

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR

INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN

EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

**Juegos Serios con Realidad Aumentada para
Evaluación y Rehabilitación de Personas con
Discapacidad**

Autor:

D. Roberto García Martínez

Tutor:

Dr. D. Mario Martínez Zarzuela

Valladolid, 4 de Septiembre de 2012

TÍTULO: **Juegos Serios con Realidad Aumentada
para Evaluación y Rehabilitación de Per-
sonas con Discapacidad**

AUTOR: **D. Roberto García Martínez**

TUTOR: **Dr. D. Mario Martínez Zarzuela**

DEPARTAMENTO: **Teoría de la Señal, Comunicaciones e In-
geniería Telemática**

Tribunal

PRESIDENTE: **Dr. D. Francisco Javier Díaz Pernas**

VOCAL: **Dra. D.^a Miriam Antón Rodríguez**

SECRETARIO: **Dr. D. Carlos Gómez Peña**

FECHA: **4 de Septiembre de 2012**

CALIFICACIÓN:

Resumen del TFM

En este trabajo se describe la utilización de tecnología de Realidad Aumentada en un sistema de simulación orientado a la evaluación y rehabilitación de enfermos cognitivos. En concreto, se detalla el funcionamiento de una plataforma destinada a pacientes con Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) y pacientes con daños en el lóbulo frontal. Los pacientes deben resolver pruebas de complejidad creciente, en forma de laberintos con objetos dinámicos. La utilización de una herramienta de edición de laberintos permite a terapeutas, sin conocimientos de modelado 3D y programación, diseñar pruebas específicas para cada paciente. Una vez resueltas las pruebas propuestas por los terapeutas, el sistema devuelve parámetros de rendimiento que miden de forma cuantitativa las distintas habilidades de los pacientes y su evolución. El sistema tiene múltiples modos de funcionamiento, permitiendo emplear como interfaces de entrada y salida desde simples cámaras web, hasta proyectores con visualización estereoscópica o gafas de Realidad Aumentada para una mejor inmersión. Las pruebas realizadas con pacientes reales demuestran la buena disposición de los mismos a realizar actividades de rehabilitación con esta tecnología.

Palabras clave

Juegos Serios, Realidad Aumentada, Discapacidad cognitiva, Hiperactividad, TDAH, Visión artificial, 3D.

Abstract

In this work, an Augmented Reality system devised to people with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is described. The patients have to solve different virtual labyrinths with incremental difficulty. A tool for editing the tests allows the therapists, without any knowledge of 3D modeling or programming, to design specific labyrinths for each patient. The system collects data during the realization of the tests. This data is used to measure the abilities of the patients and their evolution. Multiple input and output devices can be used, from webcams to 3D projectors or Augmented Reality glasses, for a more immersive experience. In the first tests conducted, we show that real patients are very keen to work with this technology.

Keywords

Serious Games, Augmented Reality, Cognitive disabilities, ADHD, Computer Vision, 3D.

Agradecimientos

Agradecer a mis padres y seres queridos, por su infinita paciencia y apoyo brindados durante este tiempo. A mis amigos, que también son queridos, por compartir juntos tantos y tan buenos momentos. Y a mi tutor, Mario, junto con el resto del Grupo de Telemática e Imagen de la UVA, por haberme guiado, animado y aconsejado sobre cualquier duda surgida en este último paso del máster.

Índice general

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Motivación y objetivos | 2 |
| 1.2. Fases y métodos | 4 |
| 1.3. Recursos disponibles en el TFM | 5 |
| 1.4. Organización del documento | 5 |
| 2. Trastornos de la función ejecutiva | 7 |
| 2.1. Trastorno por daños en el lóbulo frontal | 8 |
| 2.2. Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad | 10 |
| 2.2.1. Causas | 11 |
| 2.2.2. Fisiología | 12 |
| 2.2.3. Diagnóstico | 13 |
| 2.2.4. Tratamiento | 16 |
| 3. Realidad Aumentada | 19 |
| 3.1. Introducción | 19 |
| 3.1.1. Cronología | 20 |
| 3.2. Hardware | 26 |
| 3.3. Software | 31 |
| 3.4. Aplicaciones | 32 |
| 4. Técnicas y Herramientas utilizadas | 39 |
| 4.1. Software | 39 |
| 4.1.1. Configuración y uso de GoblinXNA | 40 |
| 4.1.2. Integración de ALVAR con Goblin XNA | 46 |
| 4.2. Optimización de resultados: Filtro de Kalman | 49 |
| 4.3. Hardware | 57 |
| 5. Sistema desarrollado y Pruebas | 61 |
| 5.1. Sistema desarrollado | 61 |
| 5.1.1. Edición de laberintos | 63 |
| 5.1.2. Ejecución de laberintos | 65 |
| 5.1.3. Análisis de datos | 67 |
| 5.2. Pruebas realizadas | 69 |
| 5.2.1. Pruebas en laboratorio | 69 |
| 5.2.2. Pruebas con pacientes reales | 73 |

Índice de figuras

| | | |
|------|--|----|
| 1.1. | Recreación de Realidad Aumentada sobre el tablero de juego. | 3 |
| 2.1. | Anatomía del cerebro. Fuente: A.D.A.M. | 7 |
| 2.2. | Representación de los ganglios basales en el interior del cerebro. Fuente: brainmind.com/BasalGanglia.html | 9 |
| 2.3. | Regiones de interés usadas para obtener las mediciones de los receptores y transporte de la dopamina. Fuente: [VWK ⁺ 09] | 12 |
| 2.4. | Actividad metabólica cerebral en personas sin TDAH (izquierda) y con TDAH (derecha): este trastorno conductual se asocia con patrones neurofisiológicos distintivos. Fuente: [ZNG ⁺ 90] | 13 |
| 2.5. | Actividad metabólica cerebral en personas sin TDAH (arriba) y con TDAH (abajo). Fuente: www.ucdmc.ucdavis.edu | 14 |
| 2.6. | Curvas de crecimiento de los volúmenes cerebrales totales para pacientes con TDAH y sujetos de control en hombres (Izquierda) y mujeres (Derecha). Fuente: [FPWea02] | 14 |
| 3.1. | Diagrama de representación de Realidad Mezclada. Fuentes: Propia, [STU07] y [SBRH09] | 20 |
| 3.2. | Simulador de moto SENSORAMA. Fuente: [Hei62] | 21 |
| 3.3. | Modelo del primer HMD. Fuente: [Sut] | 21 |
| 3.4. | Sistema VideoPlace. Fuente: [KGH85] | 22 |
| 3.5. | Aplicación KARMA. Indica al usuario la forma correcta de realizar el mantenimiento de una impresora a través de la superposición sobre el mundo real de los pasos a seguir. Fuente:[FMS93] | 22 |
| 3.6. | Marcadores utilizados por ARToolKit para visualizar elementos virtuales sobre imágenes reales. Los marcadores (a) y (b) poseen un único origen de coordenadas para situar elementos. El array de marcadores (c) posee un único origen de coordenadas para el conjunto de marcadores, pudiendo mantenerse la visualización pese a presentar oclusión en alguno de los marcadores que lo componen. Fuente:[KB99] | 23 |
| 3.7. | Juego desarrollado utilizando Realidad Aumentada. ARQuake. Fuente: [PT02] | 24 |
| 3.8. | Aplicación Wikitude muestra diversa información simplemente apuntando la cámara del móvil al lugar de interés. Fuente: Wikitude | 25 |
| 3.9. | Logotipos diseñados como estándar para la Realidad Aumentada. Fuente: t-immersion.com/ar-logo | 25 |

| | |
|--|----|
| 3.10. Ejemplos de uso del logotipo de Realidad Aumentada en diversos medios de comunicación. Fuente: t-immersion.com/ar-logo | 26 |
| 3.11. Nuevas gafas de Realidad Aumentada diseñadas por Google. Fuente: Google.com | 27 |
| 3.12. Diversos modelos de HMDs | 28 |
| 3.13. Ejemplo de aplicación de Realidad Aumentada utilizando smartphones. | 29 |
| 3.14. Ejemplo de entorno de Realidad Aumentada CAVE, Universidad de Illinois (a) y una visión de una oficina en el futuro por medio de teleinmersión (b). Fuentes: Electronic Visualization Laboratory, Illinois; MIT Media Lab + UNC en Chapel Hill | 30 |
| 3.15. Ejemplo de uso de Realidad Aumentada en un museo. Un avatar virtual hace de guía del visitante mostrándole información relevante o recreaciones virtuales. Fuente: www.lm3labs.com | 32 |
| 3.16. Ejemplos de aplicaciones destinadas a la medicina. Fuente: [TGS ⁺ 09] | 33 |
| 3.17. Ejemplos de aplicaciones destinadas al ocio electrónico. Fuentes: [Pla09], [Pla12], [Ubi12] | 34 |
| 3.18. Ejemplo de uso de Realidad Aumentada para el entrenamiento de pilotos de transbordadores espaciales de la NASA. Fuente: Thales Training & Simulation | 35 |
| 3.19. Ejemplos de aplicaciones destinadas a la arquitectura y la decoración. Fuente: [Cen12], IKEA | 36 |
| 3.20. Ejemplo de uso de Realidad Aumentada como apoyo en tareas complejas. En este caso, el mantenimiento de un motor Rolls Royce DART 510. Fuente: [HF12] | 36 |
| 3.21. Campaña de publicidad de compañía automovilística para mostrar sus productos a posibles compradores. Fuente: MINI | 37 |
| 4.1. Muestra del entorno de trabajo tras generar un proyecto con la configuración apropiada. | 42 |
| 4.2. Ventana limpia creada por el proyecto nuevo generado. | 43 |
| 4.3. Arquitectura de escena en GoblinXNA. | 44 |
| 4.4. Ejemplo de árbol para dos geometrías. | 45 |
| 4.5. Parámetros del nodo Cámara. | 45 |
| 4.6. Efecto de partículas. | 46 |
| 4.7. Muestra de señal sin filtrar comparada con la señal filtrada con el filtro de Kalman. | 53 |
| 4.8. Muestra de señal sin filtrar comparándolo con la señal filtrada con el filtro extendido de Kalman. | 57 |
| 4.9. Comparación de Filtro de Kalman frente al Filtro Extendido de Kalman. | 58 |
| 4.10. Aplicación ejecutándose en televisor. | 58 |
| 4.11. Aplicación ejecutándose en proyector. | 59 |
| 4.12. Uso de gafas de realidad aumentada Vuzix. La televisión muestra lo que está viendo el usuario. | 59 |
| 5.1. Arquitectura del sistema propuesto. | 62 |

| | |
|--|----|
| 5.2. Tablero de marcadores necesario para la representación virtual de los elementos que componen los escenarios creados. | 62 |
| 5.3. Diagrama funcional de la aplicación diseñada para crear y editar diferentes pruebas con AMAZING System. | 64 |
| 5.4. Vista general de la aplicación de diseño de niveles. | 64 |
| 5.5. Diagrama funcional de la aplicación encargada de ejecutar los niveles. . . | 65 |
| 5.6. Ejemplo de resultados obtenidos por un usuario durante la realización de una prueba. | 68 |
| 5.7. Ejemplo de nivel donde se evalúa la estrategia seguida por el usuario a la hora de resolver el laberinto. En este caso se da la opción de limpiar el escenario de obstáculos o dirigir la bola a través de los mismos sin necesidad de eliminarlos. | 70 |
| 5.8. Test de inclinación. La detección continúa siendo robusta a pesar de la inclinación extrema del tablero. | 71 |
| 5.9. Test de zoom. La detección continúa siendo robusta a pesar del alto porcentaje de oclusión de los marcadores en el tablero. | 72 |
| 5.10. Test de iluminación. La detección continúa siendo robusta a pesar de las deficientes condiciones lumínicas del entorno. | 72 |
| 5.11. Ejemplo de uso de la aplicación con un proyector 2D/3D y una webcam situada cenitalmente. | 73 |
| 5.12. Ejemplo de uso de la aplicación con pacientes reales y dos opciones de ejecución (TV y gafas de Realidad Aumentada). | 74 |
| 5.13. Ruta seguida por un paciente superpuesta sobre el escenario. En el tramo inicial se aprecia una concentración de puntos en torno a un área. Esto significa que el paciente desperdició tiempo pensando en la ruta correcta para alcanzar la meta después de haberse quedado bloqueado por los obstáculos. | 75 |
| 5.14. Cajas de dispersión de las poblaciones. Se muestra cómo el tiempo de resolución de los escenarios en pacientes jóvenes se encuentra alejado del tiempo empleado por pacientes adultos. Además, el gráfico muestra que el tiempo empleado para resolver los laberintos es menor cuando se utilizan gafas de Realidad Aumentada. Esto indica que el grado de inmersión utilizando estos dispositivos es mayor. | 76 |

Capítulo 1

Introducción

Actualmente el diagnóstico del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) se basa en la presencia de tres síntomas principales: la desatención, la hiperactividad y la impulsividad [FB98] [SCK01]. Desde el punto de vista neuropsicológico es un trastorno heterogéneo, lo que dificulta la comprensión del mismo. Los modelos más prominentes proponen que el TDAH se relaciona con un déficit en las funciones ejecutivas o aspectos específicos de las mismas como la inhibición de respuesta, la aversión a la demora, la dificultad para modular el comportamiento en respuesta a refuerzos y castigos, inconsistencias en las respuestas y baja velocidad de procesamiento [Bar97] [BT07].

Los síntomas asociados al TDAH producen dificultades de tipo social, emocional y cognitivo, las cuales interfieren en el funcionamiento familiar y desarrollo escolar de esta población. De ahí que, en la actualidad, haya una preocupación creciente tanto en el ámbito académico como en el ámbito clínico que genera una demanda importante de investigación y creación de programas de rehabilitación para este trastorno [LCRP10]. El TDAH afecta a, aproximadamente, entre un 5 % y un 10 % de la población en desarrollo, presentándose como una de las causas más frecuentes de fracaso escolar y/o problemas sociales en la infancia [PdLH⁺07].

Otro grupo que muestra estas deficiencias en funciones ejecutivas son los pacientes con daños en el lóbulo frontal o con enfermedad de Alzheimer. Existen evidencias de que las personas con esta clase de trastornos muestran déficits en pruebas que evalúan las funciones ejecutivas [Cum94]. Además, dichos déficits son apreciados con frecuencia en pacientes con varios trastornos psicológicos como esquizofrenia [ES95] [WG97] o depresión [AMG01] [MC94].

Esta información nos permite tener una idea global acerca de la necesidad de implementar y desarrollar programas de entrenamiento neurocognitivo en la población infantil con estos desórdenes. Investigaciones sobre tratamientos dirigidos a rehabilitar pacientes con estos trastornos comenzaron a aparecer en la literatura a mediados de la década de los 70. Recientemente, las investigaciones en éste campo, han revelado que los síntomas asociados al TDAH son un efecto secundario de un desorden neurológico [BT07].

En la actualidad, gracias a numerosos avances tecnológicos en diferentes áreas, los

métodos más utilizados en los procesos de intervención para niños con TDAH son los programas de entrenamiento neurocognitivo, los cuales se pueden llevar a cabo a través de programas específicos de ordenador, con ejercicios diseñados para actuar directamente sobre la patología en la que se pretende intervenir. Por este motivo, y acorde a cómo evolucionan las nuevas tecnologías, es interesante investigar acerca de cuáles son las más útiles. Una de las tecnologías que actualmente ofrece más posibilidades de cara a realizar aplicaciones para tratar trastornos y discapacidades es la Realidad Aumentada.

La tecnología de Realidad Aumentada (RA) es una tecnología muy prometedora para infinidad de aplicaciones [CF07]. Aunque su aparición es bastante reciente, hoy en día su utilización está cada vez más extendida, y podemos encontrar diversos ejemplos y aplicaciones en áreas muy distintas, tales como el arte, la educación, la medicina o la ingeniería [DAAJ11] [JAM⁺05] [RSL⁺02] [ABB⁺01]. El concepto de Realidad Aumentada parte del concepto de Realidad Mezclada (RM, Mixed Reality) definido a partir de la relación entre realidad y virtualidad [MK94]. Un sistema de Realidad Aumentada contiene simultáneamente las siguientes características: mezcla de lo real y lo virtual, interactividad en tiempo real y registro tridimensional [ABB⁺01].

A partir del año 1997 se empieza a desarrollar la Realidad Aumentada como se conoce actualmente y esta tecnología empieza a llegar al consumidor en forma de productos, para los que las grandes compañías dedicadas al entretenimiento y la generación de contenidos, tienen destinados importantes recursos y equipos de trabajo. Además del fin lúdico, la Realidad Aumentada se ha estado utilizando anteriormente con fines médicos o de rehabilitación [JH04], a través de diversas aplicaciones: cirugía por laparoscopia [FLR⁺98], cirugía para el cáncer utilizando Realidad Aumentada para ver reconstrucciones en 3D de las imágenes de ultrasonido sobre la piel del paciente [SNT⁺98], tratamiento de trastornos mentales como el Parkinson [Weg97], entre otros.

Previsiblemente, en los próximos años, el público general se verá invadido de multitud de aplicaciones y servicios que harán uso de la Realidad Aumentada. Algunos ejemplos de esta revolución inminente pueden verse ya en el ámbito de la telefonía móvil [WRM⁺10], con aplicaciones como LAYAR, disponible para plataformas Android e iOS y los videojuegos; o juegos como EyePet TM (Sony PlayStation 3) [Pla09], Reality Fighters (Sony PS Vita) [Pla12] o Raving Rabbids (Microsoft XBOX 360 con Kinect) [Ubi12].

1.1. Motivación y objetivos

Una de las principales preocupaciones de las organizaciones que trabajan con gente discapacitada es que las grandes compañías de desarrollo normalmente se olvidan de estos sectores de población. Sectores que, a pesar de ser más pequeños que los que usan esta tecnología con fines lúdicos, mejorarían su calidad de vida notablemente gracias a los avances actuales [BMC⁺10] [sWHCT10] [MRC⁺07] [RBR05].

Ésta es también una de las inquietudes de la fundación INTRAS (Investigación y Tratamiento en Salud Mental y Servicios Sociales) [INT], que tiene entre sus objetivos

principales fomentar y desarrollar proyectos de investigación tecnológica e innovación de utilidad para colectivos como los discapacitados, niños y ancianos. Esta fundación se puso en contacto con la Universidad de Valladolid, con la intención de incorporar la tecnología de Realidad Aumentada sobre una plataforma ya existente que se orienta a la rehabilitación de personas con discapacidad [FJWG09] [FOBC]. La intención de INTRAS es la de incorporar, haciendo uso de Realidad Aumentada, ciertos módulos específicos a la plataforma GRADIOR para favorecer el diagnóstico y la rehabilitación de pacientes con daños cerebrales frontales, así como de aquellos que presentan diversos trastornos, entre los que se encuentra el Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH). Su flexibilidad y adaptabilidad lo diferencian de las demás herramientas informáticas [FJWG09] [FOBC].

En el presente Trabajo Fin de Máster se describe la primera versión del sistema desarrollado conjuntamente por el Grupo de Telemática e Imagen (GTI) de la Universidad de Valladolid y la fundación INTRAS. El sistema pone al alcance de los pacientes una colección de juegos relacionados con la manipulación visoespacial, la flexibilidad cognitiva y el nivel de impulsividad, entre otros aspectos. Los juegos se plantean al usuario en sesiones compuestas por una serie de ejercicios y proporcionan medidas objetivas sobre la eficacia de los usuarios a la hora de resolver los problemas propuestos en un tiempo determinado. Este tipo de actividades se consideran muy útiles para el diagnóstico y la rehabilitación de pacientes hiperquinéticos; esta tecnología de Realidad Aumentada ya fue utilizada por P.N.Wilson para el tratamiento de otro tipo de discapacidades [WFS97].

El diseño de los módulos de rehabilitación ha sido realizado siguiendo las indicaciones de psicólogos y especialistas, y testado en pacientes reales. Las actividades a realizar por el enfermo consisten en la resolución de laberintos dinámicos con objetos móviles, en los que es necesario dirigir una bola moviendo de forma interactiva un tablero sobre el que se proyecta la actividad con Realidad Aumentada (ver Figura 1.1).

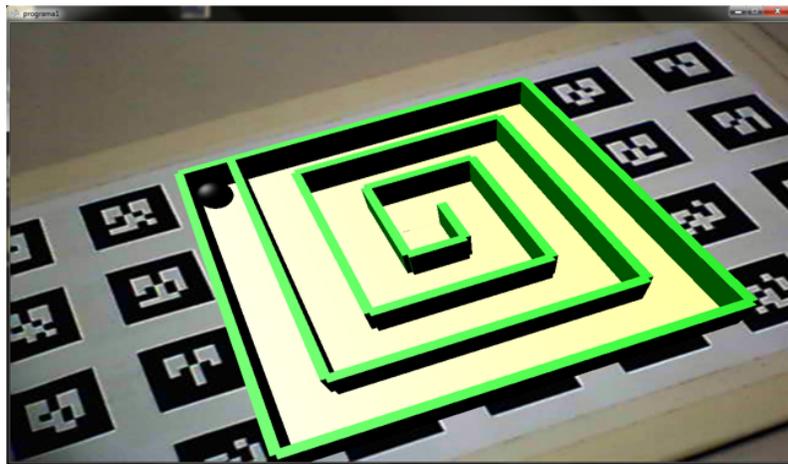


Figura 1.1: Recreación de Realidad Aumentada sobre el tablero de juego.

Los principales objetivos que se buscan en el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- Desarrollar un sistema de Realidad Aumentada que permita la rehabilitación y evaluación de pacientes con TDAH y pacientes con daño en el lóbulo frontal por medio de Serious Games.
- Que el sistema permita una evaluación semi-automática de las capacidades de los pacientes, sin necesidad de que el personal asistencial esté presente mientras se realizan las actividades.
- Recoger información durante la realización de las pruebas que permita no solamente reconstruir la realización de la actividad para su visualización, sino también medir parámetros importantes que sirvan para conocer aspectos como el nivel de aprendizaje, el control del movimientos y la estrategia seguida.
- Que las diferentes actividades sean completamente configurables y puedan ser diseñadas desde cero por parte del personal médico responsable de la rehabilitación de las personas con discapacidad.
- Que contenga un módulo de edición para permitir que terapeutas sin experiencia previa en modelado de gráficos por ordenador, programación informática o Realidad Aumentada, puedan diseñar complejos programas de rehabilitación desde el punto de vista terapéutico.

1.2. Fases y métodos

El proyecto ha sido realizado siguiendo unas fases determinadas:

1. La primera etapa del proyecto consiste en realizar una investigación con la que determinar cuáles son los trastornos que afectan a la Función Ejecutiva.
2. Una vez se observa que el TDAH y los trastornos causados por daños en el lóbulo frontal son candidatos a realizar un tratamiento cognitivo por ver afectada la Función Ejecutiva, se realiza un análisis de tecnologías y aplicaciones con Realidad Aumentada.
3. En una etapa posterior, y tras haber realizado el estudio previo de la tecnología, se hace una valoración de las diferentes opciones Software y Hardware para llevar a cabo el proyecto.
4. A partir de esta fase comienza el desarrollo. Se plantea el proyecto en dos módulos diferenciados: módulo de edición y módulo de ejecución.
5. La primera parte que se desarrolla es la aplicación de ejecución, encargada de mover el motor del juego.
6. Una vez diseñado el núcleo del juego, se desarrolla el editor, que está basado en el núcleo creado y posee una interfaz gráfica de usuario.

7. En la última fase se realizan pruebas de funcionamiento del proyecto, tanto en el laboratorio, como con pacientes reales. De estas pruebas se extraen diversas conclusiones que proporcionan un feedback importante de cara a la revisión de aspectos en la interfaz gráfica de usuario.

1.3. Recursos disponibles en el TFM

El proyecto se desarrolla en el Grupo de Telemática e Imagen de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid.

La cámara que sirve para capturar imágenes sobre la que aplicar la tecnología seleccionada es una de las dos cámaras integradas en gafas Vuzix WRAP 920AR [Vuz97]. Entre sus características se encuentran:

- Resolución: 640 x 480 píxeles (VGA).
- Velocidad: 30 frames por segundo.

El desarrollo del código se lleva a cabo bajo el entorno de desarrollo Microsoft Visual Studio 2008 con un ordenador con las siguientes características:

- Procesador: AMD Phenom II X6 1055T 2.80 GHz.
- Memoria RAM: 8 GB.
- Tarjeta gráfica: nVidia GeForce GTX 560 Ti.
- Sistema Operativo: Windows 7 (32 bits).

1.4. Organización del documento

El documento está organizado de tal forma que, como se ha mostrado en las diferentes fases, primero se realiza un estado del arte del objetivo a tratar. En el segundo capítulo se realiza un análisis de los trastornos de la Función Ejecutiva, centrandó la atención principalmente en el caso del TDAH, ya desde los primeros artículos que abordan el tema. En el tercer capítulo se plantea un estado del arte de la tecnología seleccionada para desarrollar la aplicación propuesta, indicando, además de la historia, diferente hardware y software que se utiliza en esta tecnología. En el cuarto capítulo se analiza el uso del software y hardware utilizado mostrando pequeños ejemplos de desarrollo. Además, se hace una introducción a un filtro útil para mejorar la respuesta del sistema. En el quinto capítulo, se muestran las partes del sistema desarrollado así como diversas pruebas realizadas tras su finalización. Por último, se muestran unas breves conclusiones extraídas tras la realización del proyecto.

Capítulo 2

Trastornos de la función ejecutiva

En la literatura científica existe un consenso al pensar que las funciones ejecutivas se relacionan de forma directa con las funciones del lóbulo frontal del cerebro (ver Figura 2.1). Estas funciones son un conjunto de habilidades cognitivas que trabajan para alcanzar una meta establecida con antelación [Lez95] [BD98].

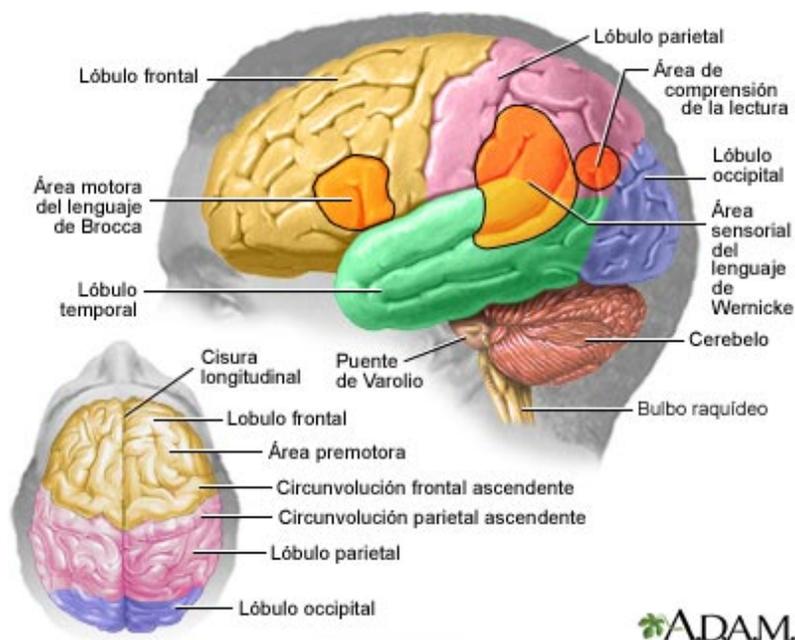


Figura 2.1: Anatomía del cerebro. Fuente: A.D.A.M.

Las funciones ejecutivas son las encargadas de permitir la elaboración de estrategias, la selección de conductas, la auto-organización y flexibilidad de los pasos para alcanzar el objetivo a realizar. Welsh et al. [WP88] definen las funciones ejecutivas como "la habilidad para mantener un conjunto de pasos para la resolución de problemas atendiendo a un objetivo futuro".

Ejemplificando este modelo de una forma menos teórica y aplicándolo al campo de la ingeniería, podemos relacionar las funciones ejecutivas con el concepto de control, en-

tendido tal y como lo haría un jefe de proyecto. Éste, tendría dentro de sus principales tareas la resolución de problemas surgidos concernientes al proyecto que se encuentra dirigiendo. Para ello deberá plantearse la resolución, diseñar un plan, establecer estrategias teniendo en cuenta las prioridades de las tareas y seleccionar el tipo de tácticas para la consecución de ese plan. Además, durante el desarrollo del plan, será necesario plantar cara a los posibles problemas que surjan y para los que no se planificó nada. Por ello, el trabajo de un jefe de proyecto conlleva un seguimiento y control de la ejecución de dicho plan, de forma que si no evoluciona adecuadamente para la consecución del objetivo de acuerdo a las expectativas de resolución, deberá determinar o establecer cambios adaptativos para la solución del problema de forma dinámica.

Mientras que algunos autores piensan que las funciones ejecutivas responden más a un proceso de control central y no necesariamente a procesos cognitivos complejos [Den96], en la actualidad resulta extraño que no se haga referencia a las funciones ejecutivas cuando se habla del lóbulo frontal habiendo otros autores que las consideran como uno de los procedimientos más significativos del mismo, refiriéndose a ellas como procesos cognitivos complejos [Bar96][JB94]. La organización y secuenciación de planes, la capacidad de paralelizar tareas para atender diversos estímulos de forma simultánea, la flexibilidad cognitiva, la capacidad de responder de acuerdo al contexto, la resistencia a la distracción y la inhibición de conductas inapropiadas compondrían las funciones cognitivas complejas.

En este sentido, el entrenamiento de las funciones ejecutivas tiene como objetivo favorecer la mejora en cada paciente, a la luz del diagnóstico neuropsicológico, de aquellas funciones que han resultado afectadas.

2.1. Trastorno por daños en el lóbulo frontal

Los pacientes con lesiones en el lóbulo prefrontal muestran un deterioro en el juicio, en la organización, la planificación y la toma de decisiones [SB84], así como la desinhibición en el comportamiento y un deterioro de las capacidades intelectuales [Lur02]. En el laboratorio, se observa que los pacientes presentan muchas dificultades para realizar pruebas con variables dinámicas [Mil63], aquellas para las que es preciso llevar a cabo una planificación [Sha82] y diversas tareas donde se requiere fluidez [Mil02]. Estas deficiencias indican que se trata de personas con una ruptura en los procesos de coordinación.

Los pacientes, cuando son sometidos a este tipo de pruebas, se centran en una determinada función o acción que pueden llevar a cabo de manera satisfactoria. El problema surge al tener que llevar a cabo diferentes funciones al mismo tiempo, por lo que todas ellas se deben coordinar y planificar para ser realizadas de manera paralela; es en estos casos en los que se observan claramente los déficits.

De esos experimentos se saca la conclusión de que las funciones ejecutivas se ven influenciadas por la zona del lóbulo prefrontal. De hecho, la función ejecutiva y la función

del lóbulo frontal son términos que se pueden utilizar de forma equivalente.

El Lóbulo Prefrontal

Alexander et al. [ADS86] proponen que el cerebro es un circuito corticostriatal, vinculando de forma íntima las regiones de la corteza frontal al cuerpo estriado, a través del tálamo y del globo pálido. Este modelo sugiere una conectividad funcional, así como anatómica, entre la corteza frontal y el cuerpo estriado (ver Figura 2.2).

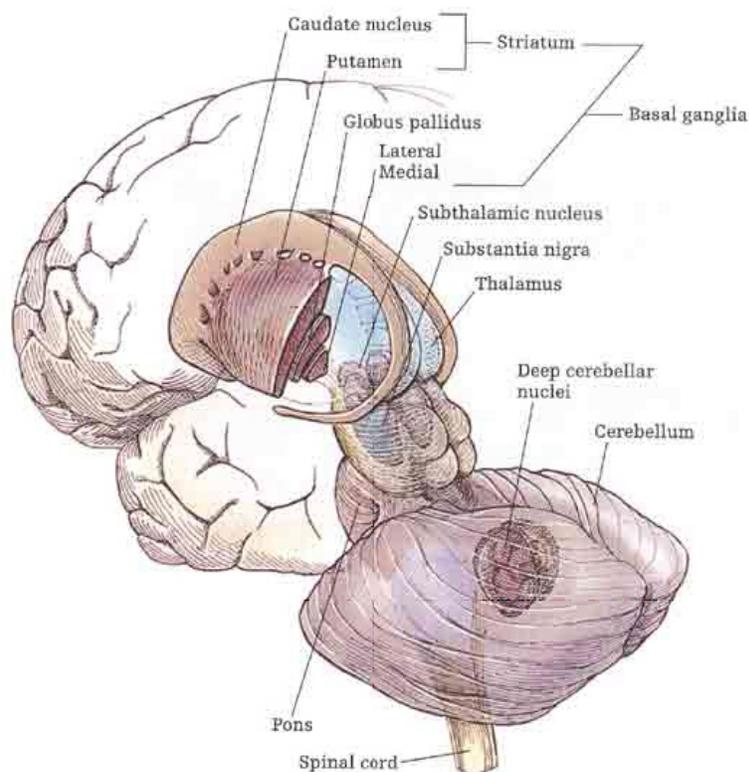


Figura 2.2: Representación de los ganglios basales en el interior del cerebro. Fuente: brainmind.com/BasalGanglia.html

Divac et al. [DRS67] demuestran que las lesiones del núcleo caudal en los animales se asemejan a la ablación del lóbulo prefrontal resultando un déficit del mismo tipo.

Diversos estudios neuropsicológicos en trastornos neurológicos ponen de manifiesto que el cuerpo estriado del cerebro también es importante para las funciones ejecutivas de los humanos. Los pacientes con atrofia multisistémica, parálisis supranuclear progresiva y la enfermedad de Huntington muestran déficits significativos en la función ejecutiva, pero con mucho, el trastorno más estudiado a través de los ganglios basales es la enfermedad de Parkinson [RJO94] [LSH96].

La enfermedad de Parkinson se caracteriza por alteraciones ejecutivas que son evidentes en etapas tempranas de la enfermedad, cuando la patología se limita a regiones de los ganglios basales, según han demostrado numerosos estudios neuropsicológicos. Estas observaciones se realizan en pacientes que están medicados [TSCL86] [OJL92].

El déficit de la función ejecutiva, por lo tanto, parece actuar en el mismo sentido que los daños en los ganglios basales. Esto ha llevado a la sugerencia de que la función ejecutiva no depende únicamente de la corteza prefrontal, sino que se precisa a su vez de un funcionamiento perfecto del cuerpo estriado para que se produzca una correcta neurotransmisión.

Los daños en el lóbulo frontal y los trastornos del ganglio basal no son las únicas patologías que se asocian a la disfunción ejecutiva. Como ya se expuso en la introducción, otros pacientes que muestran estas deficiencias son los enfermos de Alzheimer o aquellos que tienen algún trastorno en el lóbulo frontal, aunque no se encuentre dañado físicamente [Cum94].

Además, estos déficits en funciones ejecutivas son apreciados con frecuencia en pacientes con varios trastornos psicológicos como esquizofrenia [ES95] [WG97], depresión [AMG01] [MC94] o Trastorno de Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH).

2.2. Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad

El Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) afecta fundamentalmente a la conducta [Mic04], tratándose de un trastorno para el que se ha estimado una tasa de afección de entre un 5 % y un 10 % de la población infantil y adolescente sobre diversas pruebas realizadas, siendo el triple de frecuente en varones [And87] [WHP⁺96] [Mic04]. Además, existen diferencias dependiendo del área geográfica del sujeto, la cultura a la que pertenece o el nivel socioeconómico que posee. Por ello se puede descartar que se trate de una enfermedad somática, al no presentar los mismos síntomas y efectos dependiendo de estas variables expuestas.

El TDAH es un trastorno del comportamiento caracterizado por altos niveles de distracción, cortos periodos de concentración entre estados de distracción, inquietud motora, inestabilidad emocional y conductas impulsivas. Según el Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (DSM-IV) [Ame00], los síntomas empeoran en aquellas situaciones que requieren una atención sostenida en una tarea determinada, situaciones que carecen de interés o no aportan novedad alguna. Ejemplos de esto serían atender al profesor en clase, realizar las tareas encomendadas, lectura de textos largos, trabajos en tareas repetitivas, etc. Sin embargo, los síntomas se reducen o desaparecen cuando se encuentran motivados o interesados por diversas acciones, como jugar con videojuegos o ver la televisión.

El TDAH fue reconocido en primer lugar únicamente durante edad infantil. Sin embargo, con el paso del tiempo y a la vez que se fue conociendo el trastorno mejor, se reconoció su carácter crónico, ya que se manifiesta más allá de la adolescencia. Esto es así principalmente por la dificultad de modificar los comportamientos que ya están tan consolidados en el sujeto, sobre todo si no ha habido pautas de corrección previas. Los estudios de seguimiento a largo plazo han demostrado, siguiendo las pautas de DSM-IV [Ame00], que en torno al 65 % de los niños diagnosticados con TDAH continúa presentando los síntomas hasta la vida adulta [FBM06] [ZNG⁺90].

2.2.1. Causas

Aunque las causas específicas del trastorno no son conocidas, existen un número de factores que pueden contribuir a padecer TDAH. Entre ellos se encuentran factores genéticos, evolutivos, del entorno y de alimentación.

Genéticas

Por medio de estudios en gemelos se han demostrado factores de origen hereditario en un 80 % de los casos [THM95]. Este alto porcentaje sitúa a la herencia genética como la principal causa del trastorno, aunque existen otras causas. Investigaciones llevadas a cabo sugieren que la gran mayoría de casos de TDAH se dan por una combinación en los sujetos de varios genes. Muchos de los cuales afectan al transporte de la dopamina [VWK⁺09].

Evolutivas

Existen teorías que muestran que la hiperactividad puede ser evolutivamente beneficiosa. En un estudio realizado por J. Williams y E. Taylor [WT09] se encontró que el padecimiento de hiperactividad podía llevar a conseguir beneficios específicos para determinadas formas de sociedad. Se hipotetiza que las personas con TDAH en estas sociedades son más competentes en las tareas que implican riesgo, competitividad o comportamiento impredecible. Por ejemplo, en exploración de nuevas áreas, buscando nuevas fuentes de alimento, entre otras posibilidades. En estas situaciones, donde la sociedad podría haber aprovechado las cualidades de estos sujetos, el TDAH habría sido beneficioso para la sociedad en su conjunto, aunque gravemente perjudicial para el individuo de manera aislada.

Del entorno

La influencia de causas congénitas que actuarían durante la gestación tales como la exposición en el útero materno a la nicotina o al alcohol, también influyen en cierta medida [BKF⁺06]. Sin embargo, en muchos de los casos en los que la madre fuma durante el

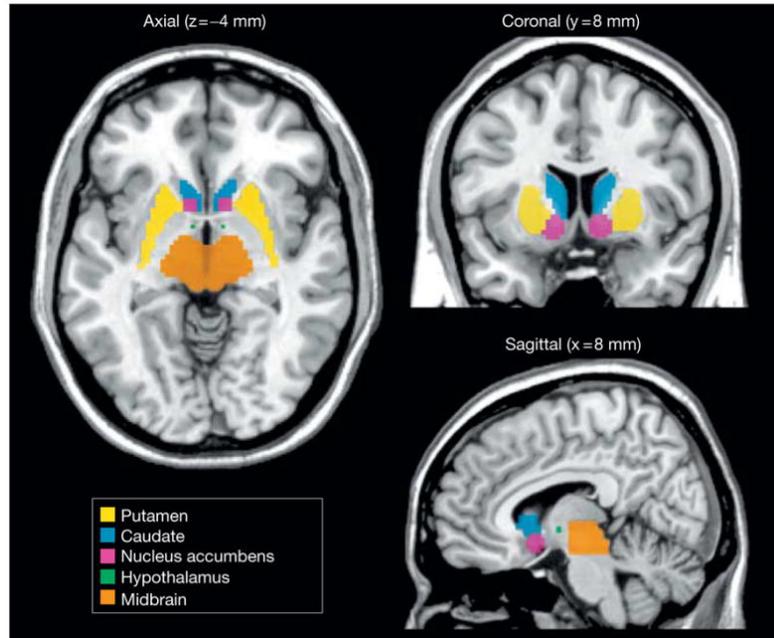


Figura 2.3: Regiones de interés usadas para obtener las mediciones de los receptores y transporte de la dopamina. Fuente: [VWK⁺09]

embarazo y el feto acaba padeciendo TDAH, se atribuye el trastorno a factores genéticos anteriormente expuestos. De hecho, los índices de mujeres con TDAH son mayores que en la población general. Por ello, estas mujeres son más propensas a fumar durante el embarazo.

De la alimentación

McCann et al. [MBC⁺07] encontraron un enlace entre el consumo de muchos de los colorantes artificiales usados comunmente y el desarrollo del TDAH. Por ello, multitud de gobiernos tomaron medidas para sacar del mercado estas sustancias.

2.2.2. Fisiología

El cerebro de los individuos afectados muestra una actividad atípica (ver Figuras 2.4 y 2.5), lo cual se ha demostrado utilizando técnicas de neuroimagen como tomografía PET y resonancia magnética. En adultos con TDAH, se encontró una disminución del 8 % en el metabolismo cerebral de la glucosa en relación a los controles, sobre todo a nivel de la corteza prefrontal y áreas premotoras(ver Figura 2.4) [ZNG⁺90].

Se han llevado a cabo estudios utilizando resonancia magnética funcional durante la realización de pruebas que requieren un esfuerzo cognitivo para el paciente. Se ha observado que en los sujetos normales se activa la corteza cingulada-dorsal-anterior, mientras

que frente a la misma exigencia los que tienen TDAH activan zonas secundarias fronto-estriadas [BFR⁺99].

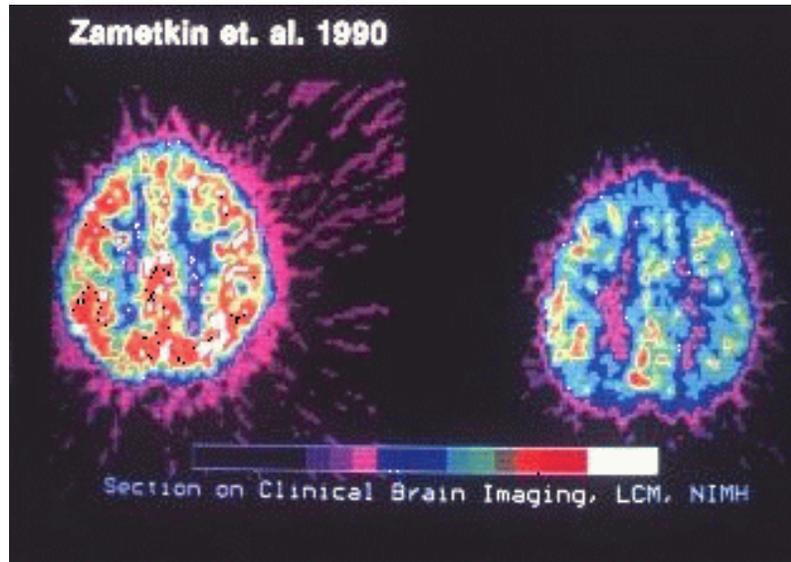


Figura 2.4: Actividad metabólica cerebral en personas sin TDAH (izquierda) y con TDAH (derecha): este trastorno conductual se asocia con patrones neurofisiológicos distintivos. Fuente: [ZNG⁺90]

En cuanto a los hallazgos neuroanatómicos, se ha encontrado menor volumen cerebral en áreas prefrontales y premotoras en pacientes que tienen TDAH (ver Figura 2.6) [FPWea02].

2.2.3. Diagnóstico

El TDAH se encuentra integrado en la clasificación del Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (DSM-IV) [Ame00] de la American Psychiatric Association (APA).

Los rasgos principales del TDAH son, por una parte, la dificultad para sostener la concentración (déficit de atención), sobre todo en circunstancias que ofrecen baja estimulación y, por otra, la falta de inhibición o control cognitivo sobre los impulsos, frecuentemente asociadas con inquietud motora (hiperactividad-impulsividad). Estos dos conjuntos de signos pueden aparecer por separado o combinados.

Siguiendo lo anterior, existen tres subtipos de TDAH definidos en DSMV-IV y en la Clasificación internacional de enfermedades versión 10 (CIE-10) [LI92]:

- Con predominio de déficit de atención. (Código CIE-10: F98.8)

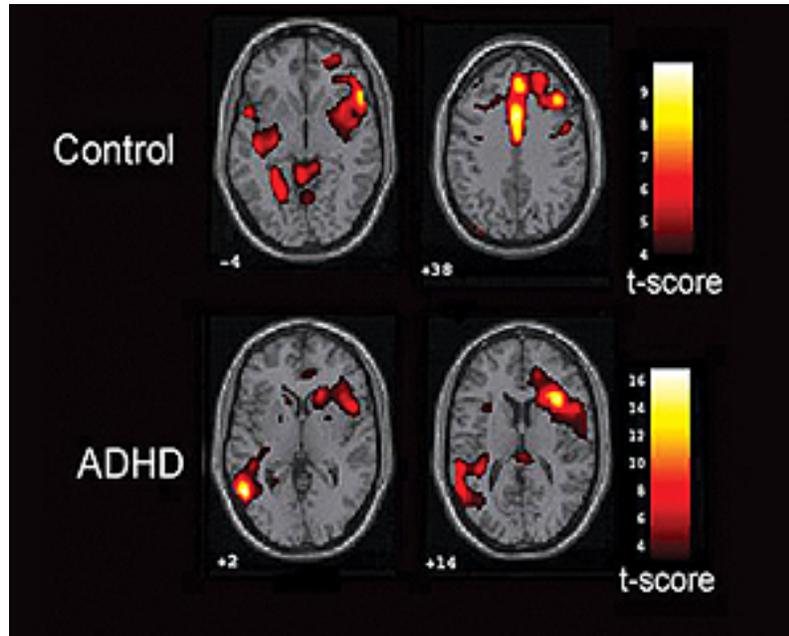


Figura 2.5: Actividad metabólica cerebral en personas sin TDAH (arriba) y con TDAH (abajo). Fuente: www.ucdmc.ucdavis.edu

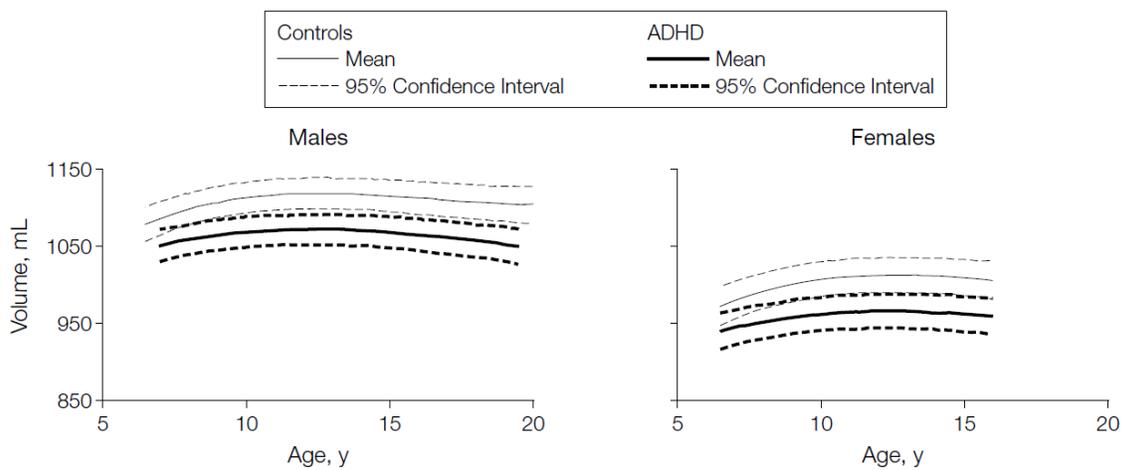


Figura 2.6: Curvas de crecimiento de los volúmenes cerebrales totales para pacientes con TDAH y sujetos de control en hombres (Izquierda) y mujeres (Derecha). Fuente: [FPWea02]

- Con predominio de conducta impulsiva e hiperactividad. (Código CIE-10: F90.0)
- Tipo combinado, donde los dos trastornos anteriores se dan a la vez. (Código CIE-10: F90.0)

Los criterios DSM-IV fijan estándares no clínicos, basados en estadísticas y descripción de comportamientos, para establecer el diagnóstico del TDAH y de cada subtipo, de acuerdo a la presencia o no de una serie de síntomas:

1. Grupo de déficit de atención:

- a) A menudo no presta suficiente atención a los detalles o comete errores por descuido en las tareas escolares, el trabajo u otras actividades.
- b) A menudo tiene dificultades para mantener la atención en tareas o actividades de juego.
- c) A menudo parece no escuchar cuando se le habla directamente.
- d) A menudo no sigue instrucciones y no finaliza tareas escolares, encargos u obligaciones en el lugar de trabajo, sin que se deba a un comportamiento negativista o a la incapacidad para comprender instrucciones.
- e) A menudo tiene problemas para organizar actividades.
- f) A menudo evita, le disgusta o no quiere hacer cosas que requieren mucho esfuerzo mental por un largo periodo de tiempo. Por ejemplo trabajos escolares o domésticos.
- g) A menudo pierde objetos necesarios para tareas o actividades como pueden ser juguetes, ejercicios escolares, lápices, libros o herramientas, entre otros.
- h) A menudo se distrae fácilmente.
- i) A menudo es olvidadizo en las actividades diarias.

2. Grupo de conducta impulsiva e hiperactiva:

a) Hiperactividad:

- 1) A menudo mueve en exceso manos o pies, o se remueve en su asiento.
- 2) A menudo se levanta del sitio donde se supone debería permanecer.
- 3) A menudo corre o salta cuando y donde no es apropiado.
- 4) A menudo tiene dificultades para jugar o para disfrutar de actividades de ocio en voz baja.
- 5) A menudo está muy activo o suele actuar como si estuviera impulsado por un motor.
- 6) A menudo habla en exceso.

b) Impulsividad:

- 1) A menudo responde a preguntas antes de que éstas se hayan terminado de pronunciar.

- 2) A menudo tiene dificultades para esperar su turno.
- 3) A menudo interrumpe o se entromete en asuntos de otros.

Para determinar el subtipo de trastorno que padece el paciente, se cuenta el número de acciones de cada grupo expuesto. Si supera seis puntos realizados en uno de los grupos, padece el trastorno asociado. En cambio si se dan más de seis puntos en los dos grupos, se trata de un trastorno combinado.

El subtipo más común es el que combina los trastornos de la atención con hiperactividad e impulsividad (60 %). Los subtipos puros son menos frecuentes (déficits atencionales, 30 %; hiperactividad e impulsividad, 10 %) [Mic04].

La presencia de estos síntomas evaluados por medio de los criterios normalizados del DSM-IV o de la CIE-10 no constituyen un diagnóstico idóneo. Además, es preciso tener en cuenta e identificar perturbaciones significativas en áreas importantes para la persona, como son las relaciones familiares, las académicas, las laborales y las recreativas. Dependiendo del grado de deterioro del desempeño de la persona en estas áreas, la intervención terapéutica puede volverse necesaria para conseguir una mejor calidad de vida.

2.2.4. Tratamiento

Aunque pueda resultar contradictorio, los tratamientos habituales que modifican positivamente los síntomas se basan en el consumo de estimulantes. Entre ellos están la cafeína y la nicotina, con los que es habitual que los adolescentes y adultos se autome-diquen. Las sustancias estimulantes se han utilizado en el tratamiento del TDAH desde que en 1937, Bradley descubrió que el sulfato de anfetamina (Benedrina) era eficaz para aumentar la atención y la persistencia en las tareas de tipo escolar, y para reducir otros síntomas típicos del TDAH [Bra37].

Actualmente, las sustancias más empleadas en Estados Unidos son el metilfenidato y la anfetamina, seguidas de la dexanfetamina y la metanfetamina. En España el único estimulante aceptado para el tratamiento del TDAH es el metilfenidato.

Dentro de la comunidad científica, existe consenso respecto de los beneficios de la terapia con estimulantes. Desde hace 70 años, más de 200 estudios controlados han demostrado que la medicación estimulante es un recurso efectivo para tratar el TDAH. [FU07] [Wig09]

Los primeros trabajos con alternativas distintas de tratamiento aparecieron en la década de los 60, casi treinta años después del descubrimiento de Bradley. En estos trabajos, se utilizaban técnicas conductuales para centrarse, en un primer periodo, en el empleo de instrumentos manuales o mecánicos que proporcionaban refuerzo contingente a la aparición de las conductas deseadas. En un segundo periodo se empleaban técnicas de intervención como el refuerzo social, el modelado, la economía de fichas o programas de refuerzo en

casa.

En los años 70 los estudios de tratamiento se centraron en los tratamientos conductuales estando, o no, en conjunto con tratamientos farmacológicos. Del conjunto de estos estudios se puede deducir que los tratamientos combinados de medicación más terapia conductual son más eficaces, y el efecto conseguido de esta unión de métodos supera al de cada uno por separado.

Durante la década de los 80, el interés se desplaza hacia los aspectos epidemiológicos y de clasificación diagnóstica del trastorno [Abi91]. Sobre todo se estudian los efectos de la medicación, junto a las dosis, analizando diversas conductas como habilidades sociales, deportivas, académicas, aprendizaje o control de agresividad, entre otros. Es también en esta época cuando surgen los tratamientos cognitivo-conductuales.

Finalmente, desde los años 90 hasta la actualidad, a pesar de que la medicación con estimulantes sigue siendo ampliamente utilizada, se buscan programas combinados para que los niños con TDAH no sean tratados únicamente por medio de fármacos y los tratamientos sean una combinación de diferentes técnicas y procedimientos [HJ96].

Capítulo 3

Realidad Aumentada

3.1. Introducción

Se conoce como Realidad Aumentada (RA) a la visión directa o indirecta de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales generados por ordenador, como son audio, vídeo, gráficos o datos GPS para la creación de una realidad mixta. Aunque esta información puede darse sobre imágenes estáticas, lo que hace realmente interesante esta tecnología es poder añadir información en tiempo real.

La Realidad Aumentada consiste en un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física ya existente, es decir, añaden una parte virtual sobre lo real. Esta característica es lo que diferencia a esta tecnología de la Realidad Virtual, donde se sustituye el mundo real con una simulación de un entorno que no lo es. Existen, sin embargo, dos definiciones comúnmente aceptadas de la Realidad Aumentada en la actualidad. Una de ellas fue dada por R. Azuma en 1997 [Azu97]. La definición de Azuma dice que la Realidad Aumentada:

- Es una combinación de elementos reales y virtuales.
- Permite interactuar en tiempo real con el entorno.
- Está registrada en 3D, para que la sensación percibida sea de que es un único entorno. Por ello se debe tener especial cuidado con el tratamiento de las perspectivas.

Por otra parte, P Milgram y F Kishino [MK94] lo definen como un espacio continuo que abarca desde el entorno real puro hasta un entorno virtual puro (ver Figura 3.1). En medio se encuentra una realidad aumentada, más cercana a la realidad pura, y una virtualidad aumentada, más cerca del entorno virtual puro. En este sentido, conforme avanzamos desde la realidad pura a la virtualidad pura, el número de elementos virtuales que aparecen representados nos indican cómo de lejos nos encontramos de la realidad pura. En los puntos donde existen más partes reales que virtuales, nos encontraremos en la zona denominada en la imagen como Realidad Aumentada. En cambio si existe un mayor número

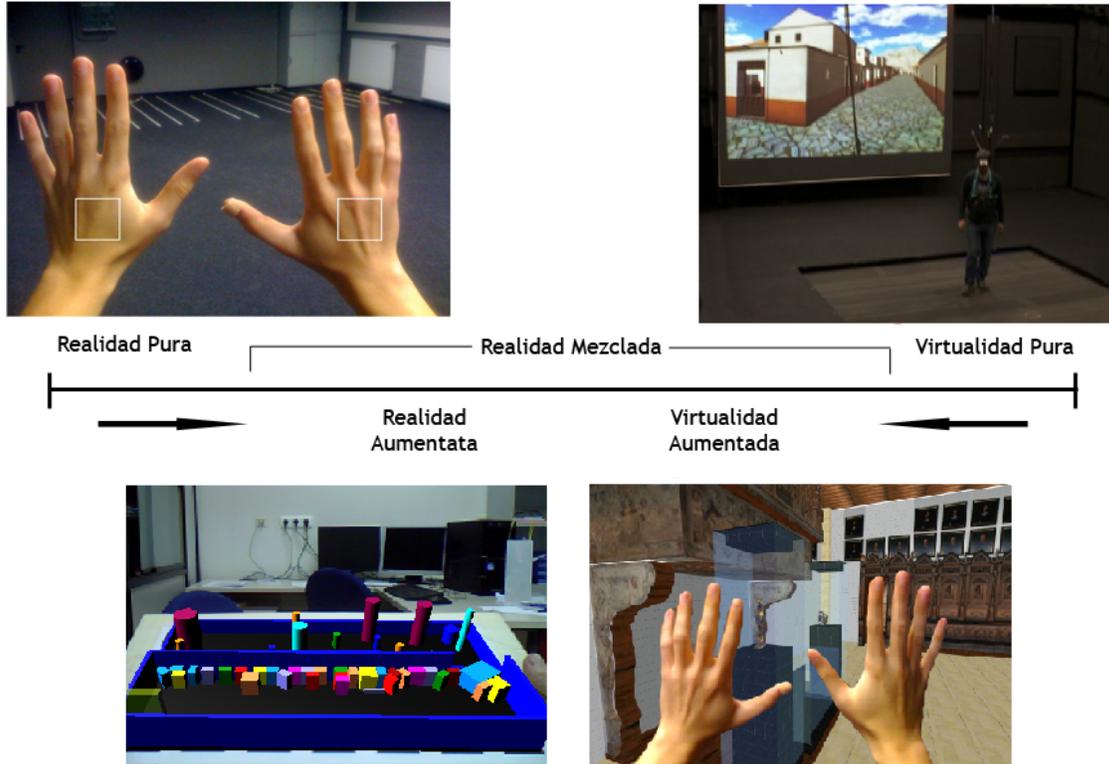


Figura 3.1: Diagrama de representación de Realidad Mezclada. Fuentes: Propia, [STU07] y [SBRH09]

de elementos virtuales sobre la escena que elementos reales, se puede hablar de una Virtualidad Aumentada (ver Figura 3.1).

Gracias a las nuevas tecnologías, la información sobre el mundo real alrededor del usuario se convierte en interactiva. Para ello se hace uso de la visión por computador y el reconocimiento de objetos. La información artificial sobre el medio y los objetos virtuales pueden ser guardados y cargados como si de una capa sobre el mundo real se tratase. En la actualidad, con los últimos avances tecnológicos y fundamentalmente los avances en dispositivos móviles, el término de Realidad Aumentada ha visto aumentado su uso debido al creciente interés del público en general.

3.1.1. Cronología

- 1962: Morton Heilig, un director de fotografía, crea un simulador de moto llamado Sensorama con imágenes, sonido, vibración y olfato [Hei62] (Figura 3.3).
- 1973: Ivan Sutherland inventa la pantalla de cabeza (*Head-Mounted Display*, HMD), lo que sugiere una ventana a un mundo virtual [Sut].
- 1985: Myron Krueger crea Videoplance, que permite a los usuarios interactuar con



Figura 3.2: Simulador de moto SENSORAMA. Fuente: [Hei62]

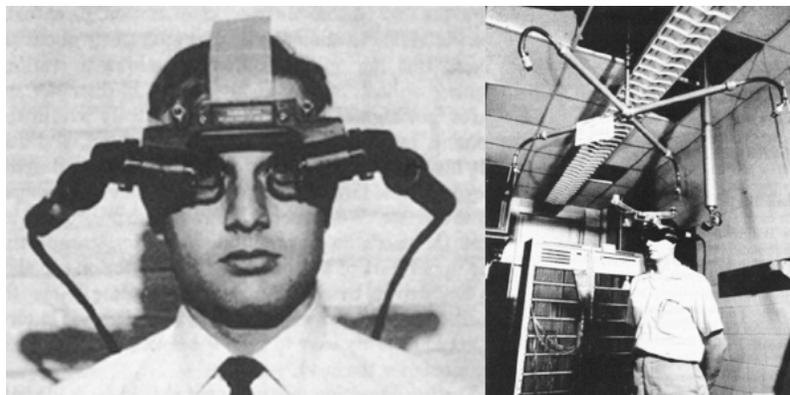
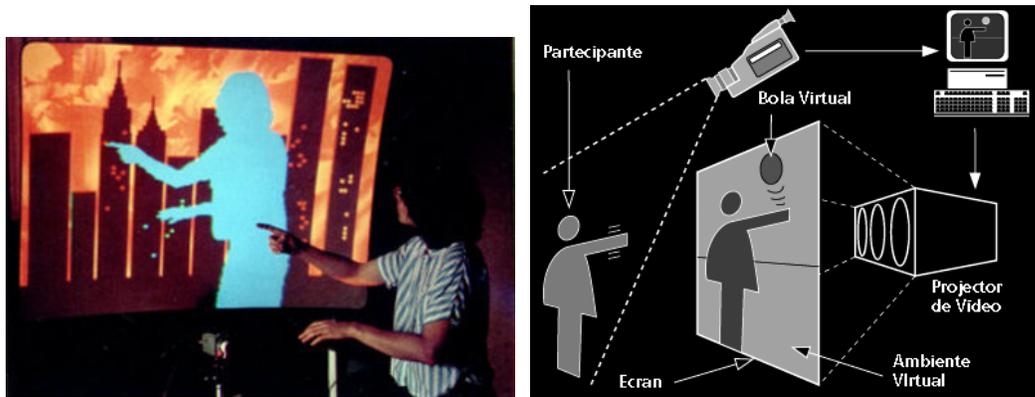


Figura 3.3: Modelo del primer HMD. Fuente: [Sut]

objetos virtuales por primera vez (Figura 3.4) [KGH85].



(a) Funcionamiento del sistema VideoPlace (b) Esquema de montaje del sistema VideoPlace.

Figura 3.4: Sistema VideoPlace. Fuente: [KGH85]

- 1990: Jaron Lanier, basado en trabajos anteriores sobre reconocimiento gestual [ZLB⁺86], acuña el término Realidad Virtual y crea la primera actividad comercial en torno a los mundos virtuales [BBH⁺90].
- 1992: Tom Caudell crea el término Realidad Aumentada a través de una aplicación para obtener información y mostrarla en HMDs [CM92].
- 1994: Steven Feiner, Blair MacIntyre y Doree Seligmann utilizan por primera vez un sistema de Realidad Aumentada en un prototipo, KARMA [FMS93]. En él se indica al usuario la forma correcta de realizar el mantenimiento de una impresora a través de la superposición sobre el mundo real de los pasos a seguir, por ejemplo, para cambiar el cartucho de tinta (Figura 3.5).



Figura 3.5: Aplicación KARMA. Indica al usuario la forma correcta de realizar el mantenimiento de una impresora a través de la superposición sobre el mundo real de los pasos a seguir. Fuente:[FMS93]

- 1999: Hirokazu Kato desarrolla ARToolKit [KB99]. El artículo muestra una aplicación para mantener conferencias así como las técnicas de calibración de la cámara

con la que se recogen las imágenes de las escenas a tratar. Se introdujo el tratamiento de la imagen para que los elementos virtuales se situasen en relación a las posiciones de diversos marcadores que la cámara debía mantener enfocada (Figura 3.6).

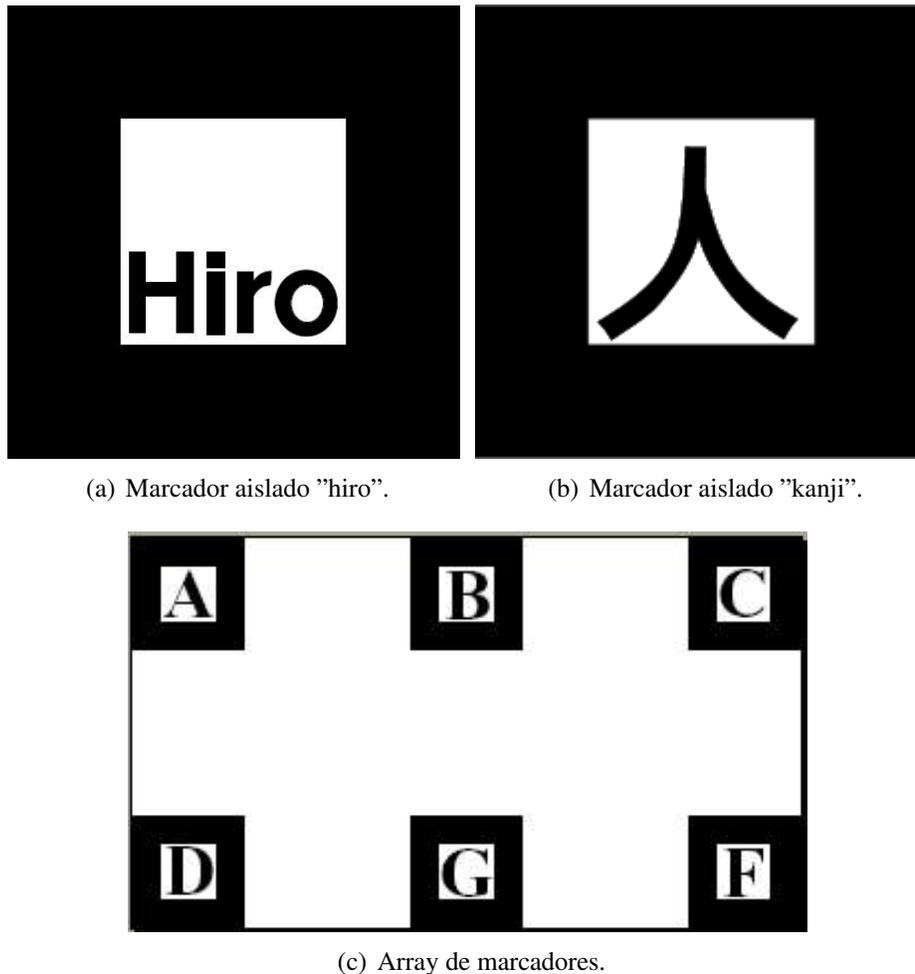


Figura 3.6: Marcadores utilizados por ARToolKit para visualizar elementos virtuales sobre imágenes reales. Los marcadores (a) y (b) poseen un único origen de coordenadas para situar elementos. El array de marcadores (c) posee un único origen de coordenadas para el conjunto de marcadores, pudiendo mantenerse la visualización pese a presentar oclusión en alguno de los marcadores que lo componen. Fuente:[KB99]

- 2000: Wayne Piekarski y Bruce H. Thomas desarrollan ARQuake, el primer juego al aire libre con dispositivos móviles de Realidad Aumentada [PT02]. Para realizarlo, se preparó una mochila con equipamiento informático compuesto por HMD, una pistola de plástico, un GPS y un portátil. Se programó una versión adaptada del videojuego Quake, desarrollado por idSoftware en 1996, incorporando un plano 3D de la universidad. A partir de este punto, y de acuerdo a las posiciones registradas en el GPS, es posible hacer aparecer adversarios y objetos en aquellos lugares que tengan coherencia, y pudiendo interactuar con la posición y acciones del jugador

(Figura 3.7).



(a) Vista del jugador



(b) Composición del punto de vista del jugador. El jugador únicamente visualiza la imagen de la derecha

Figura 3.7: Juego desarrollado utilizando Realidad Aumentada. ARQuake. Fuente: [PT02]

- 2008: AR Wikitude Guía sale a la venta con el teléfono Android G1. Permite, a través de la cámara integrada del móvil, acceder a información relevante de la imagen a la que el usuario esté apuntando.
- 2009: ARToolkit es portado a Adobe Flash (FLARToolkit) por Saqoosha [Koy09]. Este hecho hace que la Realidad Aumentada llegue a los navegadores web que soportan Flash.

Además, durante este año, se dan los primeros pasos para crear el logo oficial de la Realidad Aumentada, con el objetivo de que cualquier aplicación que utilizase dicha tecnología fuese fácilmente identificable por parte del público general (Figura 3.9), y desde entonces empezó a utilizarse en diversos medios de comunicación (Figura 3.10).



Figura 3.8: Aplicación Wikitude muestra diversa información simplemente apuntando la cámara del móvil al lugar de interés. Fuente: Wikitude



Figura 3.9: Logotipos diseñados como estándar para la Realidad Aumentada. Fuente: t-immersion.com/ar-logo

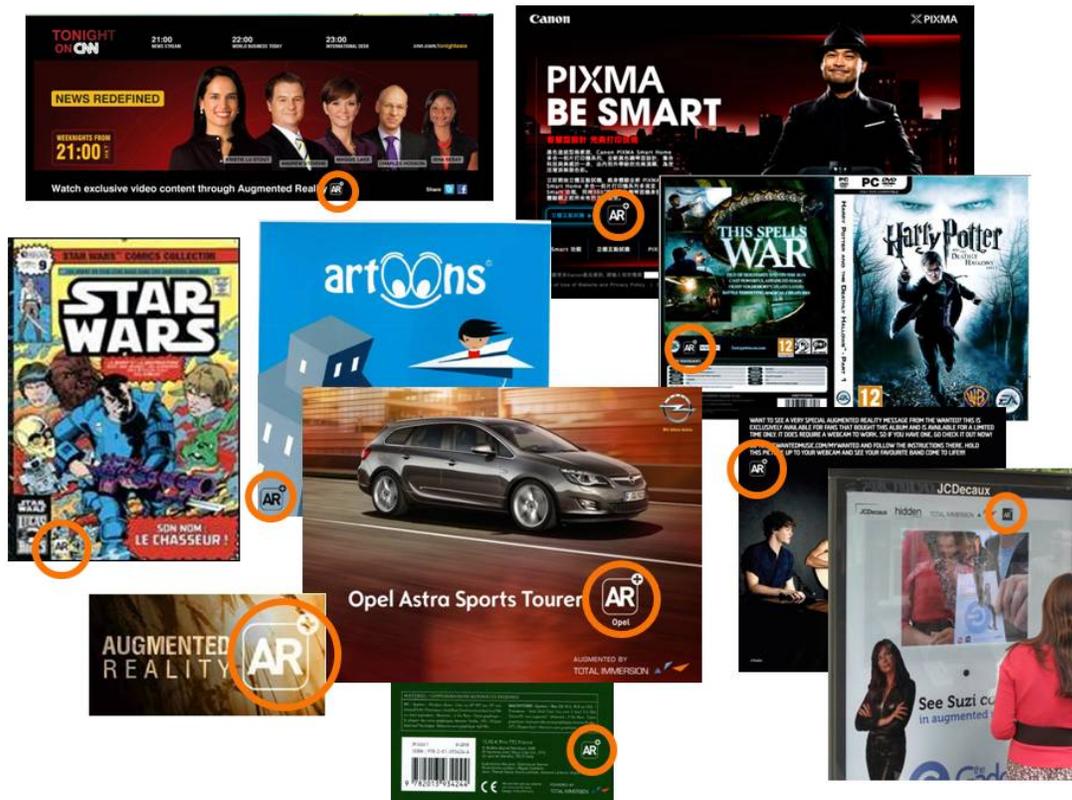


Figura 3.10: Ejemplos de uso del logotipo de Realidad Aumentada en diversos medios de comunicación. Fuente: t-immersion.com/ar-logo

- 2012: Google anuncia el Project Glass. Unas gafas de Realidad Aumentada con las que pretenden introducir el dispositivo en la sociedad de forma comercial (Figura 3.11).

3.2. Hardware

Todos los dispositivos de Realidad Aumentada están formados por una cámara, capaz de recoger las imágenes que se procesarán, y un dispositivo de salida, donde se visualizará el efecto de Realidad Aumentada. Si bien, puede emplearse un monitor convencional para observar los resultados y una webcam para recoger las imágenes sobre las que se colocan los objetos virtuales. La forma óptima, y que ofrece mayor inmersión, está basada en el uso de dispositivos faciales con pantallas integradas y una o más cámaras situadas en la parte frontal. Este dispositivo es más conocido como *Head-Mounted Displays*, *HMD* (Figura 3.12).

Otro elemento necesario, y probablemente el más importante a la hora de procesar las imágenes capturadas por la cámara, es una unidad CPU potente y con elevada memoria RAM para que el procesamiento de las imágenes se realice a la mayor tasa de imágenes por segundo posible.



Figura 3.11: Nuevas gafas de Realidad Aumentada diseñadas por Google. Fuente: Google.com

Existen tres técnicas principales para mostrar la Realidad Aumentada:

- **Head-Mounted Display:** Como ya se ha indicado, la pantalla se encuentra en algún dispositivo colocado en la cabeza del usuario. La pantalla o pantallas del dispositivo permiten que al ojo llegue la escena real a la que se superponen elementos virtuales.

Los dos principales sistemas de visualización empleados son la pantalla óptica transparente (*Optical See-through Display*), que proyecta los elementos virtuales sobre la imagen real percibida por el ojo (Figura 3.12(c)) y la pantalla que mezcla realidad y virtualidad (*Video-mixed Display*) (Figura 3.12(b)). Además, este dispositivo puede incorporar diversas tecnologías como acelerómetros, GPS, giroscopios, brújulas digitales, RFID, entre otros.

La principal ventaja de este tipo de dispositivo es la gran inmersión conseguida tanto al aumentar la realidad con elementos virtuales, como usándolos en aplicaciones de Realidad Virtual.

- **Dispositivos móviles:** Con el auge de los smartphones, embajadores de las tecnologías móviles, resulta lógico que uno de los pasos a seguir por parte de la Realidad Aumentada sea adoptar dichos dispositivos para promover el progreso de esta tecnología. Actualmente, los teléfonos móviles cuentan una pantalla de gran resolución que puede ser sostenida fácilmente por la mano. Además, estos dispositivos disponen de procesadores que en muchos casos llegan a funcionar tan rápido como una CPU de un ordenador de sobremesa, con la ventaja de estar optimizados para ser



(a) Gafas de Realidad Virtual. Fuente: SONY



(b) Gafas de Realidad Aumentada. Fuente: [Vuz97]

(c) Gafas de Realidad Aumentada ópticas. Fuente: [Vuz97]

Figura 3.12: Diversos modelos de HMDs

desplazados.

Todas las soluciones utilizadas hasta la fecha por los diferentes dispositivos móviles han empleado técnicas de superposición de los elementos virtuales sobre la escena del vídeo capturado a través de la cámara integrada. Inicialmente los dispositivos de mano empleaban sensores de seguimiento como brújulas digitales, acelerómetros, giroscopios y GPS que añadían marcadores al vídeo. Más tarde, con el uso de sistemas como ARToolKit [KB99], fue posible añadir los elementos virtuales en tiempo real gracias al bajo procesamiento requerido para detectar marcadores simples como los vistos en la Figura 3.6. Por su gran integración en la sociedad y su bajo coste, este tipo de dispositivos son los candidatos para ser el primer éxito comercial de las tecnologías de Realidad Aumentada (Figura 3.13).



Figura 3.13: Ejemplo de aplicación de Realidad Aumentada utilizando smartphones.

- Dispositivos fijos o espaciales:** En este caso se encuentra la Realidad Aumentada que hace uso de proyectores digitales para mostrar los elementos virtuales sobre objetos reales. La principal diferencia respecto a las anteriores técnicas, es que la pantalla de visualización está separada de los usuarios. Dado que la proyección no está asociada de forma personal a cada usuario, permite la visualización de los efectos a un grupo mayor de personas. De esta forma es posible el uso simultáneo y la coordinación para realizar diferentes acciones colectivamente (Figura 3.14).

La principal ventaja de este tipo de dispositivos es, además del uso simultáneo por varias personas, que el usuario o usuarios no necesitan llevar el equipo encima. Esto hace que estos dispositivos no sean intrusivos con el usuario, y con el uso de tecnologías como Microsoft Kinect [Ubi12] o EyeToy de Sony PlayStation [Pla09], ni siquiera sea necesario el uso de un controlador, pudiendo realizar acciones por control gestual.

Un sistema de proyección permite incorporar más proyectores para ampliar el área de visualización. Los dispositivos portátiles y monitores convencionales no dejan de ser una pequeña ventana al mundo para representar la información virtual. En cambio, en un sistema de estas características, se puede mostrar un mayor número de superficies virtuales al mismo tiempo, llegando incluso a rodear al usuario por completo (ver Figura 3.14(a)).



(a)



(b)

Figura 3.14: Ejemplo de entorno de Realidad Aumentada CAVE, Universidad de Illinois (a) y una visión de una oficina en el futuro por medio de teleinmersión (b). Fuentes: Electronic Visualization Laboratory, Illinois; MIT Media Lab + UNC en Chapel Hill

3.3. Software

Para poder realizar la mezcla de elementos virtuales con escenas reales, las imágenes con los elementos virtuales deben estar bien renderizadas, acorde al sistema de coordenadas de la escena real. Este proceso de situar todos los elementos en un sistema de coordenadas se denomina registrado. Esta acción utiliza diferentes métodos de visión por ordenador, en su mayoría relacionados con el seguimiento de vídeo. Muchos métodos de visión por ordenador heredan principios de los métodos de odometría visual.

Normalmente los métodos seguidos constan de dos partes:

1. Se emplea la detección de esquinas, la detección de bordes, de umbral y diversos métodos de procesado de imágenes.
2. El sistema de coordenadas del mundo real es restaurado a partir de los datos obtenidos en la primera etapa.

Los métodos utilizados en la segunda etapa incluyen geometría proyectiva, paquete de ajuste, la representación de la rotación con el mapa exponencial, filtro de Kalman y filtros de partículas.

Software para Realidad Aumentada

Existen multitud de librerías y software que permiten el uso de Realidad Aumentada; a continuación se nombran algunas de las librerías que más se utilizan:

- **D.A.R.T. (Designer's Augmented Reality Toolkit):**
DART es un sistema de programación que fue creado por el Augmented Environments Lab, en el Georgia Institute of Technology. Su finalidad es ayudar a los diseñadores a visualizar Realidad Aumentada. Proporciona un conjunto de herramientas entre las que están la coordinación de objetos en 3D, vídeo, sonido e información de seguimiento de objetos de Realidad Aumentada [MGB⁺03].
- **ARToolKit:**
Librería GNU GPL en C++ que permite la creación de aplicaciones de Realidad Aumentada, desarrollado originalmente por Hirokazu Kato en 1992 y publicado por el HIT Lab de la Universidad de Washington. Actualmente se mantiene como un proyecto de código abierto alojado en SourceForge.
- **ArTag:**
Apareció posteriormente a ARToolKit. Se trata de otra librería en C++. Stephen Cawood y Mark Fiala, Creador de ArTag, publicaron un libro en el que se explica el funcionamiento de la librería con varios ejemplos [CF08].
- **ArToolkitPlus:**
Librería en C++ derivada de ARToolKit, como su nombre indica. Está optimizada para funcionar en dispositivos móviles y añade prestaciones de ArTag. Existen estudios que comparan el funcionamiento de esta librería con ArTag [Fia05].

- **ALVAR:**
 Librería en C++ [Cen12]. Primera librería pública liberada en 2009. Aunque inicialmente poseía una licencia comercial, actualmente es una librería open-source. Entre sus múltiples características, cabe destacar que no es necesario el uso de marcadores para hacer el registro de la imagen y poder extraer las coordenadas donde se sitúan los elementos virtuales. Para ello realiza búsquedas de patrones en la imagen global, sin centrarse en la búsqueda de marcadores. El uso de esta característica aún se encuentra en pruebas.
- **Qualcomm:**
 El principal rasgo de esta librería open-source es que está especialmente diseñada para el desarrollo de aplicaciones en dispositivos móviles (Android e iOS).

3.4. Aplicaciones

Con todas las características mostradas, es indudable que la Realidad Aumentada ofrece infinidad de posibilidades a explotar en multitud de áreas.

- **Proyectos educativos:** Uno de los grandes campos donde se utilizan la mayoría de aplicaciones de Realidad Aumentada es con fines educativos. Museos, exhibiciones o parques de atracciones temáticas son los candidatos idóneos para su uso [WWWC04] [MMT⁺08], si bien, otros empiezan a ver en esta tecnología puntos a favor para su utilización, como pueden ser colegios o universidades. Estos lugares se sirven de conexiones inalámbricas para acceder a la información de interés y mostrarla al usuario, además de imágenes virtuales como por ejemplo ruinas reconstruidas o paisajes tal y como eran en el pasado.



Figura 3.15: Ejemplo de uso de Realidad Aumentada en un museo. Un avatar virtual hace de guía del visitante mostrándole información relevante o recreaciones virtuales. Fuente: www.lm3labs.com

- **Cirugía:** La aplicación de Realidad Aumentada en operaciones permite al cirujano superponer datos visuales en intervenciones de laparoscopia [FLR⁺98] o en cirugía

para el cáncer, utilizando Realidad Aumentada para ver reconstrucciones en 3D de las imágenes de ultrasonido sobre la piel del paciente [SNT⁺98] delimitando los órganos durante una intervención, con lo que se minimiza el riesgo de error durante la cirugía (Figura 3.17).

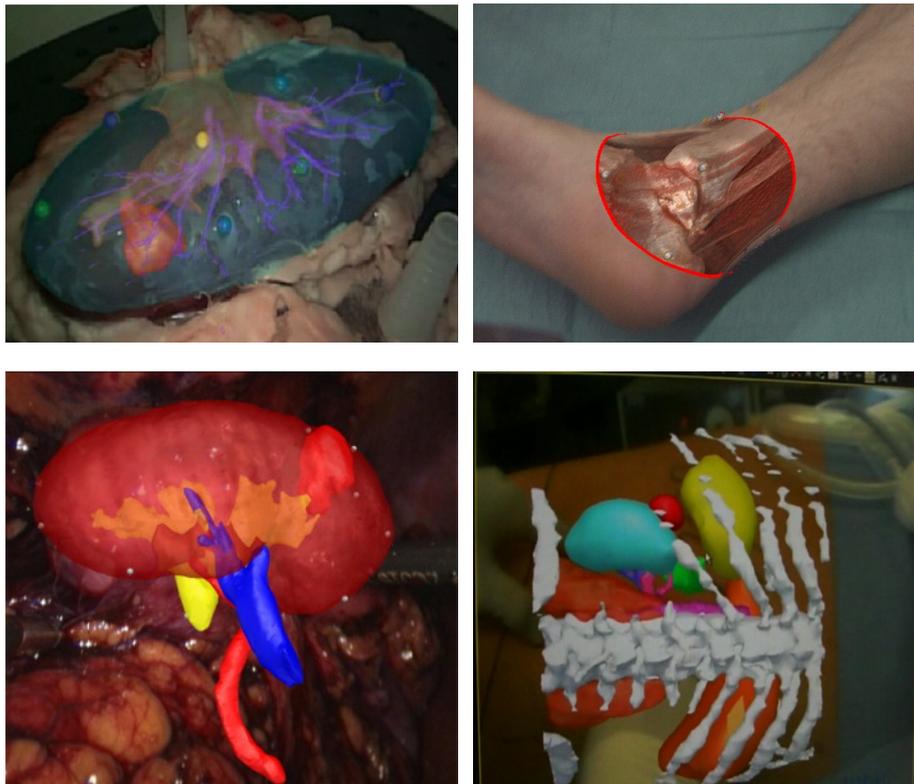


Figura 3.16: Ejemplos de aplicaciones destinadas a la medicina. Fuente: [TGS⁺09]

- **Entretenimiento:** Si se tiene en cuenta que el mercado de los videojuegos supera a la industria de la música y el cine juntas, es comprensible que se esté apostando mucho por la Realidad Aumentada en este sector. Esta tecnología aporta nuevas posibilidades para controlar y visualizar un videojuego. Como ya se ha indicado, durante los próximos años, el público se va a ver invadido con multitud de aplicaciones y servicios que harán uso de la Realidad Aumentada. Ejemplos actuales de videojuegos que sacan partido de esta tecnología pueden ser EyePet TM (Sony PlayStation 3) [Pla09](Figura 3.17(a)), Reality Fighters (Sony PS Vita) [Pla12](Figura 3.17(b)) o Raving Rabbids (Microsoft XBOX 360 con Kinect) [Ubi12](Figura 3.17(c)).
- **Simulación:** Una de las áreas donde desde hace mucho se utilizan estas tecnologías es en simuladores de entrenamiento para trabajos especializados como pilotos de avión o helicóptero, artificieros o preparación de cirujanos, entre otros (Figura 3.18).
- **Servicios de emergencias y militares:** En misiones de combate, la Realidad Aumentada proporciona información útil a los soldados indicando dónde se encuentran, número de enemigos y aliados que les rodean e incluso detectar y mostrar



(a) EyePet TM (Sony PlayStation 3).



(b) Reality Fighters (Sony PS Vita).



(c) Raving Rabbids (Microsoft XBOX 360 con Kinect). Fuente

Figura 3.17: Ejemplos de aplicaciones destinadas al ocio electrónico. Fuentes: [Pla09], [Pla12], [Ubi12]



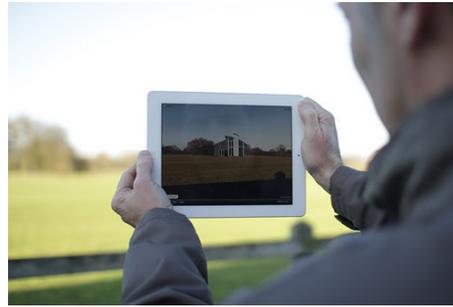
Figura 3.18: Ejemplo de uso de Realidad Aumentada para el entrenamiento de pilotos de transbordadores espaciales de la NASA. Fuente: Thales Training & Simulation

un enemigo para el que el soldado no tiene contacto visual. Por ello, la Realidad Aumentada puede considerarse un tercer ojo para el soldado. Además, la visualización de mapas y estructuras para orientarse se le puede facilitar directamente indicándole la ruta a seguir allí donde está mirando. Actualmente, esta tecnología ya se utiliza de forma habitual en pilotos de aviones de combate, integrando en el casco un monóculo que les indica toda la información acerca de las misiones.

- **Arquitectura y decoración:** En este área se están realizando grandes avances a la hora de mostrar al usuario estructuras históricas, o permitiendo visualizar edificios terminados aún cuando no se hayan comenzado a construir (Figuras 3.19(a) y 3.19(b)). Además, en el campo del interiorismo, se están realizando del mismo modo grandes inversiones para que se le permita al usuario decorar estancias y, de esta forma, visualizar una imagen del resultado muy cercana a la realidad (Figuras 3.19(c) y 3.19(d)).
- **Apoyo con tareas complejas:** Tareas complejas, como el montaje, mantenimiento, y la cirugía pueden simplificarse mediante la inserción de elementos virtuales en el campo de visión del usuario. Uno de los ejemplos que se proponen ARMAR [HF12], presenta indicaciones a un mecánico que está realizando el mantenimiento de un sistema, en este caso un motor (Figura 3.20). Además, una ventaja de la Realidad Aumentada es que puede mostrar imágenes de los objetos ocultos a la vista del usuario, muy útil en medicina o cirugía.
- **Los dispositivos de navegación:** Otra de las útiles aplicaciones que se desarrollan utilizando Realidad Aumentada son aquellas que ayudan a la conducción o las que sirven de guía en el interior de instalaciones (Figura 3.13).



(a) Demostración de Realidad Aumentada aplicada para mostrar el aspecto de un edificio tras su construcción.



(b) Demostración de Realidad Aumentada aplicada para mostrar el aspecto de un edificio tras su construcción.



(c) Aplicación desarrollada por IKEA para la visualización de muebles virtuales.



(d) Demo realizada por el Grupo de Telemática e Imagen orientada a la decoración de estancias utilizando Realidad Aumentada.

Figura 3.19: Ejemplos de aplicaciones destinadas a la arquitectura y la decoración. Fuente: [Cen12], IKEA



Figura 3.20: Ejemplo de uso de Realidad Aumentada como apoyo en tareas complejas. En este caso, el mantenimiento de un motor Rolls Royce DART 510. Fuente: [HF12]

- **Publicidad:** Una de las últimas aplicaciones de la Realidad Aumentada, y que posee mayor previsión de futuro junto al ocio electrónico, es en publicidad y marketing. Hay diferentes campañas que utilizan este recurso para llamar la atención del usuario (Figura 3.10).

Empresas automovilísticas han comenzado a lanzar campañas en las que los usuarios pueden visualizar, mediante Realidad Aumentada, el aspecto visual de los diferentes modelos que produce la compañía (Figura 3.21). Fiat ha lanzado una cam-



Figura 3.21: Campaña de publicidad de compañía automovilística para mostrar sus productos a posibles compradores. Fuente: MINI

paña en la que cualquier usuario puede crear su propio anuncio de televisión con el Fiat 500 como protagonista a través de la página web, el usuario solo necesita tener una webcam.

Capítulo 4

Técnicas y Herramientas utilizadas

Entre todas las posibilidades expuestas anteriormente, se realizó un estudio con el fin de seleccionar aquellas que más se ajustasen a las necesidades requeridas para el desarrollo de la aplicación planteada. Utilizando la clasificación mostrada en la sección anterior, para la selección de las tecnologías se tuvieron en cuenta tanto opciones hardware, como software.

Entre las opciones hardware, se comprobó que la aplicación tenía buena respuesta en equipos actuales, con más de 1GB de memoria RAM y un procesador de un único núcleo, aunque la elección de procesadores más rápidos es altamente aconsejable para el caso en que se requiera el uso de dispositivos HMD.

En cuanto a dispositivos de salida, se hicieron pruebas con una amplia gama de posibilidades, resultando satisfactorio el funcionamiento con todos ellos. Entre los dispositivos empleados se encuentran monitores convencionales, proyectores y Head-Mounted Displays. Como dispositivo de captura de imágenes se puede utilizar cualquier cámara USB o las cámaras integradas en monitores y portátiles.

Por otro lado, entre la multitud de software disponible, es preciso atender a ciertos aspectos a la hora de diseñar una aplicación: el entorno de desarrollo y la plataforma de desarrollo.

4.1. Software

En este apartado se detalla el software seleccionado para realizar la aplicación. Lo principal, antes de seleccionar librerías, es conocer el entorno de desarrollo que se va a utilizar. Esta decisión viene marcada por el Sistema Operativo que se vaya a utilizar. Se indicó que la tecnología sobre la que funcionaría la aplicación se trataba de .NET [Micb], por lo que se decidió que la aplicación se desarrollaría empleando la misma tecnología. Por ello, Microsoft Visual Studio 2008 [Mic08] y C# [Mica] fueron elegidos como entorno de desarrollo y lenguaje de programación, respectivamente.

Una vez seleccionado el entorno de trabajo, y basándonos en la elección realizada, se

seleccionó una plataforma de trabajo que simplificase la tarea de crear videojuegos. Para ello se recurrió a Goblin XNA 3.5 [OF11], plataforma basada en XNA Game Studio 3.1 [Micc]. Los elementos restantes son el motor físico y la librería de Realidad Aumentada. Goblin XNA soporta dos librerías de físicas: Havoc Physics [OFa] y Newton Game Dynamics SDK [OFb]. Por su carácter de libre distribución, se seleccionó la librería Newton Game Dynamics. En cuanto a la librería de Realidad Aumentada, las opciones que ofrece Goblin XNA son ARTag [CF08] y ALVAR [Cen12]. La motivación para seleccionar Alvar fue la misma que para el motor de físicas; con todos los ingredientes seleccionados se puede comenzar el desarrollo.

4.1.1. Configuración y uso de GoblinXNA

Los pasos necesarios para preparar el entorno de trabajo son los siguientes:

1. Descargar e instalar Goblin XNA v3.5 desde la web oficial.
2. Descargar e instalar Microsoft Visual Studio 2008.
3. Descargar e instalar XNA Game Studio 3.1.
4. Descargar e instalar Newton Game Dynamics SDK 1.53.
5. Descargar e instalar ALVAR tracking library y OpenCV 1.0.
6. Tras haber instalado todos los programas y haber seleccionado las librerías necesarias de cada uno de ellos, es necesario hacer una compilación de Goblin XNA para que se generen las librerías con las que se podrá crear las aplicaciones.

Una vez el entorno esta configurado y listo para comenzar, es necesario indicar a Visual Studio la plantilla que se quiere utilizar. De esta forma, el programa configura todas las librerías necesarias para un funcionamiento básico. Para ello, a la hora de seleccionar un nuevo proyecto, seleccionamos el lenguaje “XNA Game Studio 3.1” bajo C#, y “Windows Game (3.1)” como plantilla. con esto, conseguiremos un proyecto con los archivos y funciones necesarios para una ejecución básica (Figura 4.1).

A continuación se muestra el código generado al crear el proyecto. Más adelante se explicarán sus métodos.

Código 4.1: Estructura básica de la clase principal en GoblinXNA.

```
1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Linq;
4 using Microsoft.Xna.Framework;
5 using Microsoft.Xna.Framework.Audio;
6 using Microsoft.Xna.Framework.Content;
7 using Microsoft.Xna.Framework.GamerServices;
```

```
8 using Microsoft.Xna.Framework.Graphics;
9 using Microsoft.Xna.Framework.Input;
10 using Microsoft.Xna.Framework.Media;
11 using Microsoft.Xna.Framework.Net;
12 using Microsoft.Xna.Framework.Storage;
13
14 namespace WindowsGame1
15 {
16     public class Game1 : Microsoft.Xna.Framework.Game
17     {
18         GraphicsDeviceManager graphics;
19         SpriteBatch spriteBatch;
20
21         public Game1() {...}
22         protected override void Initialize() {...}
23         protected override void LoadContent() {...}
24         protected override void UnloadContent() {...}
25         protected override void Update(GameTime gameTime)
26             {...}
27         protected override void Draw(GameTime gameTime)
28             {...}
29     }
30 }
```

Para la generación de cualquier aplicación en XNA, es necesario implementar esos cinco métodos básicos. Además, se crean dos objetos: *GraphicsDeviceManager* y *SpriteBatch*. El primero, es la clase que permite a la aplicación interactuar y configurar el dispositivo gráfico. El segundo, es una clase utilizada para mostrar gráficos en 2D sobre la pantalla. Con ella, es posible mostrar puntuaciones y otra información que permanece en una posición constante independientemente de donde apunte la cámara.

El funcionamiento básico de cualquier videojuego interactivo, tanto en 2D como en 3D, consta de ciertos pasos que deben llevarse a cabo siempre. En primer lugar se declaran e inicializan todas las variables y parámetros que se van a utilizar durante el desarrollo de la aplicación. Una vez dado ese paso, el sistema entra en un bucle infinito en el que se actualizan las variables y se renderiza el nuevo estado. De este bucle es posible salir si se ha configurado alguna tecla o botón que realice la acción. En el algoritmo 1 se muestra de forma resumida el funcionamiento:

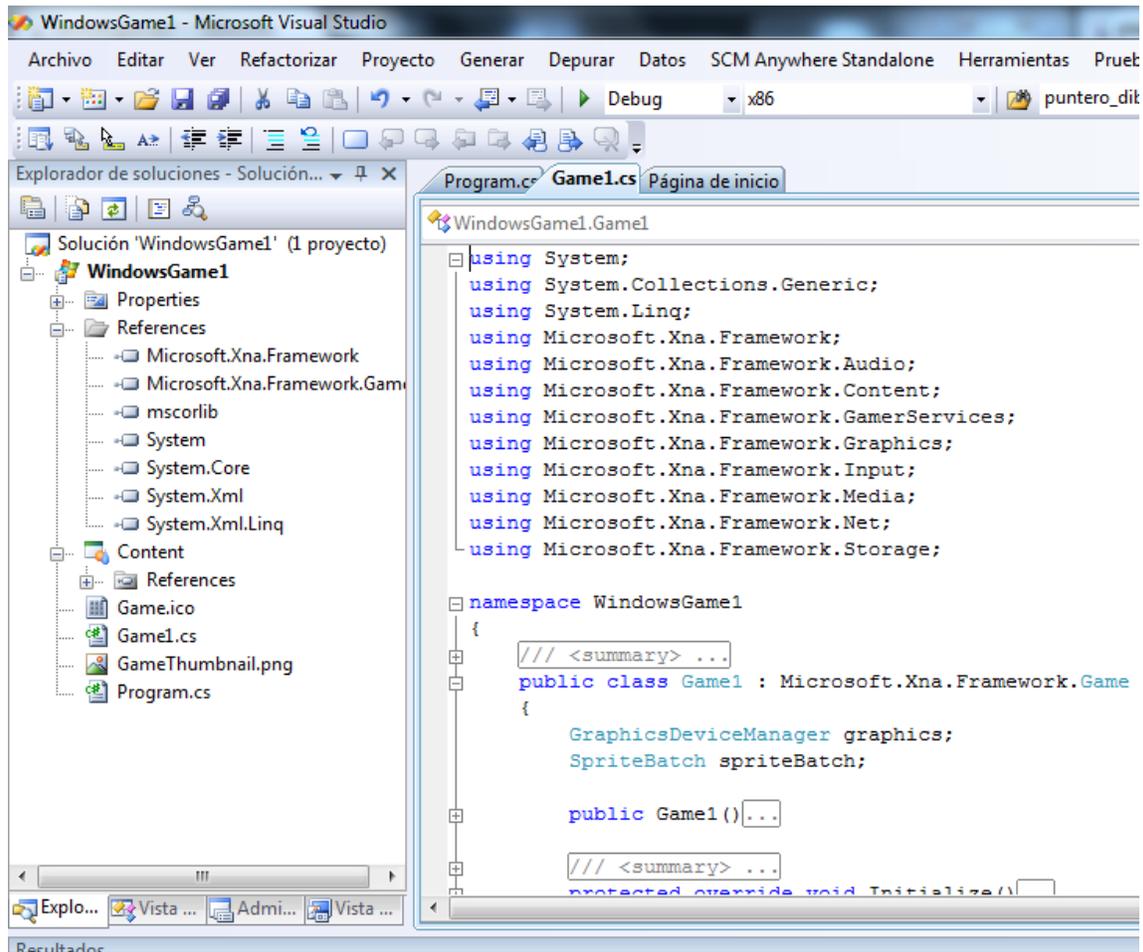


Figura 4.1: Muestra del entorno de trabajo tras generar un proyecto con la configuración apropiada.

```

Declaración de variables de clase y constructor;
Iniciación de variables: Initialize();
Cargar contenidos multimedia(modelos, audio, fuentes...): LoadContent();
while Ejecución del programa do
    Actualización de variables y parámetros: Update(GameTime gameTime);
    Renderizado de la escena: Draw(GameTime gameTime);
end
Descarga de contenidos multimedia: UnloadContent();
Finalizar aplicación;

```

Algoritmo 1: Pasos necesarios para la ejecución de aplicaciones en XNA.

El conjunto del código, al estar vacío, lo único que hace es generar la ventana que servirá para mostrar el juego a desarrollar (Figura 4.2).

Para poder crear entornos virtuales, es necesario comprender el funcionamiento de GoblinXNA y cómo trata los objetos generados. La arquitectura de una escena en GoblinXNA puede contener hasta diez tipos de nodos: Geometría, Transformación, Ilumi-

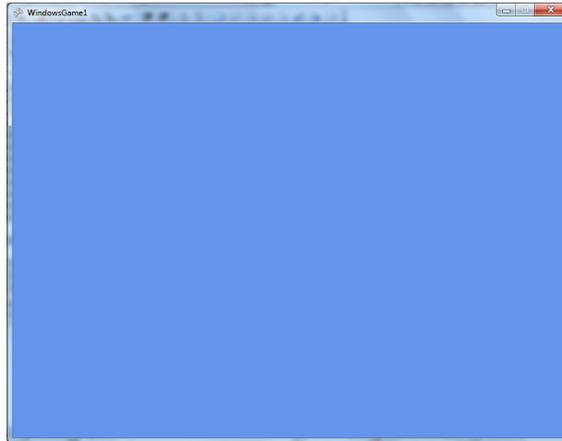


Figura 4.2: Ventana limpia creada por el proyecto nuevo generado.

nación, Cámara, Partículas, Marcador, Sonido, Conmutación, Nivel de Detalle (*Level of Detail, LOD*) y Tracker. Con ellos es posible reproducir entornos tridimensionales. La Figura 4.3 muestra un ejemplo de un árbol de nodos.

Como puede apreciarse en la Figura 4.3, existe la posibilidad de agregar hijos a los nodos. Sin embargo, únicamente es posible hacerlo con los nodos de geometría, transformación, conmutación, LOD, y Tracker. Cada nodo posee una determinada función junto a unas características, y todos ellos son hijos del objeto *scene*:

■ Geometría (Geometry):

Este nodo contiene la geometría de un modelo que será renderizado en la escena durante la etapa correspondiente. Existen dos formas de generar un modelo: importándolo en algún formato soportado (.x o .fbx) o utilizando figuras geométricas básicas como cubos, esferas, planos, conos, cilindros, toroides, entre otros. Además, es posible formar modelos combinados uniendo varias formas básicas. Para ello será necesario crear nodos hijos que contengan las geometrías necesarias junto a otros nodos que sean de interés.

Entre las propiedades más importantes de este nodo se encuentran:

- Propiedades de material, como puede ser color, brillo, textura u opacidad, entre otros.
- Propiedades físicas, como son la forma, la masa o momento de inercia, entre otros.

■ Transformación (Transform):

Este nodo es el encargado de realizar sobre el nodo que se encuentra acciones de traslación, rotación y escalado, por medio de la matriz de transformación. Observando la Figura 4.4, es interesante comentar que cambios en el nodo Transform1, afectan a Geometry1 y Geometry2. Sin embargo, si se efectúan cambios en Transform2, solo afectarían a Geometry2. Es más, dichos cambios se realizarían a partir de la matriz de transformación Transform1, no sobre la matriz de transformación

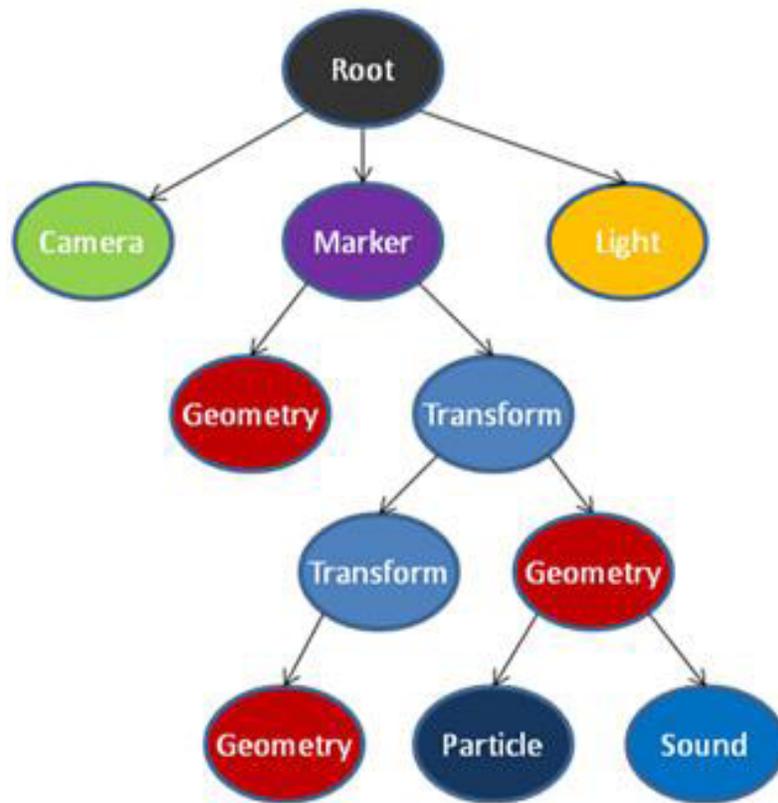


Figura 4.3: Arquitectura de escena en GoblinXNA.

de toda la escena, por lo que otros nodos que sean hijos de Transform1 no se verán afectados. Este efecto jerárquico se aplica a todos los demás tipos de nodos.

■ Iluminación (Light):

Este nodo contiene diferentes tipos de fuentes de iluminación que afectan a los elementos de la escena. Cada tipo de iluminación afecta de forma diferente, al igual que lo hace la iluminación en el mundo real. Sin embargo, hay dos tipos de iluminación que afectan siempre por igual: la luz difusa, y la luz especular.

Las propiedades del nodo de luz dependen directamente del tipo de iluminación que se utilice. La luz direccional posee dirección, pero no posición. El punto de luz, en cambio, posee una posición, pero la dirección ya no es única, si no que se distribuye de forma esférica. Finalmente, la luz focal posee tanto una dirección como una posición. Ejemplos de estos tipos de iluminación serían el Sol, una bombilla y un foco, respectivamente. Al igual que se explicó con los nodos de transformación, dependiendo de donde se sitúen los nodos en el árbol de jerarquía, una luz puede afectar a ciertos objetos, pero no a otros. Por ello, es preciso tener cuidado a la hora de formar la jerarquía.

■ Cámara (Camera):

El nodo Camera es lo que va a simular nuestro punto de vista dentro de la escena.

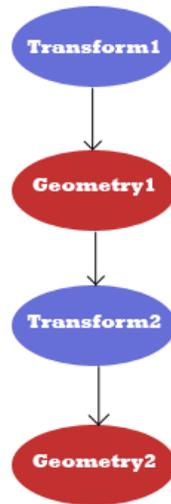


Figura 4.4: Ejemplo de árbol para dos geometrías.

Define la posición y la profundidad de campo. Esta profundidad de campo, o espacio de visibilidad en la escena, está definido por los parámetros visibles en la Figura 4.5. Durante el renderizado, solo se mostrarán los elementos que estén situados entre el *Near Clipping Plane* y el *Far Clipping Plane* (Figura 4.5).

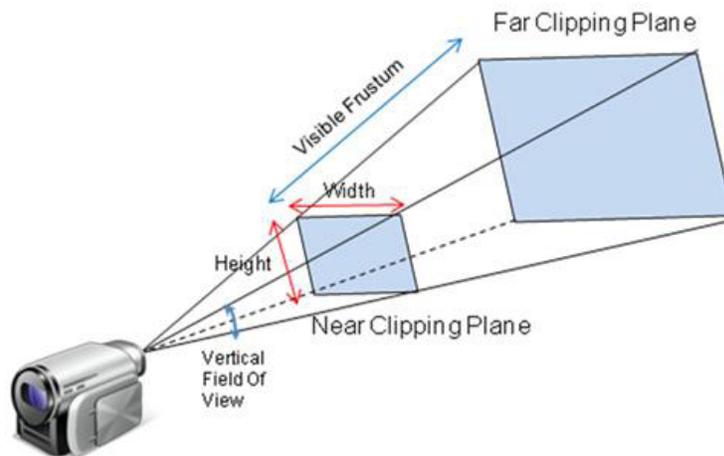


Figura 4.5: Parámetros del nodo Cámara.

■ Partículas (Particle):

Este nodo es el encargado de reproducir todas aquellas animaciones con efectos de partículas como pueden ser el humo, fuego, explosiones, etc.

Todo nodo de partículas posee propiedades como la textura, la duración de la animación antes de que ésta desaparezca, tamaño inicial y final, así como las velocidades verticales y horizontales en las que el efecto se produce.

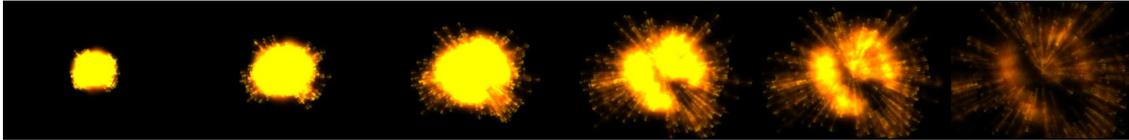


Figura 4.6: Efecto de partículas.

- **Marcador (Marker):**

El nodo Marker modifica las transformaciones de sus nodos hijo. Actúa de forma similar al nodo Transform. Sin embargo, la modificación se hace en base a una matriz de posición de seis grados de libertad (*six-degrees-of-freedom, 6DOF*) representada por un marcador o un array de marcadores. La imagen de vídeo se procesa interactivamente con los algoritmos de visión por ordenador de la librería de Realidad Aumentada (ALVAR) y se obtiene la posición y orientación del marcador detectado respecto a la cámara. De esta forma es posible calcular la matriz de transformación del marcador.

Antes de utilizar este nodo, es necesario inicializar el rastreo del marcador (Tracker), y la cámara que se vaya a utilizar. En este punto es donde conviene realizar alguna clase de filtrado para evitar fluctuaciones bruscas en la posición y orientación del marcador (ver sección: Optimización de Resultados: Filtro de Kalman).

- **Sonido (Sound):**

Este nodo contiene información de la fuente de sonido 3D. Entre sus parámetros se encuentran posición, velocidad y vectores de dirección delantera y superior.

- **Tracker:**

El funcionamiento de este nodo es muy similar al del nodo Marker. Tras especificar el ID del dispositivo que utiliza acelerómetros o giroscopios, la transformación del mundo y cualquier nodo hijo de éste, es automáticamente actualizada de acuerdo al movimiento capturado por el dispositivo.

Una vez visto el funcionamiento de GoblinXNA, el siguiente paso es realizar la integración con la librería de Realidad Aumentada (ALVAR).

4.1.2. Integración de ALVAR con Goblin XNA

Para realizar la integración, además de enlazar las librerías necesarias (ALVAR, OpenCV y Newton) en el directorio adecuado, es preciso inicializar las clases y crear los nodos vistos en el apartado anterior. El siguiente extracto de código muestra el orden seguido para realizar esta tarea.

Código 4.2: Método *Initialize()* en GoblinXNA.

```

1 protected override void Initialize()
2     {
3         State.InitGoblin(graphics, Content, "");

```

```

4         graphics.PreferredBackBufferHeight =
           Screen.PrimaryScreen.WorkingArea.Height;
5         graphics.PreferredBackBufferWidth =
           Screen.PrimaryScreen.WorkingArea.Width;
6         graphics.ApplyChanges();
7
8         scene = new Scene(this);
9         scene.PhysicsEngine = new NewtonPhysics();
10        scene.PhysicsEngine.Gravity = 90;
11        {...}
12        CreateLights();
13        SetupMarkerTracking();
14        groundMarkerNode = new
           MarkerNode(scene.MarkerTracker,
           Game1.rutaRelativa +
           @"ALVARGroundArray.xml");
15        scene.RootNode.AddChild(groundMarkerNode);
16        {...}
17        base.Initialize();
18    }

```

En la primera parte del código (líneas 3 a 6), se inicializa la ventana donde se mostrará la aplicación. Además, se especifica que la resolución de ésta sea del mismo tamaño que la pantalla en la que se está realizando la visualización.

La siguiente parte (líneas 8 a 10), sirve para crear el objeto de la escena e inicializar el motor físico de la aplicación. Además, se asigna el valor de la gravedad al mundo virtual. En la última parte del código mostrado (líneas 12 a 15), se crean los nodos básicos de luces, cámara, marker y tracker:

- *CreateLights()*: Este método sirve para crear una iluminación direccional, asignándole una dirección y un color de difusión y especular, asignarle a un nodo de tipo *Light*, y ponerlo como hijo del nodo raíz.

Código 4.3: Método *CreateLights()* utilizado.

```

private void CreateLights()
{
    // Create a directional light source
    LightSource lightSource = new
        LightSource();
    lightSource.Direction = new Vector3(1, -1,
        -1);
    lightSource.Diffuse =
        Color.White.ToVector4();
    lightSource.Specular = new Vector4(0.6f,
        0.6f, 0.6f, 1);
}

```

```

// Create a light node to hold the light
source
LightNode lightNode = new LightNode();
lightNode.LightSource = lightSource;

// Add this light node to the root node
scene.RootNode.AddChild(lightNode);
}

```

- SetupMarkerTraking():** En este método se crea y configura un nuevo objeto que sirve como controlador de la cámara con la que se recogerá la secuencia de vídeo. Posteriormente, se crea y configura el objeto de tipo ALVAR para realizar el tracking de los marcadores. Una vez creado el objeto, se inicializa el tracking indicando parámetros de la cámara y el archivo de calibración para resolver distorsiones producidas por la lente de la misma. Finalmente se asigna el objeto al nodo MarkerTraker de la escena y se indica que se muestren las imágenes de la cámara en el fondo para producir la Realidad Aumentada.

Código 4.4: Método *SetupMarkerTracking*

```

private void SetupMarkerTracking()
{
    DirectShowCapture captureDevice = new
        DirectShowCapture();
    captureDevice.InitVideoCapture(0,
        FrameRate._30Hz, Resolution._640x480,
        ImageFormat.R8G8B8_24, false);
    scene.AddVideoCaptureDevice(captureDevice);
    IMarkerTracker tracker = new
        ALVARMarkerTracker();
    ((ALVARMarkerTracker)tracker).MaxMarkerError
        = 0.02f;
    tracker.InitTracker(captureDevice.Width,
        captureDevice.Height,
        Game1.rutaRelativa + @"calib.xml", 9.0);
    scene.MarkerTracker = tracker;
    scene.ShowCameraImage = true;
}

```

- MarkerNode():** Para terminar con el método de inicialización, las siguientes líneas sirven para crear y configurar el nodo Marker y añadirlo al árbol de nodos. Para configurar el nodo, se especifica el objeto MarkerTraker creado en el paso anterior, además de proporcionar el archivo de configuración del tablero. Este archivo de configuración guarda las posiciones y tamaños de los marcadores en el array que se utilizará (Figura 5.2).

Código 4.5: Sentencias necesarias para configurar el Tracker.

```
groundMarkerNode = new MarkerNode(scene.MarkerTracker,  
    Game1.rutaRelativa + @"ALVARGroundArray.xml");  
scene.RootNode.AddChild(groundMarkerNode);
```

Lo mostrado en esta sección es la base para generar cualquier aplicación de Realidad Aumentada con las herramientas mostradas. Sin embargo, para que la aplicación sea más robusta frente a vibraciones no deseadas de las posiciones y orientaciones recogidas durante el tracking, es conveniente aplicar algún tipo de filtrado que suavice estas fluctuaciones.

4.2. Optimización de resultados: Filtro de Kalman

El filtro de Kalman [Kal60] es utilizado para estimar un sistema lineal cuyo modelo no es completamente conocido y que además posee un cierto nivel de ruido. Con este filtro es posible estimar la medición del estado del sistema a partir de la información incompleta del modelo. La variante del filtro de Kalman que linealiza en torno a la media y a la covarianza actual se conoce como Filtro de Kalman Extendido (*Extended Kalman Filter, EKF*).

El filtro de Kalman ha sido objeto de un gran número de investigaciones y aplicaciones en multitud de áreas como la navegación marítima, la instrumentación en centrales nucleares o la visión artificial [LSCN04].

El filtro de Kalman extendido desacoplado [PF91] [Hay99] se basa en el filtro de Kalman extendido para considerar el entrenamiento como un problema de filtrado óptimo en el que se encuentra, recursivamente, una solución al problema de los mínimos cuadrados. Es decir, se busca la curva que mejor aproxima un conjunto de datos de manera que se minimice la distancia media entre los datos y la curva. En el proceso original de mínimos cuadrados, es necesario utilizar toda la información suministrada hasta el instante actual, incluidas todas las derivadas calculadas desde la primera iteración del proceso. Sin embargo, con esta variante del filtro de Kalman funciona de tal modo que solo es necesario almacenar explícitamente los resultados de la última iteración, de modo que la carga computacional en cada iteración es la misma, contrariamente a lo que ocurre con el cálculo de mínimos cuadrados clásico, donde en cada iteración se añaden los nuevos valores, aumentando así la cantidad de procesamiento.

El filtro de Kalman

El filtro de Kalman [Kal60] intenta estimar el estado $w[t] \in \mathbb{R}^n$ de un sistema dinámico lineal de tiempo discreto que está gobernado por la siguiente ecuación:

$$w[t + 1] = Aw[t] + Bu[t] + \omega[t] \quad (4.1)$$

Siendo $\mathbf{u}[t]$ la entrada del sistema, con una medida $\mathbf{d}[t] \in \mathbb{R}^m$ de la forma:

$$\mathbf{d}[t + 1] = H\mathbf{w}[t] + \mathbf{v}[t] \quad (4.2)$$

Donde A , B y H son conocidas. Las variables aleatorias $\boldsymbol{\omega}[t]$ y $\mathbf{v}[t]$ representan el ruido del proceso y de la medición, respectivamente. Se asume que se trata de ruido blanco de media cero y con matrices de covarianza diagonales $Q[t]$ y $R[t]$:

$$\langle \boldsymbol{\omega}[t]\boldsymbol{\omega}^T[t] \rangle = Q[t] \quad (4.3)$$

$$\langle \mathbf{v}[t]\mathbf{v}^T[t] \rangle = R[t] \quad (4.4)$$

En cada paso, el filtro proyecta la estimación del estado actual y de la covarianza actual hacia adelante en el tiempo. De esta forma se obtiene una estimación a priori para el siguiente paso. Después, utiliza los resultados de la medición real para mejorar esta estimación y obtener una estimación a posteriori. A este proceso se le puede ver como un ciclo de predicción y corrección.

Sea $\hat{\mathbf{w}}^- [t]$ la estimación a priori del estado en el instante t , a partir del conocimiento anterior al paso t :

$$\hat{\mathbf{w}}^- [t] = A\hat{\mathbf{w}}[t - 1] + B\mathbf{u}[t - 1] \quad (4.5)$$

La estimación a posteriori del estado, $\hat{\mathbf{w}}[t]$, se obtiene como una combinación lineal de la estimación a priori $\hat{\mathbf{w}}^- [t]$ y la diferencia ponderada entre la medición real $\mathbf{d}[t]$ y una predicción de la medida $H\hat{\mathbf{w}}^- [t]$:

$$\hat{\mathbf{w}}[t] = \hat{\mathbf{w}}^- [t] + K[t](\mathbf{d}[t] - H\hat{\mathbf{w}}^- [t]) \quad (4.6)$$

La expresión $(\mathbf{d}[t] - H\hat{\mathbf{w}}^- [t])$ se denomina residuo o innovación de la medida y refleja la discrepancia entre la medición predicha y la real.

Consideremos ahora los errores de la estimación a priori y de la estimación a posteriori:

$$\mathbf{e}^- [t] = \mathbf{w}[t] - \hat{\mathbf{w}}^- [t] \quad (4.7)$$

$$\mathbf{e}[t] = \mathbf{w}[t] - \hat{\mathbf{w}}[t] \quad (4.8)$$

La covarianza a priori del error de estimación es:

$$\langle e^{-}[t](e^{-}[t])^T \rangle = P^{-}[t] \quad (4.9)$$

Y a posteriori:

$$\langle e[t](e[t])^T \rangle = P[t] \quad (4.10)$$

La matriz de ganancia K se elige de manera que se minimice la covarianza del error a posteriori (4.10). Una posibilidad es:

$$K[t] = P^{-}[t]H^T(H P^{-}[t]H^T + R[t])^{-1} \quad (4.11)$$

Debido al ruido, la covarianza del error a priori y a posteriori de la ecuación (4.5) se calcula, respectivamente, de la siguiente forma:

$$P^{-}[t] = AP[t-1]A^T + Q[t] \quad (4.12)$$

$$P[t] = (I - K[t]H)P^{-}[t] \quad (4.13)$$

Un ciclo del algoritmo consiste en evaluar las ecuaciones (4.5), (4.12), (4.11), (4.6) y (4.13). La naturaleza recursiva del filtro hace que la estimación del estado del sistema esté en función de todas las mediciones del pasado pero sin tenerlas que considerar explícitamente. En el algoritmo 2 se muestran, de forma resumida, los pasos para realizar un filtrado de Kalman.

Result: Estado posterior a partir de un estado previo.
while *filtrado está activo* **do**
 Cálculo de la estimación a priori (4.5);
 Cálculo de la covarianza del error a priori (4.12);
 Cálculo de la matriz de ganancia (4.11);
 Cálculo de la estimación a posteriori (4.6);
 Cálculo de la covarianza del error a posteriori (4.13);
end

Algoritmo 2: Pasos necesarios para realizar el filtrado de Kalman sobre una señal.

El rendimiento del filtro puede mejorarse mediante el control de las matrices $Q[t]$ y $R[t]$. Estas matrices pueden fijarse antes del funcionamiento del filtro o pueden ir cambiándose dinámicamente. Así, $R[t]$ tendrá que ser ajustada en función de nuestra confianza en el mecanismo responsable de la medición. Por otra parte, con $Q[t]$ se puede modelizar nuestra incertidumbre en el modelo (4.1); a veces, un modelo aproximado o incluso alejado del real puede ser útil si se introduce suficiente ruido en la matriz $Q[t]$.

La última versión de ALVAR [Cen12] con la que se ha trabajado, versión 2.0, se distribuye de forma libre junto a las funciones que componen la librería, otras que realizan

el filtrado de Kalman. Resulta intuitivo y sencillo el uso de estas funciones, permitiendo la modificación de las matrices $Q[t]$ y $R[t]$. A continuación se muestra la función que permite configurar los parámetros del filtro y su ejecución (Figura 4.7).

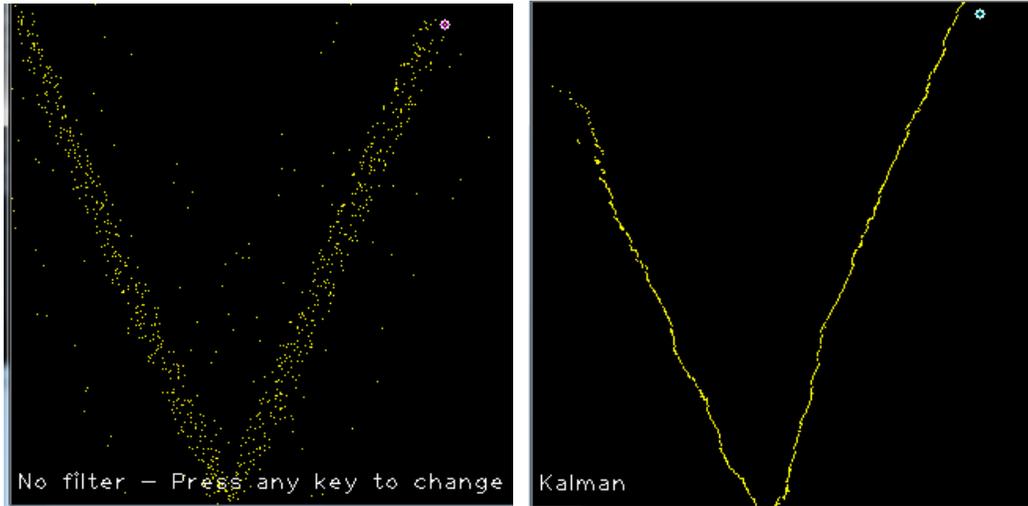
Código 4.6: Código proporcionado por ALVAR para realizar filtrado de Kalman.

```
void filter_kalman(double x, double y, double *fx, double
*fy) {
    static bool init=true;
    static KalmanSensor sensor(4,2);
    static Kalman kalman(4); // x, y, dx, dy
    if (init) {

        init = false;
        // H
        cvZero(sensor.H);
        cvmSet(sensor.H, 0, 0, 1);
        cvmSet(sensor.H, 1, 1, 1);
        // R
        cvSetIdentity(sensor.R, cvScalar(10));
        // F
        cvSetIdentity(kalman.F);
        cvmSet(kalman.F, 0, 2, 1);
        cvmSet(kalman.F, 1, 3, 1);
        // Q
        cvmSet(kalman.Q, 0, 0, 0.0001);
        cvmSet(kalman.Q, 1, 1, 0.0001);
        cvmSet(kalman.Q, 2, 2, 0.000001);
        cvmSet(kalman.Q, 3, 3, 0.000001);
        // P
        cvSetIdentity(kalman.P, cvScalar(100));
    }
    cvmSet(sensor.z, 0, 0, x);
    cvmSet(sensor.z, 1, 0, y);
    kalman.predict_update(&sensor, GetTickCount());
    *fx = cvmGet(kalman.x, 0, 0);
    *fy = cvmGet(kalman.x, 1, 0);
}
```

Filtro de Kalman Extendido

Normalmente, el proceso a estimar o la ecuación de medición son no lineales. Por este motivo, debe hacerse una aproximación a este caso. El filtro de Kalman extendido (*Extended Kalman Filter, EKF*) es una adaptación del filtro de Kalman que permite trabajar sobre sistemas no lineales. Esta variante linealiza en torno a la media y a la covarianza



(a) Señal sin filtrar

(b) Señal filtrada usando el filtro de Kalman

Figura 4.7: Muestra de señal sin filtrar comparada con la señal filtrada con el filtro de Kalman.

actual.

En este caso, en vez de encontrarnos las matrices A , B y H , tenemos las funciones $\mathbf{f}(\mathbf{w}[t], \mathbf{u}[t])$ y $\mathbf{h}(\mathbf{w}[t])$ que entregan la transición de estado y la observación, respectivamente. Apartir de estas funciones, el vector de estado $\mathbf{w}[t] \in \mathbb{R}^n$ que se pretende estimar tiene el siguiente aspecto:

$$\mathbf{w}[t + 1] = \mathbf{f}(\mathbf{w}[t], \mathbf{u}[t]) + \boldsymbol{\omega}[t] \quad (4.14)$$

Con una medida $\mathbf{d}[t] \in \mathbb{R}^m$ de la forma:

$$\mathbf{d}[t] = \mathbf{h}(\mathbf{w}[t]) + \mathbf{v}[t] \quad (4.15)$$

donde las variables aleatorias $\boldsymbol{\omega}[t]$ y $\mathbf{v}[t]$ representan, como antes, el ruido de media cero del proceso y de la medida, respectivamente (con matrices de covarianza $Q[t]$ y $R[t]$). Las funciones \mathbf{f} y \mathbf{h} son funciones no lineales que relacionan el estado en el instante t con el estado en el instante $t + 1$ y con la medición $\mathbf{d}[t]$, respectivamente.

Mediante la linealización de las ecuaciones de estado y de medición se llega a una serie de ecuaciones equivalentes a las del caso lineal [WB02]. Así, la estimación a priori del estado (4.5) se aproxima ahora haciendo:

$$\hat{\mathbf{w}}^-[t] = \mathbf{f}(\hat{\mathbf{w}}[t - 1], \mathbf{u}[t - 1]) \quad (4.16)$$

y la covarianza del error a priori (4.12) se calcula con

$$P^- [t] = A[t - 1]P[t - 1](A[t - 1])^T + W[t - 1]Q[t - 1](W[t - 1])^T \quad (4.17)$$

Donde A y W son matrices nuevas. La matriz A se define como la matriz jacobiana de f respecto al estado:

$$A[t] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial w_1}[t] & \frac{\partial f_1}{\partial w_2}[t] & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial w_n}[t] \\ \frac{\partial f_2}{\partial w_1}[t] & \frac{\partial f_2}{\partial w_2}[t] & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial w_n}[t] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial w_1}[t] & \frac{\partial f_n}{\partial w_2}[t] & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial w_n}[t] \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

Por otra parte, W es la matriz de derivadas parciales de f respecto al ruido ω :

$$W[t] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \omega_1}[t] & \frac{\partial f_1}{\partial \omega_2}[t] & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial \omega_n}[t] \\ \frac{\partial f_2}{\partial \omega_1}[t] & \frac{\partial f_2}{\partial \omega_2}[t] & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial \omega_n}[t] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial \omega_1}[t] & \frac{\partial f_n}{\partial \omega_2}[t] & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial \omega_n}[t] \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

En esta ocasión, la matriz de ganancia que ya se vio en (4.11) se obtiene para el EKF de la siguiente forma:

$$K[t] = P^- [t](H[t])^T (H[t]P^- [t](H[t])^T + V[t]R[t](V[t])^T)^{-1} \quad (4.20)$$

Siendo H el jacobiano de las derivadas parciales de \mathbf{h} respecto al estado:

$$H[t] = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial w_1}[t] & \frac{\partial h_1}{\partial w_2}[t] & \cdots & \frac{\partial h_1}{\partial w_n}[t] \\ \frac{\partial h_2}{\partial w_1}[t] & \frac{\partial h_2}{\partial w_2}[t] & \cdots & \frac{\partial h_2}{\partial w_n}[t] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial h_m}{\partial w_1}[t] & \frac{\partial h_m}{\partial w_2}[t] & \cdots & \frac{\partial h_m}{\partial w_n}[t] \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

Y V la matriz de derivadas parciales de \mathbf{f} respecto a \mathbf{v} :

$$V[t] = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial v_1}[t] & \frac{\partial h_1}{\partial v_2}[t] & \cdots & \frac{\partial h_1}{\partial v_m}[t] \\ \frac{\partial h_2}{\partial v_1}[t] & \frac{\partial h_2}{\partial v_2}[t] & \cdots & \frac{\partial h_2}{\partial v_m}[t] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial h_m}{\partial v_1}[t] & \frac{\partial h_m}{\partial v_2}[t] & \cdots & \frac{\partial h_m}{\partial v_m}[t] \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

La predicción a posteriori, al igual que en (4.6), emplea K con el fin de ponderar la diferencia entre la medición real y una predicción de la medida:

$$\hat{\mathbf{w}}[t] = \hat{\mathbf{w}}^-[t] + K[t](\mathbf{d}[t] - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{w}}^-[t])) \quad (4.23)$$

Finalmente, la covarianza del error tiene una forma similar a la del caso lineal visto en (4.13), aunque debe tenerse en cuenta que ahora $H[t]$ se calcula de manera diferente al caso lineal:

$$P[t] = (I - K[t]H[t])P^-[t] \quad (4.24)$$

Los pasos básicos para realizar el filtrado con el EKF se puede resumir de la siguiente forma: En primer lugar, se proyectan las estimaciones del estado y de la covarianza del error del instante t al $t + 1$ haciendo uso de las ecuaciones (4.16) y (4.17). Después, se utilizan estas estimaciones a priori para obtener otras corregidas por considerar $\mathbf{d}[t]$. Las ecuaciones (4.20), (4.23) y (4.24), por este orden, nos dan las estimaciones a posteriori del estado y de la covarianza del error. Al igual que ocurría en el filtro de Kalman, $R[t]$ y $Q[t]$ son parámetros ajustables del algoritmo.

```

Result: Estado posterior a partir de un estado previo.
while filtrado está activo do
    Cálculo de la estimación a priori (4.16);
    Cálculo de la covarianza del error a priori (4.17);
    Cálculo de la matriz de ganancia (4.20);
    Cálculo de la estimación a posteriori (4.23);
    Cálculo de la covarianza del error a posteriori (4.24);
end

```

Algoritmo 3: Pasos necesarios para realizar el filtrado de extendido de Kalman sobre una señal.

De la misma forma que ocurría en el caso anterior, ALVAR [Cen12] proporciona funciones que permiten realizar este filtrado sobre señales. Sin embargo, para poder utilizar el filtro con señales de tres dimensiones, se modificó ligeramente el filtro proporcionado, añadiendo la capacidad de procesar tres señales al mismo tiempo para poder hacer un filtrado de las coordenadas capturadas por la propia librería. A continuación puede verse el código utilizado para llevar a cabo este filtrado.

Código 4.7: Código proporcionado por ALVAR para realizar filtrado de Kalman extendido.

```

void filter_ekf(double x, double y, double z, double *fx,
double *fy, double *fz) {
    static bool init=true;
    static KalmanSensorOwn sensor(6,3);
    static KalmanOwn kalman(6); // x, y, z, dx, dy, dz
    if (init) {
        init = false;
        // R
        cvSetIdentity(sensor.R, cvScalar(100));
        // Q
        cvmSet(kalman.Q, 0, 0, 0.001);
        cvmSet(kalman.Q, 1, 1, 0.001);
        cvmSet(kalman.Q, 2, 2, 0.001);
        cvmSet(kalman.Q, 3, 3, 0.01);
        cvmSet(kalman.Q, 4, 4, 0.01);
        cvmSet(kalman.Q, 5, 5, 0.01);
        // P
        cvSetIdentity(kalman.P, cvScalar(100));
    }
    cvmSet(sensor.z, 0, 0, x);
    cvmSet(sensor.z, 1, 0, y);
    cvmSet(sensor.z, 2, 0, z);
    kalman.predict_update(&sensor, GetTickCount());
    *fx = cvmGet(kalman.x, 0, 0);
    *fy = cvmGet(kalman.x, 1, 0);
    *fz = cvmGet(kalman.x, 2, 0);
}

```

}

De esta forma, los movimientos de los elementos virtuales ante cambios de perspectiva inesperados se realizan de manera suave sin que el usuario se percate de transiciones bruscas entre diferentes renderizados de la escena. El resultado de aplicar el filtro sobre dos señales puede verse en la Figura 4.8, donde se aprecia la diferencia de no usar ningún filtro a usarlo.

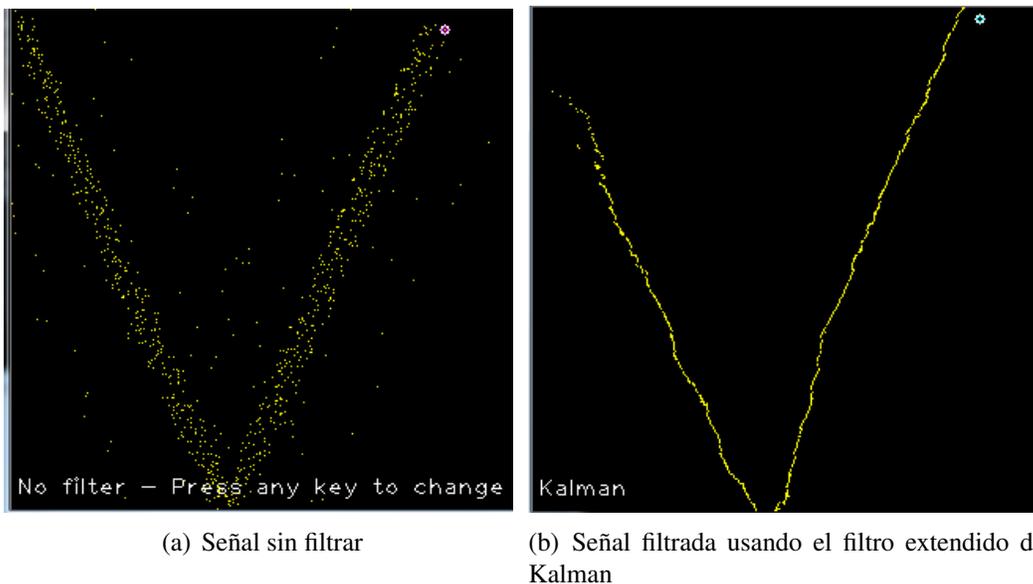


Figura 4.8: Muestra de señal sin filtrar comparándolo con la señal filtrada con el filtro extendido de Kalman.

Además, si comparamos el funcionamiento de los dos filtros, se observa cómo en el caso de utilizar el filtro extendido de Kalman (Figura 4.9(b)), la señal alcanza la convergencia con mayor rapidez que en el caso de utilizar el filtro de Kalman (Figura 4.9(a)).

4.3. Hardware

Como ya se mencionó anteriormente, los diferentes dispositivos analizados para el funcionamiento de la aplicación desarrollada son:

- Monitores de mesa: Como pueden ser pantallas integradas de portátil, monitores en 2D y 3D, y televisores de alta gama 2D/3D (Figura 4.10).
- Proyector: Se realizaron pruebas del mismo modo con proyección en 2D y 3D (Figura 4.11).
- Head-Mounted Displays: Tras comprobar el buen funcionamiento de estos dispositivos, se optó por su selección. No obstante, es posible la ejecución de la aplicación

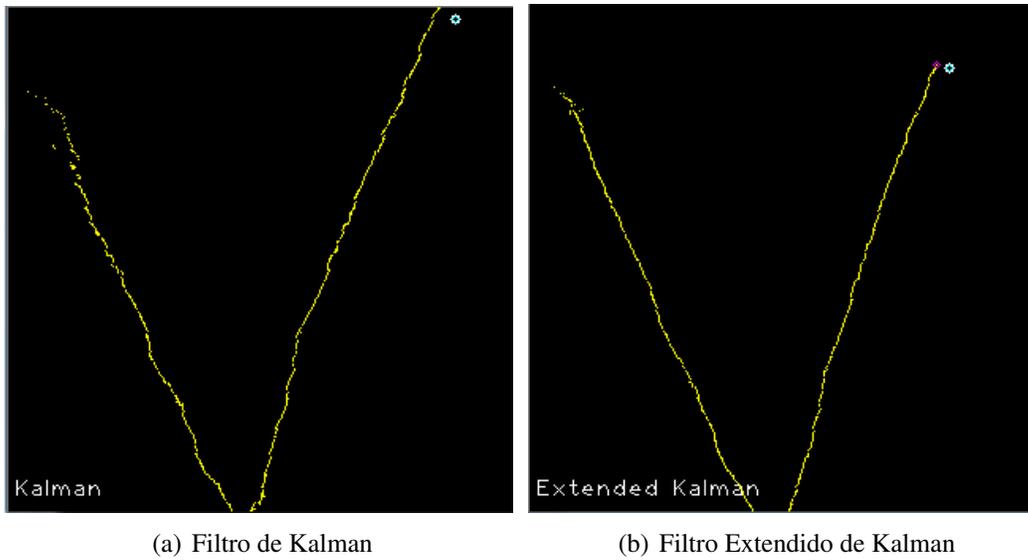


Figura 4.9: Comparación de Filtro de Kalman frente al Filtro Extendido de Kalman.



Figura 4.10: Aplicación ejecutándose en televisor.

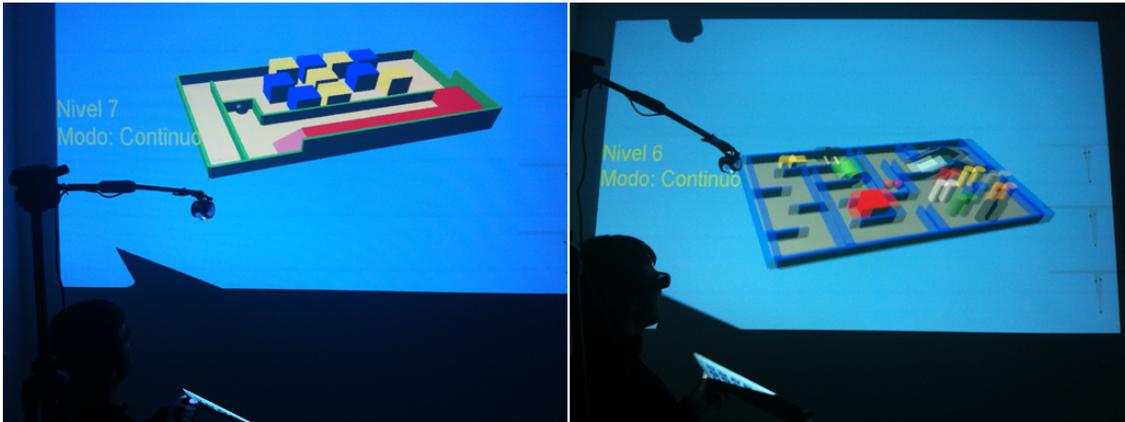


Figura 4.11: Aplicación ejecutándose en proyector.

en otros formatos.

Debido a las tecnologías software seleccionadas y que más adelante se explicarán, las gafas de Realidad Aumentada que se utilizaron fueron las que distribuye la compañía Vuzix [Vuz97], que ya se mostraron anteriormente en las Figuras 3.12(b) y 3.12(c), y cuyo uso puede visualizarse en la Figura 4.12.



Figura 4.12: Uso de gafas de realidad aumentada Vuzix. La televisión muestra lo que está viendo el usuario.

Los dispositivos Vuzix están diseñados para su distribución comercial en el mercado del entretenimiento. El producto que brinda la opción de ser disfrutado con aplicaciones de Realidad Aumentada es el *Augmented Reality Eyewear*. Dicho dispositivo posee dos minipantallas LCD pensadas especialmente para poder visualizar contenidos estereográficos. Posee además una cámara doble con la que es posible registrar imágenes estereoscópicas, y encargada de capturar los marcadores que sirven para conocer los puntos en el espacio virtual donde deben colocarse los elementos.

Otra característica de este dispositivo es que integra acelerómetros, giroscopios y brújula digital, para que sea posible el desarrollo de prácticamente cualquier aplicación.

Capítulo 5

Sistema desarrollado y Pruebas

5.1. Sistema desarrollado

El sistema desarrollado ha sido bautizado como AMAZING System (Ar MAZe gamING) y está constituido siguiendo la siguiente arquitectura (Figura 5.1):

- Base de datos centralizada para guardar y cargar los niveles creados y los parámetros recogidos durante la prueba.
- Módulo de creación y edición de niveles.
- Módulo de ejecución de los niveles creados.
- Módulo de consulta de resultados una vez se han finalizado las pruebas.

La parte de edición está especialmente diseñada, desarrollada y destinada para que el terapeuta pueda crear pruebas de la manera mas intuitiva y sencilla posible. Estas pruebas están orientadas a evaluar e incrementar ciertas competencias o destrezas entre los pacientes. Los especialistas son capaces de evaluar el estado del paciente por medio de la resolución de laberintos de complejidad creciente y obstáculos dinámicos. El objetivo final es guiar una bola desde un origen hasta la meta propuesta superando determinados obstáculos.

El medio que ofrece la interacción del paciente con el sistema está formado por un tablero impreso con marcadores (Figura 5.2). En él, se dibujan en pantalla los elementos tridimensionales especificados mediante Realidad Aumentada. El sistema, para conseguir una eficiencia óptima, tiene que ser sensible a los desplazamientos y giros realizados por el usuario con el tablero en tiempo real. La respuesta física de los elementos virtuales del sistema puede llegar a ser muy compleja, teniendo en cuenta rozamientos e inercias de los objetos móviles. Por ello, se ofrece la posibilidad de alterar estos parámetros físicos para adaptar las pruebas a las habilidades del paciente.

El sistema, tras procesar las imágenes capturadas por medio de una cámara, obtiene los movimientos realizados y es capaz de representar en la pantalla los modelos tridimensionales y el contenido multimedia adecuado.

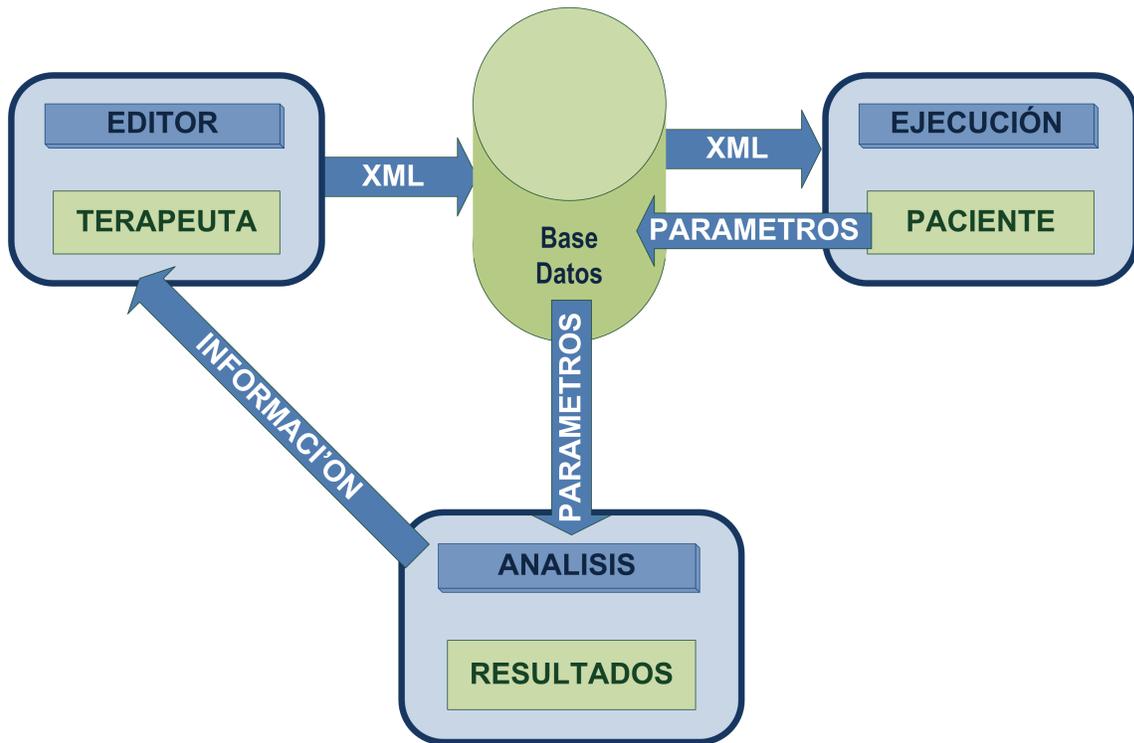


Figura 5.1: Arquitectura del sistema propuesto.

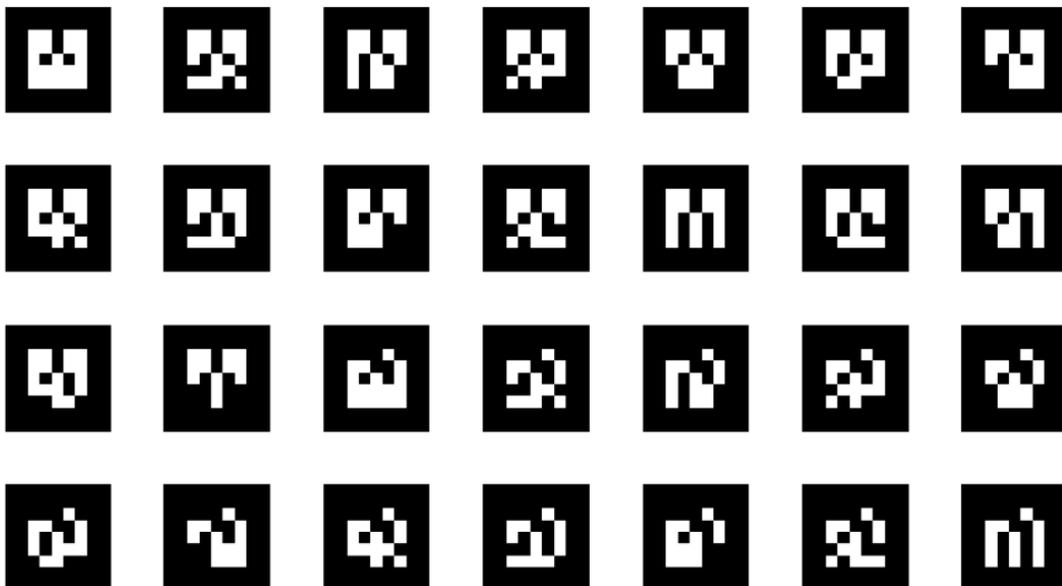


Figura 5.2: Tablero de marcadores necesario para la representación virtual de los elementos que componen los escenarios creados.

Para que se pueda evaluar el grado de consecución de los test, se van recopilando ciertos parámetros con el fin de poder realizar dicho análisis. La destreza de un determinado paciente se evalúa en base a parámetros tales como la estrategia elegida para la realización de la prueba, el número de colisiones, o la velocidad de ejecución, entre otros.

5.1.1. Edición de laberintos

Para que las pruebas no pierdan validez debido a que los usuarios sean capaces de reconocer escenarios realizados previamente, se ha creado un editor de pruebas. El terapeuta puede crear los laberintos en base al tratamiento a seguir por el paciente. Para ello se permite situar los elementos sobre un marcador de Realidad Aumentada (ver Figura 5.2), según su criterio y necesidad para los diferentes pacientes. La Figura 5.3 representa un diagrama funcional de la aplicación para creación y edición de pruebas.

Esta aplicación de creación y edición de pruebas, se ha desarrollado de forma que resulte amigable y sencilla para cualquier persona sin conocimientos de gráficos por ordenador o programación. Únicamente es necesario seleccionar el elemento deseado junto a varios atributos físicos y dibujar sobre el cuadro de edición el área que ocupará el elemento seleccionado. El área de edición representa la planta del diseño, esto es, la vista cenital. De esta forma, el usuario del editor es capaz de colocar los elementos deseados en las posiciones deseadas donde el programa, en la ejecución de la aplicación, generará los objetos en tres dimensiones. La creación de escenarios se ha planteado para utilizar capas. En la capa inferior se sitúa la base del laberinto, permitiendo seleccionar el color de la base y el rozamiento de los elementos situados sobre ésta. En la siguiente capa se permite añadir diferentes elementos para obstaculizar el trayecto. En esta capa superior, además de los elementos imprescindibles en todos los escenarios creados (bola y meta), se pueden agregar otros elementos como son: paredes, obstáculos, marcadores de control, etc (Figura 5.4(a)). Todos ellos, como se muestra en la Figura 5.3, poseen diversos parámetros físicos que pueden ser modificados: color, altura o elasticidad entre otros.

En cualquier momento de la creación del escenario, el especialista tiene la opción de visualizar la prueba empleando Realidad Aumentada, para lo que necesariamente debe poseer una plantilla con los marcadores y una webcam. Esta opción ayuda a hacerse una idea del aspecto visual de la prueba y a saber si hay elementos que faltan o sobran sobre el escenario (Figura 5.4(b)). Una vez diseñado el escenario, el terapeuta puede agregar texto con pistas o indicaciones para la correcta ejecución del ejercicio.

El editor permite guardar laberintos nuevos y cargar aquellos creados previamente para su modificación. De esta forma, no es necesario construir el laberinto cada vez que se quiera utilizar la aplicación. El terapeuta puede diseñar terapias en las que se ejecuten varios escenarios guardados en un orden determinado. Con ello se consiguen sesiones menos repetitivas y más dinámicas.

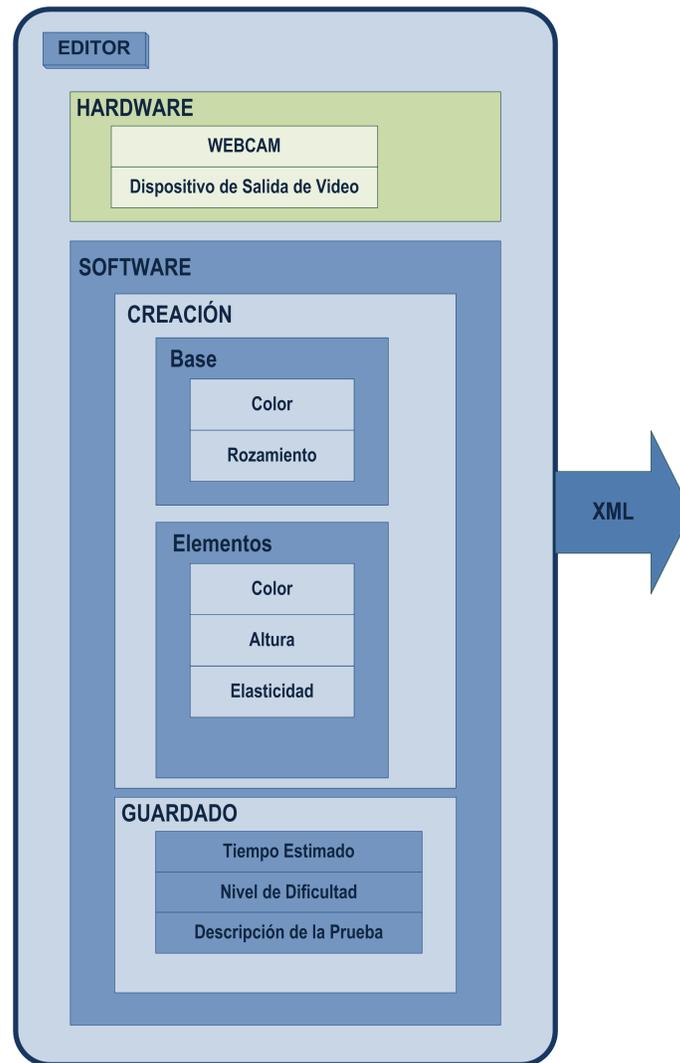
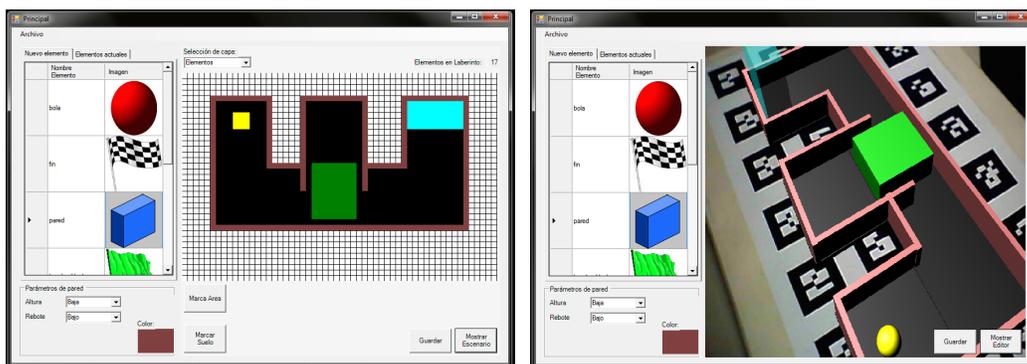


Figura 5.3: Diagrama funcional de la aplicación diseñada para crear y editar diferentes pruebas con AMAZING System.



(a) Vista del área de edición para incorporar elementos en el escenario. (b) Vista del modo de comprobación de elementos actuales en la escena.

Figura 5.4: Vista general de la aplicación de diseño de niveles.

5.1.2. Ejecución de laberintos

Cuando el terapeuta ha configurado una sesión con diferentes pruebas, el paciente ejecuta la aplicación. La Figura 5.5 muestra el diagrama de bloques del módulo de ejecución de laberintos.

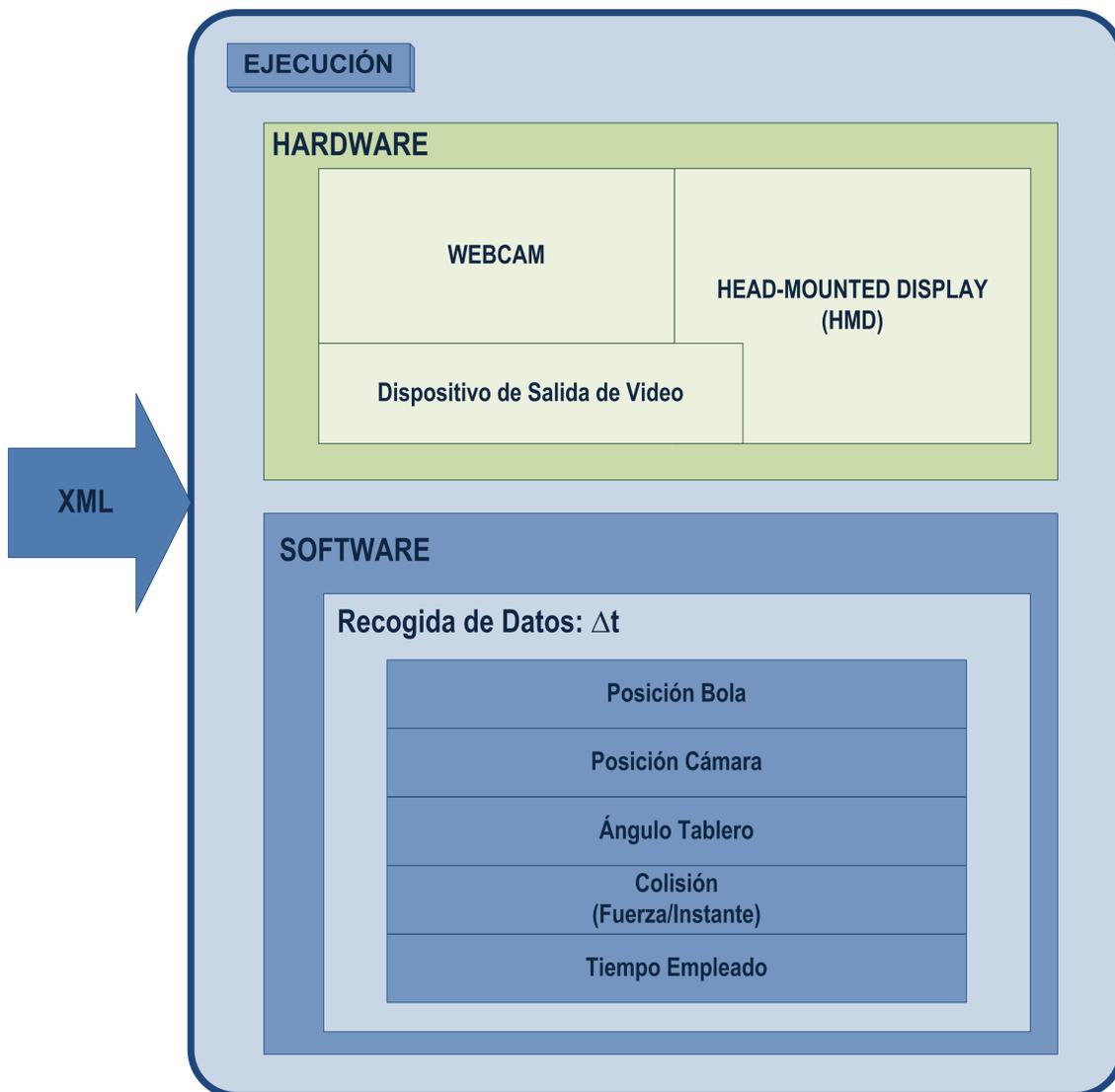


Figura 5.5: Diagrama funcional de la aplicación encargada de ejecutar los niveles.

Dependiendo del grado de inmersión que se quiera conseguir en el paciente, la adquisición de imágenes a procesar puede realizarse mediante diferentes dispositivos.

Por un lado, la prueba se puede realizar utilizando una webcam junto a un dispositivo de salida estándar. Para la elección del dispositivo se tendrá en cuenta el grado de inmersión del paciente dentro de la aplicación, que irá desde el empleo de monitores convencionales a proyectores 3D, pasando por monitores 3D de visión estereoscópica. El hecho de percibir profundidad durante la sesión, hace que el usuario pierda menos interés en la prueba y aumente su concentración. Adicionalmente pueden emplearse gafas de Realidad

Aumentada (HMDs - Head Displays), con los que el nivel de inmersión aumenta considerablemente en comparación con los medios anteriormente descritos.

Tras seleccionar los dispositivos de entrada y salida deseados, el usuario puede comenzar a realizar las pruebas programadas por el terapeuta para la sesión. Debido a que cada paciente posee unas capacidades físicas o de movilidad determinadas, la primera acción realizada por el sistema es una calibración de la horizontalidad del tablero. Con ello se consigue que los objetos no se vean afectados por la gravedad de forma no deseada. Durante la realización de las pruebas, es posible realizar ciertas acciones, como cambiar de pantalla, reiniciar nivel, maximizar el área de juego en pantalla o abandonar la sesión, entre otras. Para ello, es necesario realizar determinadas pulsaciones sobre el teclado.

Además, durante la realización de la prueba, se van recogiendo una serie de parámetros necesarios para el posterior análisis y evaluación del paciente:

- Posición instantánea de la bola.
- Posición instantánea del tablero respecto a la webcam.
- Vector de dirección de la webcam, con el que es posible obtener el ángulo de inclinación del tablero respecto a la horizontal.
- Fuerza de las colisiones producidas entre la bola y los diferentes obstáculos del escenario así como el instante de la colisión.
- Tiempo total de realización de la prueba.

El código necesario para realizar esta recogida de datos se muestra a continuación:

Código 5.1: Porción de código de declaración de variables para recogida de datos.

```
public class Game1 : Microsoft.Xna.Framework.Game
{
    {...}
    float tCapturaPosTic = 500;
    Vector3[] tPos = new Vector3[1];
    Vector3[] tCam = new Vector3[1];
    Vector3[] tAng = new Vector3[1];
    {...}
}
```

Código 5.2: Porción del método *Update()* donde se muestra el proceso de recogida de datos.

```
protected override void Update(GameTime gameTime)
{
    tActual = (float)gameTime.TotalGameTime.TotalSeconds;
    tCapturaPos += gameTime.ElapsedGameTime.Milliseconds;
}
```

```
if ((tCapturaPos > tCapturaPosTic)&&(estado==4))
{
    indice++;
    //Recoger posicion bola
    Array.Resize(ref tPos, indice+1);
    tPos[indice] = esfera.WorldTransformation.Translation;
    //Recoger posicion camara
    Array.Resize(ref tCam, indice + 1);
    tCam[indice] =
    scene.MarkerTracker.GetMarkerTransform().Translation;
    //Recoger angulo tablero
    Array.Resize(ref tAng, indice + 1);
    tAng[indice] =
    scene.MarkerTracker.GetMarkerTransform().Forward;
    tCapturaPos = 0;
}
{...}
{
```

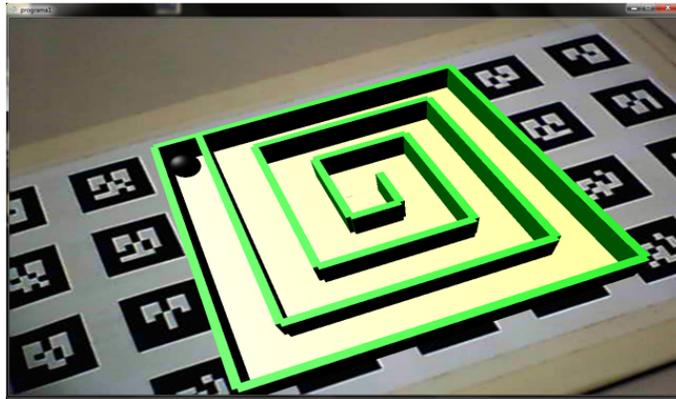
En el anterior código, se muestran las acciones necesarias para realizar la recogida de información durante la ejecución de la aplicación. En el primer fragmento, se encuentran indicadas las declaraciones de las variables que se van a utilizar: frecuencia de recogida de datos (*tCapturaPosTic*), posición de la bola (*tPos*), posición de la cámara (*tCam*) y ángulo que forma la cámara respecto al tablero (*tAng*).

En el siguiente fragmento de código, se muestra el proceso de recogida de datos propiamente dicho. Como ya se vio en el capítulo anterior, el método *Update()* se ejecuta constantemente en cada iteración, pero cada iteración no dura necesariamente el tiempo deseado de muestreo. Por ello, se comprueba, mediante una variable auxiliar (*tCapturaPos*), si el tiempo transcurrido desde la última vez que se recogió información es superior al tiempo de muestreo, en cuyo caso se guarda un nuevo dato y se resetea la variable auxiliar.

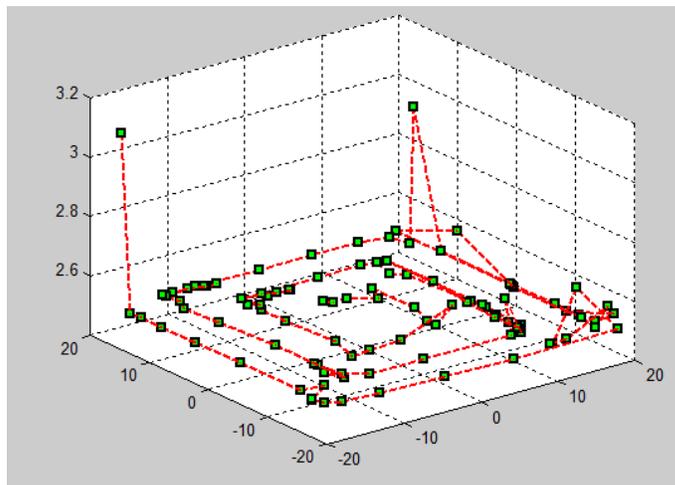
5.1.3. Análisis de datos

La última parte del sistema se centra en el análisis de los resultados. Con el objetivo de realizar un seguimiento de la evolución del paciente, el terapeuta tiene la posibilidad de analizar los resultados obtenidos durante la sesión realizada. A partir de estos parámetros recogidos durante la ejecución, se pueden conocer otros que resulten de mayor interés para el terapeuta. En la Figura 5.6 se muestra gráficamente el recorrido seguido por la bola sobre el escenario utilizando una frecuencia de muestreo de 500 milisegundos. Esta información ayuda a analizar la estrategia seguida por el paciente.

Para evaluar la capacidad estratégica del paciente, se analiza la relación entre la velocidad y aceleración, y el número de colisiones y la fuerza con que se producen entre la bola y los diferentes elementos que componen el escenario. Además, se tienen en cuen-



(a) Vista del nivel empleando Realidad Aumentada.



(b) Ruta empleada por el usuario durante la ejecución de la prueba.

Figura 5.6: Ejemplo de resultados obtenidos por un usuario durante la realización de una prueba.

ta los diferentes ángulos de inclinación del tablero. Mediante el empleo de funciones de dinámica, se pueden obtener los valores de velocidad y aceleración instantáneos en el tiempo a partir de la posición instantánea de la bola. Por otra parte, para obtener la inclinación respecto a la horizontal, se emplean funciones trigonométricas sobre el vector de dirección del dispositivo de captura de imágenes.

Otro parámetro a evaluar es el nivel de concentración del sujeto durante la realización de la prueba. Para ello, se emplea la posición y el vector de dirección del dispositivo de captura de imágenes. Se observó que los usuarios con un bajo nivel de concentración, eran propensos a perder de vista el tablero de juego, impidiendo la correcta visualización del escenario. Para realizar una evaluación de este nivel de concentración, se registran los instantes y la duración donde el paciente pierde el encuadre del escenario con la webcam.

Los métodos descritos anteriormente permiten obtener una visión cuantitativa próxima a las valoraciones cualitativas del experto, ayudándole en la evaluación de los pacientes, ofreciendo información complementaria para el diagnóstico y seguimiento. Por ello, estas evaluaciones son almacenadas, permitiendo al experto disponer de un historial de los laberintos resueltos y la puntuación asociada. Este análisis y los parámetros recogidos permanecen ocultos al paciente, al que únicamente se le muestra el tiempo obtenido en la realización de la prueba a modo de motivación para la realización de los siguientes escenarios.

5.2. Pruebas realizadas

En esta Sección se describen las diferentes pruebas realizadas con el sistema. En primer lugar, se incluyen aquellas llevadas a cabo en el laboratorio. Durante dichas pruebas, la plataforma no se encontraba en su versión final, y las distintas experiencias permitieron un refinamiento de la aplicación en base a las opiniones de terapeutas y usuarios de prueba. En segundo lugar, se incluyen las pruebas realizadas con pacientes reales cuando el sistema se encontraba finalizado.

5.2.1. Pruebas en laboratorio

Las primeras pruebas realizadas en laboratorio fueron orientadas a evaluar la usabilidad del sistema y la robustez del mismo frente a diferentes variables que pueden darse en distintos escenarios reales. Con estas pruebas se pudo mejorar tanto la respuesta como las opciones del sistema a nivel técnico, además de incorporar modificaciones en base a las opiniones de los terapeutas.

Las pruebas fueron realizadas tanto con webcam, colocada para tomar imágenes desde un punto de vista cenital al marcador, como utilizando gafas de Realidad Aumentada. Los usuarios elegidos fueron investigadores y estudiantes de la Universidad de Valladolid y terapeutas a cargo de personas con discapacidad. De esta forma se cubren los posibles

flancos frente a problemas técnicos y de funcionalidad presentados.

Se hizo uso del editor de laberintos para definir diversos laberintos de prueba. En la Figura 5.6(a), se observa uno de los escenarios creados. Su sencillez resulta evidente. Sin embargo, niveles con estas características son necesarios a la hora de entrenar al usuario con el sistema de control. En un escenario posterior (ver Figura 5.7) la dificultad se incrementa introduciendo elementos bloqueantes y móviles. Además del control necesario sobre el tablero para evitar los obstáculos fijos, que poseen una elasticidad elevada, por lo que la bola resulta repelida al chocar contra ellos, se añade un factor de estrategia al necesitar limpiar la zona final de los obstáculos móviles. Para ello, es posible eliminar dichos objetos gracias al agujero situado junto a la meta.

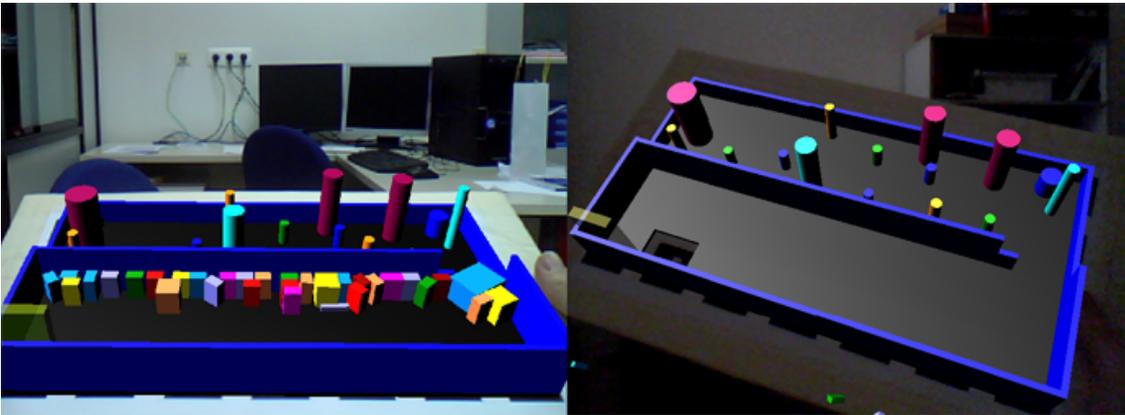


Figura 5.7: Ejemplo de nivel donde se evalúa la estrategia seguida por el usuario a la hora de resolver el laberinto. En este caso se da la opción de limpiar el escenario de obstáculos o dirigir la bola a través de los mismos sin necesidad de eliminarlos.

Las sensaciones sobre el funcionamiento del sistema fueron buenas, si bien, se detectaron algunos inconvenientes que fueron subsanados a partir del feedback proporcionado por los especialistas. Entre las correcciones más importantes realizadas cabe destacar las siguientes:

- Configuración de la gravedad: Inicialmente la dirección de la gravedad era tomada siguiendo el punto de vista de la webcam. Sin embargo, se comprobó que en aquellas ocasiones donde existía una ligera inclinación de este punto de vista respecto a la horizontal, el manejo de la bola resultaba complicado para el usuario. Por ello, se permite configurar la horizontalidad al inicio de las pruebas de forma que la gravedad se aplique de acuerdo a lo que el usuario considera natural.
- Configuración de masas y elasticidad de elementos móviles: Se requirió realizar un cambio en la masa y elasticidad de ciertos elementos ya que al producirse algunas colisiones, éstos salían despedidos fuera del circuito.

Así mismo, en base a las pruebas realizadas por los terapeutas sobre la usabilidad del sistema se incorporaron las siguientes modificaciones:

- Se simplificó el editor de laberintos, de modo que las distintas opciones de configuración aparecieran de forma menos técnica para que personal no acostumbrado a tratar con entornos gráficos por ordenador fuese capaz de utilizar el sistema de forma intuitiva.
- Se incorporó en el editor la posibilidad de establecer puntos de checkpoint en el laberinto, que se activan cuando la bola los atraviesa. De esta forma es posible mostrar pistas al usuario sobre el camino correcto.
- Se añadió la posibilidad de incorporar refuerzos positivos para el usuario. De este modo, el terapeuta puede elegir los sonidos o mensajes de aliento que se reproducirán cuando el usuario consiga alcanzar un determinado checkpoint.
- Siguiendo las recomendaciones de los expertos, se proporcionó la opción de ocultar los marcadores al usuario, incorporando en el editor de escenarios la opción de añadir suelos como capa inicial sobre la que trabajar.

Otra de las finalidades de la realización de las pruebas de laboratorio es la comprobación de la robustez del sistema ante diversas condiciones ambientales.

A la hora de resolver este tipo de pruebas es normal que el paciente sobreincline el tablero más de lo necesario, para forzar el deslizamiento de las piezas. Por este motivo, se realizan pruebas de funcionamiento cuando el tablero se encuentra en una posición muy oblicua a la cámara, que dificulta la detección del marcador. En la Figura 5.8 se observa cómo, a pesar de aplicar al tablero una inclinación extrema, la detección sigue siendo suficientemente robusta.



Figura 5.8: Test de inclinación. La detección continúa siendo robusta a pesar de la inclinación extrema del tablero.

Una segunda prueba consistió en averiguar hasta qué punto el funcionamiento podía verse perjudicado por una oclusión de un porcentaje elevado del tablero (Figura 5.9). Tal y como se comprobó más tarde en las pruebas realizadas con pacientes reales, esta característica del sistema es fundamental, puesto que muchos pacientes tienden a tapar el tablero con las manos y/o a acercarlo mucho a los ojos para observar una determinada

región del laberinto o los objetos dinámicos que les llaman la atención.

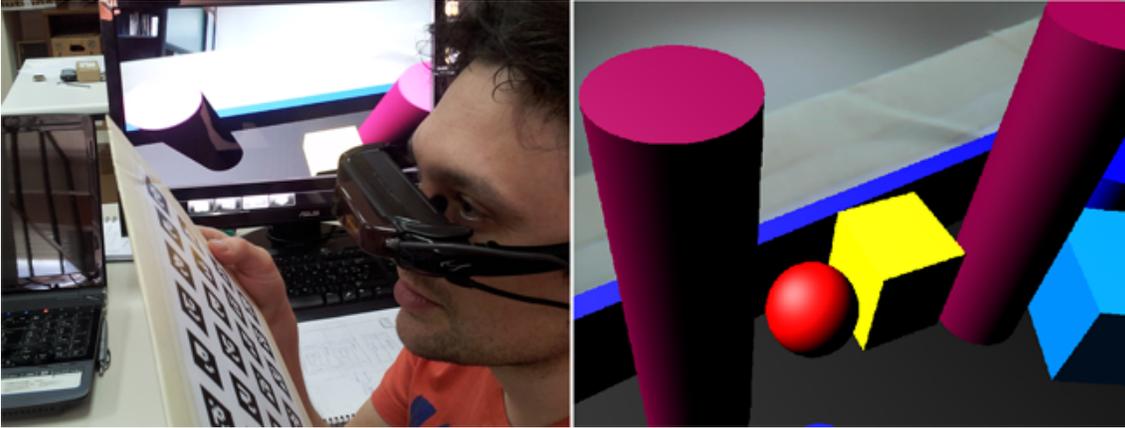


Figura 5.9: Test de zoom. La detección continúa siendo robusta a pesar del alto porcentaje de oclusión de los marcadores en el tablero.

Por último, se comprobó el funcionamiento del sistema en diferentes condiciones de luz ambiental (Figura 5.10). Empleando cámaras con sensibilidad ISO no demasiado elevada ya es posible emplear el sistema en condiciones de baja iluminación, si bien se dificulta la detección del marcador, lo que produce parpadeo.

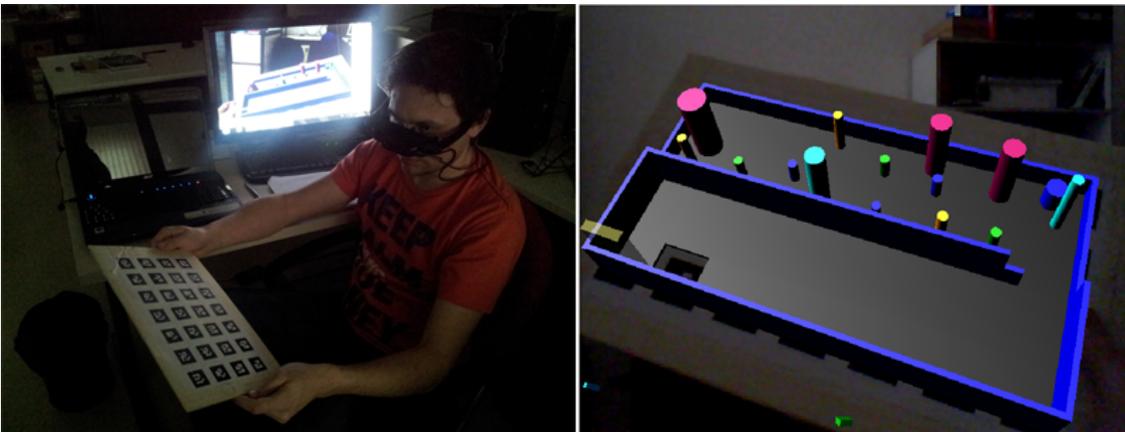


Figura 5.10: Test de iluminación. La detección continúa siendo robusta a pesar de las deficientes condiciones lumínicas del entorno.

El sistema está preparado para salidas 2D y 3D sobre monitores, televisores y proyectores que posean esta característica. En las pruebas realizadas se comprobó el funcionamiento del sistema sobre televisores con tecnología 3D pasiva y sobre monitores y proyectores con tecnología 3D activa. En la Figura 5.11 se muestra el funcionamiento con proyector y captura cenital del tablero.

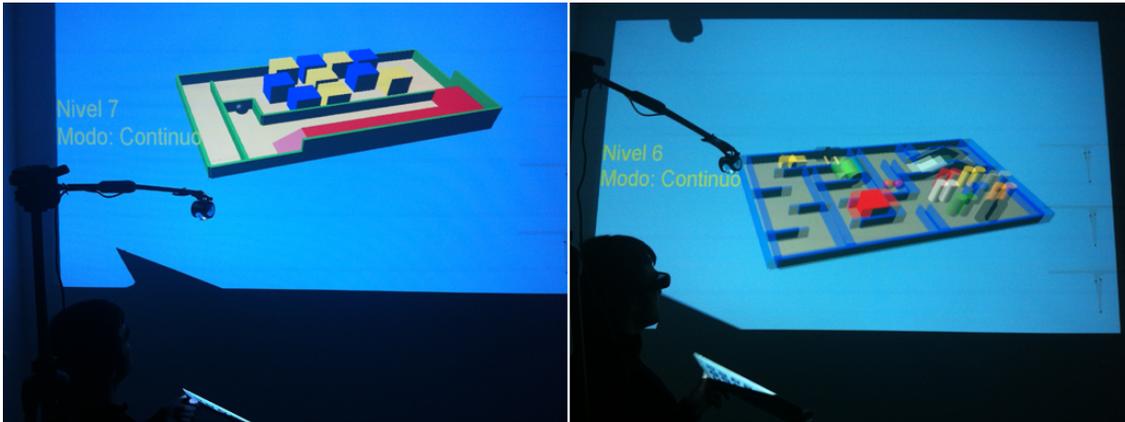


Figura 5.11: Ejemplo de uso de la aplicación con un proyector 2D/3D y una webcam situada cenitalmente.

5.2.2. Pruebas con pacientes reales

Tras realizar las pruebas de laboratorio e incorporar los cambios propuestos por los terapeutas, se realizaron diversas pruebas con un total de 15 sujetos distribuidos en tres poblaciones distintas:

- Pacientes jóvenes con trastorno: de 15 a 18 años de edad.
- Pacientes adultos con daños en el lóbulo frontal: de 30 a 60 años de edad.
- Sujetos de control: de 20 a 50 años de edad.

Para las pruebas, se diseñaron diversos laberintos de dificultad creciente. Las pruebas con pacientes reales se realizaron empleando una webcam, situada sobre una gorra para la captura cenital del tablero, y posteriormente con gafas de Realidad Aumentada. Durante la ejecución con webcam, los pacientes observan sus movimientos sobre un televisor, mientras que en el modo de ejecución con gafas de Realidad Aumentada, se hace uso del televisor para control de la progresión de las pruebas por parte del terapeuta. Con el fin de que no se distrajeran con las imágenes, se colocó a los pacientes de espaldas a la televisión (Figura 5.12).

Las conclusiones obtenidas de la realización de estas pruebas son las siguientes:

- Pacientes con mayor grado de hiperactividad tienden a despistarse ante el menor estímulo. Ya sean ruidos o indicaciones por parte de los terapeutas. En consecuencia, retiran la vista del marcador y miran al terapeuta.
- El uso de efectos de sonido entre los elementos del escenario como utilizando refuerzos, ayuda a mejorar la concentración de los enfermos de TDAH. Durante las pruebas, se configura el audio para emitirse por el televisor o los auriculares integrados en las gafas de Realidad Aumentada.



Figura 5.12: Ejemplo de uso de la aplicación con pacientes reales y dos opciones de ejecución (TV y gafas de Realidad Aumentada).

- Se observa un elevado grado de inmersión en todos los pacientes. Se producen acciones espontáneas como intentar coger los objetos que se caen del tablero o golpear los laterales del tablero para desplazar los objetos con alto rozamiento.
- El uso de una curva de aprendizaje adaptada facilita el dominio del control por parte del paciente. Por ello, los pacientes son capaces de aprender a utilizar el sistema sin necesidad de un entrenamiento y con poca supervisión de los terapeutas.

La disposición de los pacientes para participar en la prueba fue muy elevada. Entre los pacientes que utilizaron la aplicación, el 80 % quisieron que las pruebas durasen más tiempo o se incorporasen otras nuevas. Durante la realización de las pruebas, se aconsejó que la sala permaneciese cerrada para evitar distracciones.

En el escenario propuesto en la Figura 5.13 se muestra el trayecto seguido por uno de los pacientes durante la sesión. Los intervalos de captura se configuraron a 500 milisegundos. De la trayectoria mostrada, el terapeuta puede conocer que el paciente tuvo dificultades en la parte inicial, ya que hay una aglomeración de puntos en una sección del escenario.

En las Figuras 5.14(a) y 5.14(b) se muestran los resultados de tiempo obtenidos diferenciando las distintas poblaciones estudiadas para el escenario propuesto en la Figura 5.13. Se hace una diferenciación entre los usuarios utilizando televisión (Figura 5.14(a)) y usuarios empleando gafas de Realidad Aumentada (Figura 5.14(b)).

En las gráficas mostradas en las Figuras 5.14(a) y 5.14(b) se observa que las poblaciones de pacientes jóvenes y adultos están muy separadas. A la hora de interpretar esta observación (Figura 5.14), debe tenerse en cuenta que en el grupo de control también había personas adultas, pero más acostumbradas a resolver problemas y en contacto con tecnología diariamente para su trabajo. Además, de las gráficas se observa que los tiempos empleados para la resolución de laberintos por parte de los pacientes son menores cuando se emplean gafas de Realidad Aumentada. Esto indica que el grado de inmersión conseguido con el uso de este dispositivo es muy elevado, permitiendo simular que los

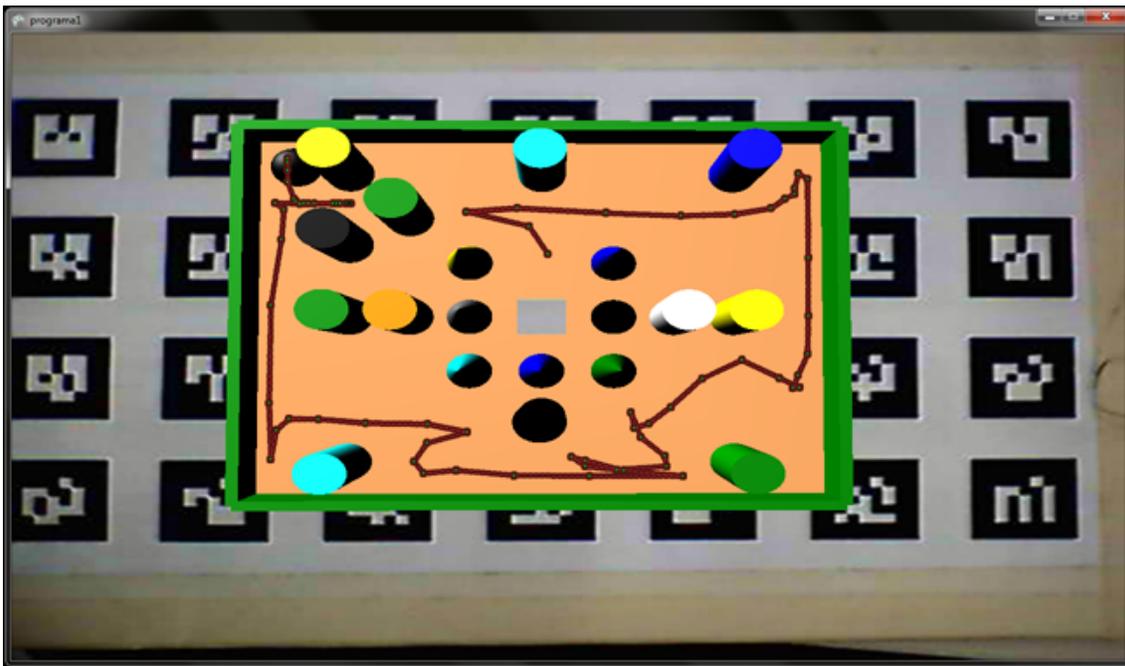
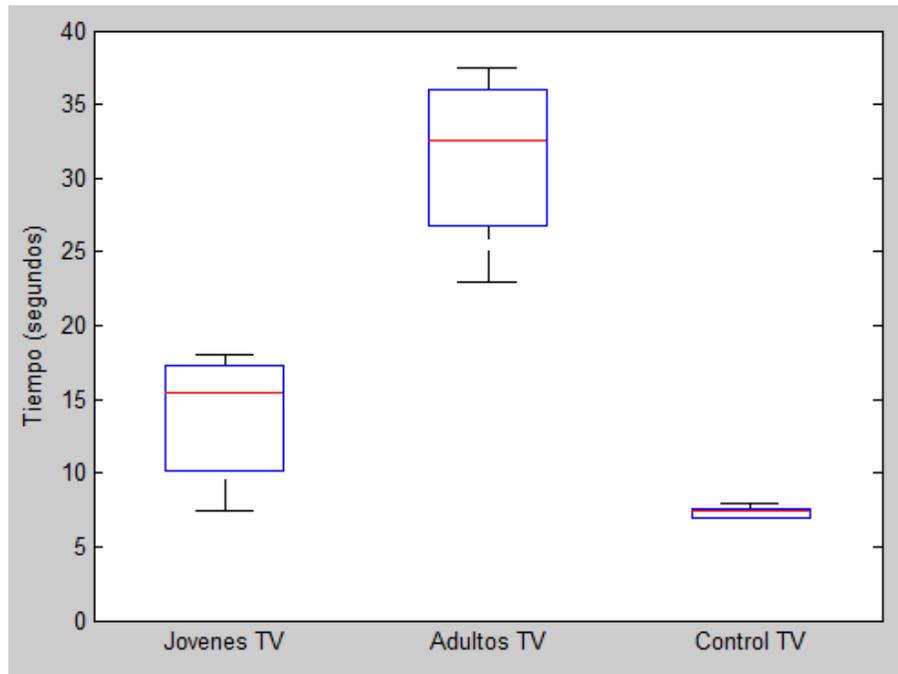


Figura 5.13: Ruta seguida por un paciente superpuesta sobre el escenario. En el tramo inicial se aprecia una concentración de puntos en torno a un área. Esto significa que el paciente desperdició tiempo pensando en la ruta correcta para alcanzar la meta después de haberse quedado bloqueado por los obstáculos.

escenarios se encuentran donde el usuario está mirando.

Es importante indicar que en el caso de los pacientes jóvenes, por el hecho de que la diferencia entre utilizar televisión y gafas de Realidad Aumentada sea mínima, se les preguntó si habitualmente utilizan algún tipo de ocio electrónico. Un elevado porcentaje de los pacientes jóvenes respondió de forma afirmativa, indicando que usualmente utilizan sistemas de entretenimiento electrónico o videoconsolas. Por ello, en comparación con los pacientes adultos, poseen mayor habilidad a la hora de coordinar movimientos si es necesario mirar a la pantalla mientras manipulan el tablero sin mirar. Por este motivo, en pacientes adultos, es más recomendable el uso de este tipo de dispositivos siempre que sea posible.

Además, durante las pruebas se observó que los pacientes adultos eran capaces de planificar y ejecutar el ejercicio con una estrategia en muchos casos bien meditada. No obstante, en algunos casos se apreció que el paciente mostraba dificultades para realizar la tarea sin la ayuda de un terapeuta. Cuando un paciente está atascado, el sistema muestra las pistas incorporadas por el terapeuta en la edición del nivel.



(a) Uso de televisor.



(b) Uso de gafas de Realidad Aumentada.

Figura 5.14: Cajas de dispersión de las poblaciones. Se muestra cómo el tiempo de resolución de los escenarios en pacientes jóvenes se encuentra alejado del tiempo empleado por pacientes adultos. Además, el gráfico muestra que el tiempo empleado para resolver los laberintos es menor cuando se utilizan gafas de Realidad Aumentada. Esto indica que el grado de inmersión utilizando estos dispositivos es mayor.

Conclusiones y líneas futuras

La meta de este proyecto era conocer y mejorar los tratamientos actuales para la rehabilitación de personas con algún tipo de trastorno. Dado que el porcentaje de personas con Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad es elevado, en primer término ese fue el grupo de personas para el que se realizó un sistema de Juegos Serios, a fin de colaborar en su rehabilitación. Posteriormente se aumentó el alcance del proyecto, de forma que pudiera del mismo modo estar dirigido a personas con algún trastorno o daño en el lóbulo frontal del cerebro, ya que al igual que los afectados por TDAH, presentan daños en la función ejecutiva.

Con el fin de desarrollar una aplicación que cubriese el principal problema planteado, se realizó un estudio sobre los síntomas, causas y tratamientos actuales para tratar pacientes de las características expuestas. La función ejecutiva, por estar en estrecha relación con el lóbulo frontal del cerebro, interviene como parte activa en la acción motora, por ello es uno de los fundamentos sobre el que se ha desarrollado la aplicación propuesta. Además, como ya se ha mostrado durante el trabajo, aquellos tratamientos que combinan medicamentos farmacológicos con técnicas conductuales son los que han facilitado una mejoría más significativa en el paciente.

Por este motivo, uno de los principales puntos clave del sistema propuesto es la edición de escenarios, en el que el especialista no necesita ningún conocimiento de gráficos por ordenador o programación para ser capaz de crear escenarios en los que los pacientes se entrenarán y rehabilitarán. Además, debido a los pocos recursos en investigación que se destinan a estos sectores por parte de las grandes compañías, fundaciones e instituciones de ayuda a la dependencia pueden verse saturados y con poco respaldo para realizar tratamientos que les agilicen y optimicen los trabajos pertinentes. Por ello, es interesante realizar una recogida de parámetros durante la ejecución de las pruebas con el fin de evaluar el desarrollo personal de cada paciente. De esta forma se puede automatizar la ejecución de las pruebas, permitiendo al terapeuta realizar una supervisión o asistencia al domicilio del paciente únicamente en aquellos que lo requieran y pudiendo realizar ajustes en la organización laboral para ayudar a un mayor número de personas.

El sistema consigue atender las necesidades de un colectivo muy vulnerable, como es el de los enfermos cognitivos, para los que difícilmente pueden encontrarse soluciones adecuadas en el mercado. Emplear la tecnología de Realidad Aumentada con estos pacientes ayuda a reducir la brecha digital que sufren. Además, un sistema de estas características tiene un coste de implantación muy bajo, siendo necesario únicamente un

ordenador y una webcam.

El sistema es muy escalable, ya sea incorporando nuevas pruebas o utilizando diferentes tecnologías para la captura y la presentación del escenario. En clínicas de rehabilitación, que disponen de más recursos que un particular, pueden emplearse gafas de Realidad Aumentada y/o salidas de vídeo para televisores y proyectores 3D, que posibilitan una experiencia más inmersiva. Sin embargo, en domicilios particulares, por tratarse de un sistema de bajo coste, resulta funcional con el ordenador personal del paciente.

Para mejorar el sistema expuesto, se propone el uso de refuerzos y ayudas para facilitar la supervisión del paciente por parte de un terapeuta mientras se realizan pruebas. Esto podría llevarse a cabo añadiendo pistas en el editor que se muestren al usuario ante determinadas acciones o bien con el uso de la asistencia remota en la ejecución online de las pruebas. Así mismo, se sigue trabajando en la recolección e interpretación de parámetros recogidos durante las pruebas, de cara a realizar minería de datos que permita obtener información adicional, útil para los terapeutas. Para ello, se propone como línea futura aumentar el estudio realizado para que la etapa de decisión de niveles propuestos, atendiendo a las habilidades específicas de cada paciente, se realice de forma completamente automática. De esta forma no solo se facilita la evaluación del estado del paciente, sino que además el terapeuta puede centrar su atención en otros aspectos del tratamiento.

Bibliografía

- [ABB⁺01] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, and B. MacIntyre. Recent advances in augmented reality. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21(6):34 – 47, Nov - Dec 2001.
- [Abi91] Howard Abikoff. Cognitive training in adhd children: Less to it than meets the eye. *Journal of Learning Disabilities*, 24(4):205 – 209, 1991.
- [ADS86] GE. Alexander, MR. DeLong, and PL. Strick. Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex. *Annu Rev Neurosci*, 9:357 – 381, 1986.
- [Ame00] American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders DSM-IV-TR Fourth Edition (Text Revision)*. American Psychiatric Publishing, 4th edition, Jul 2000.
- [AMG01] MP. Austin, P. Mitchell, and GM. Goodwin. Cognitive deficits in depression: Possible implications for functional neuropathology. *The British Journal of Psychiatry*, 178:200 – 206, 2001.
- [And87] JC Anderson. Dsm-iii disorders in preadolescent children. prevalence in a large sample from the general population. *Arch Gen Psychiatry*, 44(1):69 – 76, 1987.
- [Azu97] Ronald T. Azuma. A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4):355–385, August 1997.
- [Bar96] RA. Barkley. *Attention, memory and executive function.*, chapter Linkages between attention and executive functions., pages 307 – 326. Baltimore: Paul H. Brookes Publishing, 1996.
- [Bar97] R.A. Barkley. Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of adhd. *Psychological Bulletin*, 121(1):65–94, Jan 1997.
- [BBH⁺90] Chuck Blanchard, Scott Burgess, Young Harvill, Jaron Lanier, Ann Lasko, Mark Oberman, and Mike Teitel. Reality built for two: a virtual reality tool. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 24(2):35 – 36, February 1990.

- [BD98] A. Baddeley and Sala S. Della. *The prefrontal cortex executive and cognitive functions.*, chapter Working memory and executive control., pages 9 – 20. New York: Oxford University Press, 1998.
- [BFR⁺99] G Bush, JA Frazier, SL Rauch, LJ Seidman, PJ Whalen, MA Jenike, BR Rosen, and J. Biederman. Anterior cingulate cortex dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder revealed by fmri and the counting stroop. *Biol Psychiatry*, 45(12):1542 – 1552, 1999.
- [BKF⁺06] Joe M. Braun, Robert S. Kahn, Tanya Froehlich, Peggy Auinger, and Bruce P. Lanphear. Exposures to environmental toxicants and attention deficit hyperactivity disorder in u.s. children. *Environ Health Perspect.*, 114:1904 – 1909, 2006.
- [BMC⁺10] J.W. Burke, M.D.J. McNeill, D.K. Charles, P.J. Morrow, J.H. Crosbie, and S.M. McDonough. Augmented reality games for upper-limb stroke rehabilitation. In *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2010 Second International Conference on*, pages 75 – 78, march 2010.
- [Bra37] C. Bradley. The behavior of children receiving benzedrine. *The American Journal of Psychiatry*, 94:577 – 585, 1937.
- [BT07] Barbara Bental and Emanuel Tirosh. The relationship between attention, executive functions and reading domain abilities in attention deficit hyperactivity disorder and reading disorder: a comparative study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(5):455 – 463, 2007.
- [Cen12] VTT Technical Research Centre. Alvar - a library for virtual and augmented reality. <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar.html>, 2012.
- [CF07] Stephen Cawood and Mark Fiala. *Augmented Reality: A Practical Guide*. Pragmatic Bookshelf, 2007.
- [CF08] Stephen Cawood and Mark Fiala. *Augmented Reality: A Practical Guide*. The Pragmatic Programmers, 2008.
- [CM92] T.P. Caudell and D.W. Mizell. Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on*, volume 2, pages 659 – 669, 1992.
- [Cum94] JL. Cummings. Vascular subcortical dementias - clinical aspects. *Dementia*, 5(3-4):177 – 180, May - Aug 1994.
- [DAAJ11] A. Dinevan, Yee Mon Aung, and A. Al-Jumaily. Human computer interactive system for fast recovery based stroke rehabilitation. In *Hybrid Intelligent Systems (HIS), 2011 11th International Conference on*, pages 647 – 652, dec. 2011.

- [Den96] MB. Denckla. *Attention, memory and executive function.*, chapter Theory and model of executive function., pages 263 – 298. Baltimore: Paul H. Brookes Publishing, 1996.
- [DRS67] I. Divac, HE. Rosvold, and MK. Schwarcbart. Behavioural effects of selective ablation of the caudate nucleus. *J Comp Physiol Psychol*, 63:184 – 190, 1967.
- [ES95] R. Elliot and BJ. Sahakian. The neuropsychology of schizophrenia: relations with clinical and neurobiological dimensions. *Psychological Medicine*, 25(3):581 – 594, May 1995.
- [FB98] Stephen V Faraone and Joseph Biederman. Neurobiology of attention-deficit hyperactivity disorder. *Biological psychiatry*, 44(10):951 – 958, Nov 1998.
- [FBM06] SV Faraone, J Biederman, and E Mick. Comparison of diagnostic criteria for attention-deficit hyperactivity disorder in a county-wide sample. *Psychol Med.*, 36(2):159 – 165, 2006.
- [Fia05] M. Fiala. Comparing artag and artoolkit plus fiducial marker systems. In *Haptic Audio Visual Environments and their Applications, 2005. IEEE International Workshop on*, pages 148 – 153, 2005.
- [FJWG09] Manuel Franco, Kate Jones, Bob Woods, and Pablo Gomez. *Early psychosocial interventions in dementia : evidence-based practice*, chapter GRADIOR: A Personalised Computer-based Cognitive Training Programme for Early Intervention in Dementia, pages 93 – 105. Jessica Kingsley Publishers, 2009.
- [FLR⁺98] Henry Fuchs, Mark Livingston, Ramesh Raskar, D'nardo Colucci, Kurtis Keller, Andrei State, Jessica Crawford, Paul Rademacher, Samuel Drake, and Anthony Meyer. Augmented reality visualization for laparoscopic surgery. In William Wells, Alan Colchester, and Scott Delp, editors, *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention — MICCAI'98*, volume 1496 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 934–943. Springer Berlin / Heidelberg, 1998.
- [FMS93] Steven Feiner, Blair Macintyre, and Dorée Seligmann. Knowledge-based augmented reality. *Commun. ACM*, 36(7):53 – 62, 1993.
- [FOBC] MA. Franco, T. Orihuela, Y. Bueno, and T. Cid. Programa gradior: Programa de evaluacion y rehabilitacion cognitiva por ordenador. <http://www.intras.es/index.php?id=456>. *Fundacion INTRAS*.
- [FPWea02] Castellanos F, Lee PP, Sharp W, and et al. Developmental trajectories of brain volume abnormalities in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 288(14):1740–1748, 2002.

- [FU07] SV Faraone and HP Upadhyaya. The effect of stimulant treatment for adhd on later substance abuse and the potential for medication misuse, abuse, and diversion. *J Clin Psychiatry.*, 68(11):e28, 2007.
- [Hay99] S. Haykin. *Neural networks: a comprehensive foundation*. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.
- [Hei62] Morton Heilig. Sensorama simulator, 1962.
- [HF12] Steven J. Henderson and Steven K. Feiner. Augmented reality for maintenance and repair (armar) <http://graphics.cs.columbia.edu/projects/armar/>, 2012.
- [HJ96] Euthymia D. Hibbs and Peter S. Jensen. *Psychosocial Treatments for Child and Adolescent Disorders: Empirically Based Strategies for Clinical Practice*. American Psychiatric Publishing, 1996.
- [INT] Fundacion INTRAS. Fundacion intras. <http://www.intras.es/portada.php>.
- [JAM⁺05] M.C. Juan, M. Alcaniz, C. Monserrat, C. Botella, R.M. Banos, and B. Guerrero. Using augmented reality to treat phobias. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 25(6):31 – 37, Nov - Dec 2005.
- [JB94] C Junque and J. Barroso. *El lóbulo frontal y sus disfunciones: manual de neuropsicología.*, 1994. Madrid:Sintesis.
- [JH04] Shuhaiber JH. Augmented reality in surgery. *Archives of Surgery*, 139(2):170 – 174, 2004.
- [Kal60] R. E. Kalman. A new approach to linear filtering and prediction problems. *Transaction of the ASME - Journal of Basic Engineering.*, pages 35 – 45, 1960.
- [KB99] H. Kato and M. Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *Augmented Reality, 1999. (IWAR '99) Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on*, pages 85 –94, 1999.
- [KGH85] Myron W. Krueger, Thomas Gionfriddo, and Katrin Hinrichsen. Videoplace - an artificial reality. *SIGCHI Bull.*, 16(4):35 – 40, 1985.
- [Koy09] Tomohiko Koyama. Flartoolkit <http://saqoo.sh/a/labs/flartoolkit/introduction-to-flartoolkit.pdf>, 2009.
- [LCRP10] Rocío Lavigne Cerván and Juan F. Romero Pérez. Theoretical model of attention deficit with hyperactivity disorder i: operational definition. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 8(3):1303–1338, Dec 2010.

- [Lez95] MD. Lezak. *Neuropsychological assessment.*, chapter Executive function and motor performance, pages 650 – 685. New York: Oxford University Press, 1995.
- [LI92] JJ. López-Ibor. *CIE-10. Trastornos mentales y del comportamiento, Descripción clínicas y paútas para el diagnóstico.* Madrid: MEDITOR, 1992.
- [LSCN04] D Loebis, R Sutton, J Chudley, and W Naeem. Adaptive tuning of a kalman filter via fuzzy logic for an intelligent auv navigation system. *Control Engineering Practice*, 12(12):1531 – 1539, 2004.
- [LSH96] AD. Lawrence, BJ. Sahakian, and JR. Hodges. Executive and mnemonic functions in early huntington’s disease. *Brain*, 119:1633 – 1644, 1996.
- [Lur02] AR. Luria. *Handbook of Clinical Neurology, vol 2*, chapter Frontal lobe syndromes., page 725 – 757. Amsterdam: North Holland, 2002.
- [MBC⁺07] Donna McCann, Angelina Barrett, Alison Cooper, Debbie Crumpler, Lindy Dalen, Kate Grimshaw, Elizabeth Kitchin, Kris Lok, Lucy Porteous, Emily Prince, Edmund Sonuga-Barke, John O Warner, and Jim Stevenson. Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised, double-blinded, placebo-controlled trial. *The Lancet*, 370:1560 – 1567, 2007.
- [MC94] MS. Mega and JL. Cummings. Frontal-subcortical circuits and neuropsychiatric disorders. *Journal Of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 6(4):358 – 370, 1994.
- [MGB⁺03] B. MacIntyre, M. Gandy, J. Bolter, S. Dow, and B. Hannigan. Dart: the designer’s augmented reality toolkit. In *Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings. The Second IEEE and ACM International Symposium on*, pages 329 – 330, 2003.
- [Mica] MicrosoftCorporation. Lenguaje c sharp y .net framework. <http://msdn.microsoft.com/library/vstudio/z1zx9t92>.
- [Micb] MicrosoftCorporation. Microsoft .net. <http://www.microsoft.com/net>.
- [Micc] MicrosoftCorporation. Microsoft xna game studio 3.1.<http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=39>.
- [Mic04] Claudio Michanie. *Psicofarmacología Psicodinámica IV - Actualizaciones 2004.*, chapter Diferencias del trastorno por déficit de atención en el niño y el adulto: consideraciones diagnósticas y terapéuticas, pages 59 – 82. New York: McGraw Hill, 2004.
- [Mic08] MicrosoftCorporation. Microsoft visual studio 2008. <http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2008-editions>, 2008.

- [Mil63] B Milner. Effects of brain lesions on card-sorting. *Arch Neurol*, 9:90 – 100, 1963.
- [Mil02] B. Milner. *The Frontal Granular Cortex and Behavior.*, chapter Some effects of frontal lobectomy in man, pages 313 – 334. New York: McGraw Hill, 2002.
- [MK94] P. Milgram and F. Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Networked Reality*, 12:1321 –1329, Nov - Dec 1994.
- [MMT⁺08] T. Miyashita, P. Meier, T. Tachikawa, S. Orlic, T. Eble, V. Scholz, A. Gapel, O. Gerl, S. Arnaudov, and S. Lieberknecht. An augmented reality museum guide. In *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 103 – 106. IEEE Computer Society, 2008.
- [MRC⁺07] Francesca Morganti, Maria Luisa Rusconi, Anna Cantagallo, Elisabetta Mondin, and Giuseppe Riva. A context-based interactive evaluation of neglect syndrome in virtual reality. In *Virtual Rehabilitation, 2007*, pages 169 –174, sept. 2007.
- [OFa] Ohan Oda and Steven Feiner. Havok physics.<http://www.havoc.com/>.
- [OFb] Ohan Oda and Steven Feiner. Newton game dynamics sdk.<http://newtondynamics.com/forum/newton.php>.
- [OF11] Ohan Oda and Steven Feiner. Goblin xna: A platform for 3d ar and vr research and education.<http://goblinxna.codeplex.com/>, 2011.
- [OJL92] AM. Owen, M. James, and PN. Leigh. Fronto-striatal deficits at different stages of parkinson’s disease. *Brain*, 115:1727 – 1751, 1992.
- [PdLH⁺07] Guilherme Polanczyk, Maurício Silva de Lima, Bernardo Lessa Horta, Joseph Biederman, and Luis Augusto Rohde. The worldwide prevalence of adhd: A systematic review and metaregression analysis. *Am J Psychiatry*, 164(6):942 – 948, 2007.
- [PF91] G.V. Puskorius and L.A. Feldkamp. Decoupled extended kalman filter training of feedforward layered networks. In *Neural Networks, 1991., IJCNN-91-Seattle International Joint Conference on*, volume i, pages 771 –777 vol.1, jul 1991.
- [Pla09] Sony PlayStation. Eyepet tm. <http://es.playstation.com/eyepet/>, 2009.
- [Pla12] Sony PlayStation. Reality-fighters. <http://es.playstation.com/psvita/games/detail/item378320/reality-fighters/>, 2012.

- [PT02] Wayne Piekarski and Bruce Thomas. Arquake: the outdoor augmented reality gaming system. *Commun. ACM*, 45(1):36 – 38, 2002.
- [RBR05] FD Rose, BM Brooks, and AA. Rizzo. Virtual reality in brain damage rehabilitation: Review. *CyberPsychology and Behavior*, 8(3):241 –262, June 2005.
- [RJO94] TW. Robbins, M. James, and AM. Owen. Cognitive deficits in progressive supranuclear palsy, parkinson’s disease and multiple systems atrophy in tests sensitive to frontal lobe dysfunction. *J Comp Physiol Psychol*, 57:79 – 88, 1994.
- [RSL⁺02] Michael Rosenthal, Andrei State, Joohi Lee, Gentaro Hirota, Jeremy Ackerman, Kurtis Keller, Etta D Pisano, Michael Jiroutek, Keith Muller, and Henry Fuchs. Augmented reality guidance for needle biopsies: An initial randomized, controlled trial in phantoms. *Medical Image Analysis*, 6(3):313 – 320, 2002.
- [SB84] DT Stuss and DF Benson. Neuropsychological studies of the frontal lobes. *Psychological Bulletin*, 95:3 – 28, 1984.
- [SBRH09] Frank Steinicke, Gerd Bruder, Kai Rothaus, and Klaus H. Hinrichs. Poster: A virtual body for augmented virtuality by chroma-keying of egocentric videos. In *Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI) (Poster Presentation)*, pages 125–126. IEEE Press, 2009.
- [SCK01] Julie B. Schweitzer, Thomas K. Cummins, and Carole A. Kant. Attention-deficit/hyperactivity disorder. *Medical Clinics of North America*, 85(3):757 – 777, 2001.
- [Sha82] T Shallice. Specific impairments of planning. *Philos Trans R. Soc Lond B*, 298:199 – 209, 1982.
- [SNT⁺98] Y. Sato, M. Nakamoto, Y. Tamaki, T. Sasama, I. Sakita, Y. Nakajima, M. Monden, and S. Tamura. Image guidance of breast cancer surgery using 3-d ultrasound images and augmented reality visualization. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 17(5):681 –693, Oct 1998.
- [STU07] M. Schwaiger, T. Thummel, and H. Ulbrich. Cyberwalk: An advanced prototype of a belt array platform. In *Haptic, Audio and Visual Environments and Games, 2007. HAVE 2007. IEEE International Workshop on*, pages 50 –55, 2007.
- [Sut] Ivan Sutherland. The ultimate display. *Proc. IFIP*, 65(2):506 – 508, 582 – 583.
- [sWHCT10] Hsian shen Wang, Chaoli Hsu, D. Chiu, and Sung-Nan Tsai. Using augmented reality gaming system to enhance hand rehabilitation. In *Education Technology and Computer (ICETC), 2010 2nd International Conference on*, volume 3, pages V3–243 –V3–246, Jun 2010.

- [TGS⁺09] Dogu Teber, Selcuk Guven, Tobias Simpfendorfer, Mathias Baumhauer, Esref Oguz Güven, and Faruk Yencilek. Augmented reality: A new tool to improve surgical accuracy during laparoscopic partial nephrectomy? preliminary in vitro and in vivo results. *European Urology*, 56(2):332 – 338, 2009.
- [THM95] Anita Thapar, Amaia Hervas, and Peter McGuffin. Childhood hyperactivity scores are highly heritable and show sibling competition effects: Twin study evidence. *Behavior Genetics*, 25:537–544, 1995.
- [TSCL86] AE. Taylor, JA. Saint-Cyr, and AE. Lang. Frontal lobe dysfunction in parkinson’s disease. *Brain*, 109:845 – 883, 1986.
- [Ubi12] Ubisoft. Raving rabbids: Alone and kicking. <http://rabbids-thegame.ubi.com/alive-and-kicking/en-us/>, 2012.
- [Vuz97] Vuzix Corporation. Vuzix - view the future. <http://vuzix.com/home/>, 1997.
- [VWK⁺09] Nora D. Volkow, Gene-Jack Wang, Scott H. Kollins, Tim L. Wigal, Jeffrey H. Newcorn, Frank Telang, Joanna S. Fowler, Wei Zhu, Jean Logan, Yeming Ma, Kith Pradhan, Christopher Wong, , and James M. Swanson. Evaluating dopamine reward pathway in adhd. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 302:1084 – 1091, 2009.
- [WB02] Greg Welch and Gary Bishop. *An Introduction to the Kalman Filter*. Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill, 2002.
- [Weg97] Suzanne Weghorst. Augmented reality and parkinson’s disease. *Commun. ACM*, 40(8):47 – 48, Aug 1997.
- [WFS97] Paul N. Wilson, Nigel Foreman, and Danae Stanton. Virtual reality, disability and rehabilitation. *Disability and Rehabilitation*, 19(6):213–220, 1997.
- [WG97] DR. Weinberger and B. Gallhofer. Cognitive function in schizophrenia. *International Clinical Psychopharmacology*, 12(4):S29 – S36, Sep 1997.
- [WHP⁺96] M. L. Wolraich, J. N. Hannah, T. Y. Pinnock, A. Baumgaertel, and J. Brown. Comparison of diagnostic criteria for attention-deficit hyperactivity disorder in a county-wide sample. *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiat.*, 35:319 – 324, 1996.
- [Wig09] Sharon B. Wigal. Efficacy and safety limitations of attention-deficit hyperactivity disorder pharmacotherapy in children and adults. *CNS Drugs*, 23(S1):21–31, 2009.

- [WP88] MD. Welsh and BF. Pennington. Assessing frontal lobe functioning in children: views from developmental psychology. *Dev Neuropsychol*, 4:199 – 230, 1988.
- [WRM⁺10] D. Wagner, G. Reitmayr, A. Mulloni, T. Drummond, and D. Schmalstieg. Real-time detection and tracking for augmented reality on mobile phones. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 16(3):355 – 368, May - Jun 2010.
- [WT09] Jonathan Williams and Eric Taylor. The evolution of hyperactivity, impulsivity and cognitive diversity. *Journal of the Royal Society Interface*, 3:399 – 413, 2009.
- [WWWC04] Rafal Wojciechowski, Krzysztof Walczak, Martin White, and Wojciech Cellary. Building virtual and augmented reality museum exhibitions. In *Proceedings of the ninth international conference on 3D Web technology*, pages 135 – 144. ACM, 2004.
- [ZLB⁺86] Thomas G. Zimmerman, Jaron Lanier, Chuck Blanchard, Steve Bryson, and Young Harvill. A hand gesture interface device. *SIGCHI Bull.*, 17(SI):189 – 192, 1986.
- [ZNG⁺90] Alan J. Zametkin, Thomas E. Nordahl, Michael Gross, A. Catherine King, William E. Semple, Judith Rumsey, Susan Hamburger, and Robert M. Cohen. Cerebral glucose metabolism in adults with hyperactivity of childhood onset. *New England Journal of Medicine*, 323(20):1361–1366, 1990.