el móvil envía los datos recogidos por el *tracker* al ordenador para realizar el documento de texto con los datos almacenados. La decisión de realizar el envío de los datos al final es para enviar sobrecargar la red con más envíos de datos, de esta manera tanto la latencia de red como la carga de los dispositivos no se ve afectada por el *tracker*. Las pautas para la realización de las pruebas han sido las siguientes:

- Se informa al usuario de los datos técnicos que se van a extraer de esta prueba (modelo de tarjeta gráfica, modelo de procesador, memoria RAM) y del posterior formulario a llenar.

- Se ha subido el ejecutable y el APK a un repositorio público para que el usuario pueda hacer las pruebas.
- Se ha indicado al usuario que el ordenador y el móvil deben estar conectados a la misma red WIFI.
- Se ha utilizado la aplicación de **Discord** para realizar una llamada con el usuario y que este compartiese la pantalla donde se estaba ejecutando el juego.
- Se ha explicado al jugador que tiene que escanear el código QR que aparece en el juego con la aplicación que se ha descargado del repositorio.
- Se ha indicado al usuario que debe dar varias vueltas al circuito para que los datos puedan recogerse.
- Se ha realizado una entrevista con el usuario de entre 5 y 10 minutos para llenar el formulario y comentar cualquier tipo de *feedback* sobre la herramienta y el juego.

Al final de la prueba se realiza una charla con el usuario donde este nos indica todas las observaciones, sugerencias de mejora y puntos positivos. En esta charla también se hacen las siguientes preguntas:

- Indique modelo de móvil que ha usado para la prueba.
- Describa su trasfondo en el mundo de videojuegos. (Juegos normalmente jugados por usted y en que dispositivos, etc)
- Valore del 1 al 8 la fluidez a la hora de jugar (Siendo 1 - Mala y 8 - Excelente)
- Describa si fuese necesario algún cambio en lo referente a la vibración del dispositivo al pulsar.

5.3. Resultados de las pruebas

5.3.1. Pruebas de rendimiento

Para comprobar la eficiencia de la librería desarrollada, se ha procedido a realizar una serie de pruebas con usuarios en las que se han hecho mediciones del tiempo que tardan los procesos principales. Los procesos que se han medido son tanto la compresión de las imágenes que se realizan en Unity para ser enviadas por red como la descompresión de estas mismas imágenes una vez llegan al móvil.

El procedimiento que se ha seguido para hacer estas mediciones ha sido el de jugar durante 5 minutos al juego. La preparación y proceso de las pruebas están detalladas en la sección anterior. Los usuarios han probado la herramienta en sus hogares y utilizando los siguientes dispositivos:

| Usuarios | Móvil | Procesador | RAM | Gráfica |
|------------------|------------|---------------------|------|------------|
| Usuario 1 | One Plus 6 | i7-5820K 3.30GHz | 32GB | GTX 980 |
| Usuario 2 | One Plus 6 | i7-3630QM 2.4GHz | 6GB | Intel 4000 |
| Usuario 3 | S9+ | Intel Q9400 2.66GHz | 8GB | GTX 740 |
| Usuario 4 | S8 | i7-6700HQ 2.6GHz | 16GB | GTX 960M |
| Usuario 5 | S9+ | i7-5820K 3.3GHz | 32GB | GTX 980 |

Tabla 5.1: Sistemas utilizados por cada usuario durante las pruebas

Los tiempos se han medido en milisegundos (ms) y para que el volumen de datos sea semejante en todos los usuarios, el tiempo de ejecución ha sido de 5 minutos para todas las pruebas. Los datos de las pruebas han sido los siguientes:

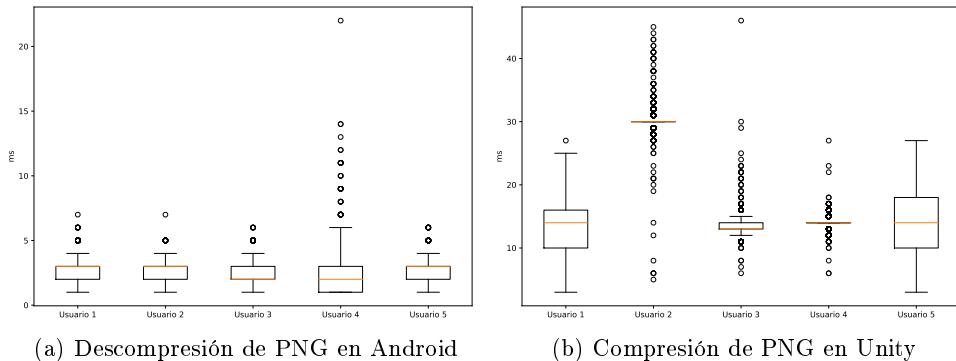


Figura 5.2: Tiempo de compresión y descompresión de las imágenes

Los datos obtenidos de las pruebas muestran que la descompresión de las imágenes en Android mantiene unos tiempos uniformes. Se ha calculado la desviación estándar total y se ha obtenido 0.8756. Esto indica que los datos se encuentran cercanos al valor de la media excepto en el Usuario 4. La desviación estándar de este usuario es de 1.2183, lo que indica una mayor inestabilidad a la hora de descomprimir las imágenes. Esto durante una sesión de juego crea inestabilidades en la tasa de refresco de imágenes.

Los datos extraídos de la compresión de imágenes en Unity muestran que una desviación estándar bastante superior a los valores de Android. La desviación estándar total es de 2.3729, lo que indica una alta dispersión res-

pecto de la media. Esto se debe a que tanto el usuario 1 como el 5 cuyas desviaciones estándar son 3.7834 y 4.6872 respectivamente disparan la ponderación media de la desviación estándar total. A pesar de esta desviación, los máximos y mínimos están por debajo de los 27 milisegundos. Estos datos se traducen en que se pueden llegar a comprimir 70 fotogramas en un segundo en el mejor de los casos.

De media, los dispositivos Android utilizados en las pruebas muestran un valor de 2.6 milisegundos a la hora de descomprimir las imágenes recibidas. Los dispositivos utilizados para jugar muestran un tiempo medio de compresión de imágenes de 17 milisegundos. Esto se traduce en un tiempo medio conjunto de 19.6 milisegundo. A esto, se tiene que sumar que durante la ejecución de las pruebas había una latencia de red de 2 milisegundos. Esto nos deja con un total de 21.6 milisegundos como tiempo total desde que el fotograma es comprimido hasta que este se descomprime y muestra en el móvil. Traducido a fotogramas por segundo esto tendría un valor de aproximadamente 46.

5.3.2. Resultados del test de opinión posterior a las pruebas

Una vez se ha terminado la prueba de la librería, se somete al usuario a una charla de 5 minutos donde este puede comentar cualquier aspecto a mejorar del juego. Durante esta charla se ha realizado un cuestionario. Los resultados de los cuestionarios arrojan resultados similares a los vistos en las gráficas. La experiencia durante la sesión fue satisfactoria para todos los usuarios pero fue el usuario 2 el que dio una respuesta más negativa. Esto es debido a tirones y bajadas de fotogramas que sufrieron durante la prueba. A pesar de esto, el usuario indicó que pudo jugar sin complicaciones la mayor parte del tiempo.

| Usuarios | Valoración de la fluidez | Valoración del efecto de vibración |
|-----------|--------------------------|--|
| Usuario 1 | 8 | Adecuada. |
| Usuario 2 | 5 | Normal. |
| Usuario 3 | 7 | Buena. |
| Usuario 4 | 7 | Adecuada. |
| Usuario 5 | 8 | Preferiblemente mantener vibración al mantener el botón. |

Tabla 5.2: Resultados del test realizado a los usuarios posterior a la prueba

5.4. Análisis y discusión de los resultados

La ejecución de las pruebas demuestra que las ejecuciones en Android son estables en aquellos dispositivos en los que se ha probado. Unity por su parte, aunque consigue los requisitos mínimos en gamas bajas llegando a

las 30 compresiones por segundo y en gamas superiores llegando a las 70, sigue entrando dentro de los límites aceptados por la industria de entre 30 y 60 fotogramas por segundo. Por desgracia, la tasa de compresión al tener una desviación estándar alta hace a esta velocidad de compresión demasiado inestable. Esto provoca que puedan apreciarse en el dispositivo móvil cambios bruscos en la tasa de refresco, lo que puede llegar a crear molestias en el usuario a la hora de jugar. Esto también impide el uso de la pantalla de móvil como pantalla principal, lo que obliga estrictamente a usar la pantalla del móvil como pantalla secundaria.

También podemos observar que los datos del Usuario 2 muestran que la ejecución de este usuario no ha sido satisfactoria debido al tiempo que tarda Unity en comprimir las imágenes. De media, este usuario es capaz de comprimir 30 fotogramas por segundo. Este dato entra dentro de las medidas estándar de la industria pero está demasiado ajustado ya que los fotogramas mínimos aceptados en la industria son 30.

Al optar por un modelo de librería versátil para el desarrollador, la optimización de la compresión de imágenes recae sobre él de manera directa tanto positiva como negativamente. Es decir, la velocidad de compresión y su estabilidad dependen de los algoritmos de compresión a usar y del momento en el que se ejecuten.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajo futuro

El objetivo de este proyecto era el de utilizar un dispositivo móvil como dispositivo de entrada para videojuegos. Para conseguir esto, se ha realizado una librería aplicable en el motor de videojuegos Unity con el objetivo de poder utilizar un dispositivo móvil como dispositivo de entrada durante una sesión de juego. Posterior al desarrollo de la librería, se ha realizado una implementación en un juego terminado con la que realizar pruebas de rendimiento de la herramienta.

El resultado de estas pruebas mostraron que la librería se comporta como se esperaba y que alcanza la tasa de fotogramas por segundo mínima aceptable en diferentes dispositivos. Estos resultados dejaron claro que el rendimiento de la librería está ligado al *hardware* donde se está ejecutando. En los próximos párrafos se expondrán diferentes posibles mejoras para el proyecto.

Existen diferentes algoritmos de compresión de imágenes y en este proyecto se ha utilizado PNG debido a que se encuentra integrado en las dos plataformas utilizadas durante el desarrollo de la librería. Este formato de compresión de imágenes es más rápido cuanto menor sea la variedad de colores que contenga la imagen. En el videojuego utilizado para la prueba con usuarios, la imagen que se enviaba al dispositivo móvil tenía siempre los mismos colores, es por esto que el uso del formato PNG era suficiente. Para conseguir que los resultados sean mejores con imágenes más complejas, se propone la búsqueda de un método de compresión de imágenes alternativo.

El uso de un móvil como dispositivo de entrada no solo aporta una pantalla táctil en la que poder tener un mando, además de esto pueden utilizarse los diferentes sensores con los que cuentan estos dispositivos. Los sensores a los que se quiere dar más importancia en este proyecto son el acelerómetro y el giroscopio. Estos sensores no se encuentran únicamente en los móviles

sino que también se encuentran en otros dispositivos de entrada de algunas consolas antiguas. Por falta de tiempo, no se pudo implementar la monitoreo-
ización de estos sensores para ser utilizados en la librería pero su inclusión
daría más versatilidad al desarrollador.

Por falta de tiempo durante el desarrollo de este trabajo, se abandonó la idea de permitir el uso de múltiples móviles durante una misma ejecución. Los juegos multijugador locales permitirían exprimir al máximo el uso de varios dispositivos móviles, tal y como se hace en la saga de juegos PlayLink. Para conseguir esto es necesario la modificación del servidor de Unity para soportar más de un cliente.

Además de lo relacionado con el apartado técnico del proyecto, un punto destacable a mejorar es el número de usuarios utilizado para las pruebas. Debido a la situación actual, las pruebas han tenido que realizarse en remoto, lo que hace que se necesite mucho más tiempo para cada una de las pruebas. Con un cuestionario más extenso y un número de usuarios mayor se podrían dar valores estadísticos más precisos. Con ello podrían sacarse conclusiones con un peso estadístico mayor y tener una visión más global del rendimiento de la librería.

Capítulo 7

Conclusions

7.1. Future Work

Capítulo 8

Trabajo Individual

8.1. Pablo Gómez Calvo

8.2. Sergio Juan Higuera Velasco

Bibliografía

AEVI. La industria del videojuego en España anuario 2019, 2019. URL <http://www.aevi.org.es/web/wp-content/uploads/2020/04/AEVI-ANUARIO-2019.pdf>.

George Beekman. *Introducción a la Computación*. 1999.

DEV. Libro blanco del desarrollo español de videojuegos, 2019. URL <https://esportsobserver.com/q3-2020-impact-index/>.

Daniel Entrialgo. Xerox alto, el ordenador maldito que nunca se vendió pero “inspiró” (e hizo ricos) a Steve Jobs y Bill Gates, 2020. URL <https://www.economista.es/status/noticias/10455084/04/20/Xerox-Alto-el-ordenador-maldito-que-nunca-se-vendio-pero-inspiro-e-hizo-ricos-a-Steve-Jobs-y-Bill-Gates.html>.

Juan Antonio Pascual Estapé. Móviles gaming: ¿son una amenaza para las consolas?, 2018a. URL <https://www.hobbyconsolas.com/listas/moviles-gaming-son-amenaza-consolas-342681>.

Juan Antonio Pascual Estapé. Tennis for two, el primer videojuego, cumple 60 años, 2018b. URL <https://computerhoy.com/noticias/gaming/tennis-two-primer-videojuego-cumple-60-anos-318133>.

Clinton Keith. *Agile Game Development with Scrum*. 2010. URL <http://index-of.co.uk/Agile/Agile%20Game%20Development%20With%20Scrum.pdf>.

P. Venkata Krishna. *Emerging Technologies and Applications for Cloud-Based Gaming*. 2016.

Jowen Mei. The original paper on scrum (oopsa 1995), 2020. URL <https://www.linkedin.com/pulse/original-paper-scrum-oopsa-1995-jowen-meि/?articleId=666958521588883712>.

David Sanmartín. El futuro y los retos del “gaming” para teléfonos móviles, 2019. URL https://retina.elpais.com/retina/2019/08/27/innovacion/1566898640_613309.html.

Schwaber and Sutherland. Scrum development process, 1995. URL http://agilix.nl/resources/scrum_OOPSLA_95.pdf.

Jimmy Stamp. Fact of fiction? the legend of the qwerty keyboard, 2013. URL <https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/fact-of-fiction-the-legend-of-the-qwerty-keyboard-49863249/>.

TEO. Teo pc games impact index, 2020. URL <https://esportsobserver.com/q3-2020-impact-index/>.