



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación



TESIS DOCTORAL

Desarrollo y validación de
sistemas de Realidad Aumentada
para edutainment y dispositivos
móviles



Autor:
David Furió Ferri

Directora:
Dra. M. Carmen Juan Lizandra

Valencia, Noviembre de 2013





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación

TESIS DOCTORAL

**Desarrollo y validación de
sistemas de Realidad Aumentada
para edutainment y dispositivos
móviles**

Autor:
David Furió

Directora:
Dra. M. Carmen Juan Lizandra

Tesis financiada principalmente por el Gobierno de España en el proyecto de investigación TIN2009-14319-C02-01 (APRENDRA). Tesis financiada parcialmente por el Gobierno de España en la acción complementaria internacional PCI2006-A7-0676 (GreenHunt), y por el instituto de automática e informática industrial (ai2) por medio de la beca de colaboración de la convocatoria de 2008.

A mi familia.

Resumen

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología con gran auge en los últimos años y, en especial, en dispositivos móviles. Es en dichos dispositivos móviles en los que el hardware y software disponibles presentan mayores diferencias respecto a sus predecesores. Diferencias que hacen que actualmente se puedan ejecutar correctamente aplicaciones de RA en tales dispositivos. La RA consiste en fusionar imagen real con objetos virtuales.

M-learning es una metodología de enseñanza que hace uso de dispositivos móviles. La enseñanza a través de *m-learning* presenta ciertas ventajas respecto a la enseñanza tradicional, como, por ejemplo, la capacidad de seguir aprendiendo fuera de los entornos educativos. Por otra parte, *edutainment* se refiere al contenido que se crea para educar y divertir al mismo tiempo.

El objetivo principal de esta tesis es el desarrollo y validación de juegos educativos para niños en dispositivos móviles. Los juegos desarrollados combinan *m-learning*, *edutainment* y RA. Los juegos incluyen mini-juegos con RA y sin RA. Para la interacción utilizan manipulación física (tangible), pantalla táctil o teclado, y acelerómetro. En los estudios realizados, los juegos se comparan con juego/enseñanza tradicional y otros dispositivos (Tablet PC) con el fin de observar la eficacia que tienen con respecto al conocimiento adquirido, la diversión, la facilidad de uso, y su influencia en los niños. Como dispositivos móviles se han utilizado el Nokia N95 8Gb y el iPhone 3GS. Estos teléfonos poseen las características mínimas necesarias para desarrollar juegos de RA (cámara, aceleración gráfica, etc.). Además, el iPhone presenta capacidades táctiles y acelerómetro, que permiten una interacción más completa y variada.

Se han desarrollado tres juegos educativos para niños con edades comprendidas entre 8 y 13 años. El juego ARGreenet, desarrollado para el teléfono Nokia N95 8Gb, trata de concienciar a los niños acerca del problema del cambio climático y de cómo pueden reducir su impacto ambiental mediante el reciclaje. Para el iPhone, se han desarrollado dos juegos. El primero de ellos, es un juego de

multiculturalidad donde los niños conocen alimentos, monumentos y animales típicos de los continentes más pobres del mundo. El segundo juego desarrollado para el iPhone trata sobre el ciclo del agua.

Se han llevado a cabo un total de seis estudios para determinar la eficacia de los juegos con respecto al aprendizaje, facilidad de uso, diversión, satisfacción, e influencia, en general, que tienen en los niños. En el primer estudio, se comparó la versión de RA (ARGreenet) con una versión sin RA (BasicGreenet). En el segundo estudio se comparó la versión individual de ARGreenet con una versión colaborativa del mismo juego (TeamARGreenet). En el tercer estudio se compararon tres versiones de ARGreenet: una individual, una colaborativa y una competitiva. Los resultados de estos tres estudios indican que ARGreenet influye en los niños de forma similar a la versión sin RA y que no hay diferencias estadísticas significativas entre las distintas versiones de ARGreenet. A pesar de este hecho, los niños prefirieron ARGreenet sobre BasicGreenet, y la versión competitiva sobre la individual y la colaborativa.

En el cuarto estudio se comparó el juego de multiculturalidad desarrollado para el iPhone con juegos tradicionales. Los resultados mostraron que los niños adquirieron conocimientos similares tanto con el juego desarrollado como con el tradicional. Además, una gran mayoría de niños indicó que prefería el juego del iPhone a los juegos tradicionales y que les gustaría volver a jugar de nuevo. Los niños obtuvieron resultados similares independientemente de que utilizaran el juego autónomo (iPhone) o el juego guiado (juegos tradicionales).

En el quinto estudio se comparó el juego del ciclo del agua con dos dispositivos móviles diferentes: un iPhone y un Tablet PC. De los resultados se puede observar que las diferentes características de los dispositivos (tamaño de la pantalla y peso) no influyeron en los niños con respecto al conocimiento adquirido. En el sexto estudio se comparó el juego del ciclo del agua con una lección de clase tradicional. De los resultados se puede observar que el juego del ciclo del agua demostró ser igual de eficaz que la lección de clase con respecto al conocimiento adquirido. Pero, además, el juego del iPhone consiguió motivar más a los niños.

De los estudios realizados se han extraído las siguientes conclusiones generales:

- Los dispositivos móviles poseen características adecuadas (cámara, pantalla táctil, acelerómetro, GPS) para ayudar en el proceso de aprendizaje.
- La inclusión de RA en el juego permite a los niños explorar lo que se está aprendiendo desde diferentes perspectivas, de forma fácil e intuitiva.

- A la mayoría de los niños les gustaría utilizar RA en clase como herramienta de aprendizaje.
- Los juegos educativos en dispositivos móviles son efectivos a la hora de transmitir conocimiento.
- El tipo de juego desarrollado facilita versatilidad en el proceso de aprendizaje, ya que con un dispositivo móvil se puede aprender en cualquier lugar, sin que se precise supervisión. Por lo tanto, podrían utilizarse como complemento a las clases tradicionales.
- El uso de dispositivos móviles con diferentes características físicas (tamaño de la pantalla y peso) no influye significativamente en el aprendizaje adquirido. Pero, son aspectos a considerar en función de la edad.

Resum

La Realitat Augmentada (RA) es una tecnologia amb gran auge en els últims anys i, especialment, en dispositius mòbils. Es en aquestos dispositius mòbils en els que el maquinari i el programari disponibles presenten majors diferències respecte als seus predecessors. Diferències que fan que actualment es puguen executar correctament aplicacions de RA en tals dispositius. La RA consisteix en fusionar imatges reals amb objectes virtuals.

M-learning es una metodologia d'ensenyament que fa ús de dispositius mòbils. L'ensenyament a través de *m-learning* presenta certs avantatges respecte a l'ensenyament tradicional, com, per exemple, la capacitat de seguir aprenent fora dels entorns educatius. Per altra part, *edutainment* es refereix al contingut que es crea per educar i divertir al mateix temps.

L'objectiu principal d'aquesta tesi es el desenvolupament i validació de jocs educatius per a xiquets en dispositius mòbils. Els jocs desenvolupats combinen *m-learning*, *edutainment* i RA. Els jocs inclouen mini-jocs amb RA i sense RA. Per a la interacció utilitzen manipulació física (tangibile), pantalla tàctil o teclat, i acceleròmetre. En els estudis realitzats, els jocs es comparen amb joc/ensenyament tradicional i altres dispositius (Tablet PC) amb l'objectiu d'observar l'eficàcia que tenen respecte el coneixement adquirit, la diversió, la facilitat d'ús, i la seua influència en els xiquets. Com a dispositius mòbils s'han utilitzat el Nokia N95 8Gb i l'iPhone 3GS. Aquestos telèfons posseeixen les característiques mínimes necessàries per desenvolupar jocs de RA (càmera, acceleració gràfica, etc.). A més, l'iPhone presenta capacitats tàctils i acceleròmetre, que permeten una interacció més completa i variada.

S'han desenvolupat tres jocs educatius per a xiquets amb edats compreses entre 8 i 13 anys. El joc ARGreenet, desenvolupat per al telèfon Nokia N95 8Gb, tracta de conscienciar als xiquets sobre el problema del canvi climàtic i de cóm poden reduir el seu impacte ambiental mitjançant el reciclatge. Per a l'iPhone, s'han desenvolupat dos jocs. El primer d'ells, es un joc de multiculturalitat on

els xiquets coneixen aliments, monuments i animals típics dels continents més pobres del món. El segon joc desenvolupat per a l'iPhone tracta sobre el cicle de l'aigua.

S'han portat a terme un total de sis estudis per determinar l'eficàcia dels jocs respecte a l'aprenentatge, facilitat d'ús, diversió, satisfacció, i influència, en general, que tenen en els xiquets. En el primer estudi, es comparà la versió de RA (ARGreenet) amb una versió sense RA (BasicGreenet). En el segon estudi es comparà la versió individual de ARGreenet amb una versió col·laborativa del mateix joc (TeamARGreenet). En el tercer estudi es compararen tres versions de ARGreenet: una individual, una col·laborativa i una competitiva. Els resultats d'aquests tres estudis indiquen que ARGreenet influeix en els xiquets de forma similar a la versió sense RA i que no hi ha diferències estadístiques significatives entre les distintes versions d'ARGreenet. Malgrat aquest fet, els xiquets preferiren ARGreenet sobre BasicGreenet, i la versió competitiva sobre la individual i la col·laborativa.

En el quart estudi es comparà el joc de multiculturalitat desenvolupat per a l'iPhone amb jocs tradicionals. Els resultats mostraren que els xiquets adquireixen coneixements similars tant amb el joc desenvolupat com amb el tradicional. A més, una gran majoria de xiquets indicà que preferia el joc de l'iPhone als jocs tradicionals i que els agradaria tornar a jugar de nou. Els xiquets obtingueren resultats similars independentment de que utilitzaren el joc autònom (iPhone) o el joc guiat (jocs tradicionals).

En el quint estudi es comparà el joc del cicle de l'aigua amb dos dispositius mòbils diferents: un iPhone i un Tablet PC. Dels resultats es pot observar que les diferents característiques dels dispositius (grandària de la pantalla i pes) no influïren en els xiquets respecte al coneixement adquirit. En el sext estudi es comparà el joc del cicle de l'aigua amb una lliçó de classe tradicional. Dels resultats es pot observar que el joc del cicle de l'aigua demostrà ser igual d'eficaç que la lliçó de classe respecte al coneixement adquirit. Però, a més, el joc de l'iPhone aconseguí motivar més als xiquets.

Dels estudis realitzats s'han extret les següents conclusions generals:

- Els dispositius mòbils posseeixen característiques adequades (càmera, pantalla tàctil, acceleròmetre, GPS) per ajudar en el procés d'aprenentatge.
- La inclusió de RA en el joc permet als estudiants explorar el que s'està aprenent des de diferent perspectives, de forma fàcil i intuïtiva.
- A la majoria dels estudiants els agradaria utilitzar RA a l'aula com a ferramenta d'aprenentatge.

- Els jocs educatius en dispositius mòbils son efectius a l'hora de transmetre coneixement.
- El tipus de joc desenvolupat facilita versatilitat en el procés d'aprenentatge, ja que amb un dispositiu mòbil es pot aprendre en qualsevol lloc, sense que es precise supervisió. Per tant, podrien utilitzar-se com a complement a les classes tradicionals.
- L'ús de dispositius mòbils amb diferents característiques físiques (grandària de la pantalla i pes) no influeixen significativament en l'aprenentatge adquirit. Però, son aspectes a considerar en funció de l'edat.

Abstract

Augmented Reality (AR) is a technology that has boomed in the last few years especially in mobile devices. It is in mobile devices in which the hardware and software that are now available present the greatest advances over their predecessors. These advances currently make it possible to run AR applications on mobile devices without problems. The main objective of this thesis is the development and validation of mobile educational games for children. The developed games combine m-learning, edutainment and AR.

M-learning is a learning methodology that uses mobile devices. Teaching through m-learning has some advantages over traditional teaching (i.e., the capability to continue to learn outside of educational environments). Edutainment refers to the content created to educate and entertain at the same time. AR consists in merging real images with virtual objects.

The games that were developed include mini-games with and without AR. Physical manipulation (tangible), keyboards or tactile screens, and accelerometers are used for the interaction. In the studies carried out, the games are compared with traditional games/teaching and other devices (Tablet PC) in order to observe the efficacy that these games have regarding the acquired knowledge, engagement, ease of use, and their influence on children. The Nokia N95 8Gb and the iPhone 3GS have been used as mobile devices. These devices have the minimum requirements for developing AR games (a camera, graphics acceleration, etc.). In addition, the iPhone has a tactile screen and an accelerometer, which allow for more complete and varied interactions.

Three mobile educational games for children ranging in age between 8 and 13 years old have been developed. ARGreenet, which was developed for the Nokia N95 8Gb, aims to raise children's awareness of climate change and how they can reduce their environmental footprint by recycling. Two games were developed for the iPhone. The first one is a game about multiculturalism in which children learn about the food, monuments, and typical animals of the

poorest continents in the world. The second game is about the water cycle.

A total of six studies were carried out to determine the efficacy of the games with regard to learning, ease of use, engagement and fun, satisfaction, and the influence they have on children. In the first study, the AR version (ARGreenet) was compared to a non-AR version (BasicGreenet). In the second study, an individual version of ARGreenet was compared to a collaborative version of the same game (TeamARGreenet). In the third study, three ARGreenet versions were compared: an individual, a collaborative, and a competitive version. The results of these three studies showed that ARGreenet influences the children in a way similar to the non-AR version and that there are no significant statistical differences among the different versions of ARGreenet. Despite this fact, the children preferred ARGreenet over BasicGreenet, and preferred the competitive version over the individual and the collaborative versions.

In the fourth study, the game about multiculturalism was compared to traditional games. The results showed that the children acquired similar knowledge with both the traditional and the iPhone games. Also, a great majority indicated that they preferred the iPhone game over the traditional games and that they would like to play the game again. The children achieved similar knowledge improvements using both the autonomous game (iPhone game) and the custom, guided game (traditional games).

In the fifth study, the game about the water cycle was analyzed using two different mobile devices: an iPhone and a Tablet PC. From the results, it can be observed that the different features of the devices (size of the screen and weight) did not influence the children with regard to the acquired knowledge. In the sixth study, the game about the water cycle was compared to a traditional lesson. From the results, it can be observed that the game proved to be as effective as the traditional lesson regarding the acquired knowledge. However, the iPhone game also achieved a greater motivational effect on the children.

The following general conclusions have been extracted from the studies carried out:

- Mobile devices possess the appropriate features (camera, tactile screen, accelerometer, GPS) to help in the learning process.
- The inclusion of AR in the game allows the children to explore what they are learning from different perspectives in an easy and intuitive way.
- Most children would like to use AR in a classroom as a learning tool.
- Mobile educational games are effective in transmitting knowledge.

- The type of game developed makes versatility in the learning process easier to achieve, since, children can learn anywhere at any time with a mobile device without requiring supervision. Therefore, these games can be used as a complement to traditional lessons.
- The use of mobile devices with different physical features (size of the screen and weight) does not significantly influence the knowledge acquired. Nevertheless, they are aspects to be considered when taking the age of the participants into account.

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a:

- A mi familia.
- A mi directoria, M.Carmen Juan, por toda la ayuda prestada.
- A mi compañero de trabajo, Santiago González.
- A M. José Vicent.
- A AIJU, y especialmente a Natxo Seguí, Noemí Rando, Encarna Torres y Severino González.
- A l'«Escola d'Estiu» y especialmente a Juan Cano, Miguelón Giménez y Javier Irimia, por su colaboración.

Esta tesis no hubiese sido posible sin su colaboración.

Índice general

1	Introducción	1
1.1	Hipótesis y objetivos	4
1.2	Estructura de la tesis	5
2	Estado del Arte	7
2.1	¿Qué es la Realidad Aumentada?	7
2.2	Clasificación de los sistemas de Realidad Aumentada	9
2.3	Campos de aplicación	10
2.3.1	Educación y <i>Edutainment</i>	10
2.3.2	Otros campos de aplicación	23
3	ARGreenet	29
3.1	Introducción	30
3.2	Desarrollo	31
3.2.1	Symbian OS	31
3.2.2	Carbide.vs	33
3.2.3	SDK S60 3 rd Edition Feature Pack 1	33
3.2.4	La cámara	33
3.2.5	ARToolKit	35
3.2.6	Ficheros XML	37
3.2.7	Servidor Apache HTTP	38
3.2.8	Funcionamiento del juego	43
3.2.9	Requisitos técnicos	45
3.3	Descripción del juego	46
3.3.1	Cubos y objetos reciclables	48
3.3.2	Versiones del juego	48
3.4	Estudio comparativo entre BasicGreenet vs. ARGreenet	51

3.4.1	Participantes	51
3.4.2	BasicGreenet	51
3.4.3	Medidas	52
3.4.4	Procedimiento	55
3.4.5	Resultados	55
3.4.6	Conclusiones	60
3.5	Estudio comparativo entre ARGreenet vs. TeamARGreenet	61
3.5.1	Participantes	61
3.5.2	TeamARGreenet	61
3.5.3	Medidas	62
3.5.4	Procedimiento	62
3.5.5	Resultados	62
3.5.6	Conclusiones	67
3.6	Estudio comparativo de las versiones individual, colaborativa y competitiva de ARGreenet	68
3.6.1	Participantes	68
3.6.2	Versiones de ARGreenet	68
3.6.3	Medidas	69
3.6.4	Procedimiento	71
3.6.5	Resultados	72
3.6.6	Conclusiones	77
3.7	Trabajos futuros	80
4	APRENDRA: Multiculturalidad	81
4.1	Introducción	81
4.2	Estudio preliminar	82
4.3	Diseño del juego	85
4.3.1	Teorías y principios	88
4.4	Desarrollo	90
4.4.1	Objective-C	90
4.4.2	iOS	94
4.4.3	ARToolKitPlus	98
4.4.4	Blender	103
4.4.5	SIO2	103
4.4.6	Funcionamiento del juego	109
4.4.7	Requisitos técnicos	111
4.5	Descripción del juego	112
4.6	Estudio comparativo entre el juego del iPhone vs. juego tradicional	118
4.6.1	Participantes	118

4.6.2	Juego Tradicional	118
4.6.3	Medidas	119
4.6.4	Procedimiento	124
4.6.5	Variables	124
4.7	Resultados	125
4.7.1	Aprendizaje	125
4.7.2	Otros aspectos considerados	127
4.7.3	Hojas de observación	129
4.8	Conclusiones y trabajos futuros	130
4.8.1	Estudio Preliminar	130
4.8.2	El juego del iPhone y la RA	132
4.8.3	Aprendizaje	132
4.8.4	Usabilidad	135
4.8.5	Trabajos futuros	135
5	APRENDRA: El Ciclo del Agua	137
5.1	Introducción	137
5.2	Diseño del juego	138
5.3	Desarrollo	139
5.3.1	La cámara en iOS 4	141
5.3.2	Requisitos técnicos	141
5.4	Descripción del juego	143
5.5	Estudio comparativo entre el juego para el iPhone vs. Tablet PC	146
5.5.1	Participantes	146
5.5.2	Medidas	147
5.5.3	Procedimiento	148
5.5.4	Resultados	149
5.5.5	Conclusiones y trabajos futuros	151
5.6	Estudio comparativo entre el juego para el iPhone vs. una clase tradicional	153
5.6.1	Participantes	154
5.6.2	Medidas	154
5.6.3	Procedimiento	158
5.6.4	Resultados	159
5.6.5	Conclusiones y trabajos futuros	165
6	Conclusiones	169
6.1	Conclusiones	169
6.2	Trabajos futuros	172

6.3 Publicaciones	173
6B Conclusions (English version)	175
6B.1 Conclusions	175
6B.2 Future work	178
6B.3 Publications	179
Bibliografía	181
Apéndices	193
A ARToolKit	195
A.1 Tracking	195
A.2 Búsqueda de marcadores: Cálculo de la matriz de transformación	195
A.3 Calibración de la cámara	200
A.4 Creación de marcadores	202

Índice de figuras

1.1	Ventajas del <i>m-learning</i>	3
2.1	Representación del continuo de virtualidad.	7
2.2	Ejemplo de RA.	8
2.3	Modelo físico y sistema con RA utilizados por Chen (2006).	12
2.4	Módulo de la plataforma ARISE.	13
2.5	RoboStage en funcionamiento.	14
2.6	Historia interactiva del Rey León usando RA.	16
2.7	Sistema de RA sobre el cuerpo humano.	17
2.8	Sistemas de visualización usados por Fassbender et al. (2012)	17
2.9	Pantalla del juego sobre ingeniería civil con tres posibles respuestas.	19
2.10	Juego de RA para aprender palabras.	19
2.11	Juego de RA que consiste en buscar un animal en peligro de extinción.	20
2.12	Fase del juego donde el analista tiene que identificar los requisitos.	21
2.13	Juego de RA que consiste en buscar parejas de animales en peligro de extinción.	22
2.14	El videojuego «Tycoon City: New York!».	22
2.15	Wikitude Drive en funcionamiento.	23
2.16	Imágenes de ARQuake.	25
2.17	Tratamiento de fobias.	25
2.18	Ejemplo de RA para el diseño de un coche antes de su construcción.	26
2.19	Furgoneta aumentada con distintos tipos de frontales.	27
2.20	Realización de una tarea de mantenimiento utilizando ARMAR.	27
3.1	Arquitectura del sistema operativo Symbian OS.	32

3.2	Pasos para realizar la captura de imágenes con la cámara en Sym- bian C++.	34
3.3	Pasos a seguir para realizar las llamadas GET (negro) y POST (azul).	42
3.4	Esquema principal del bucle del juego.	44
3.5	Marcadores utilizados durante el juego.	46
3.6	Imágenes de ARGreenet.	47
3.7	Ejemplos de cubos de reciclaje y residuos.	49
3.8	Pasos a seguir para empezar una partida.	50
3.9	Imágenes de BasicGreenet.	51
3.10	Procedimiento del estudio.	56
3.11	Procedimiento del estudio.	63
3.12	Procedimiento del estudio.	72
3.13	Diagramas de cajas del cuestionario inicial.	73
3.14	Diagrama de cajas de los resultados del segundo cuestionario.	76
3.15	Preferencias de las versiones de ARGreenet.	77
3.16	Correlaciones entre variables.	78
4.1	Participantes que pertenecen a un tipo de contexto profesional (en porcentaje).	84
4.2	Tipos de juegos preferidos (en porcentaje).	84
4.3	Preferencias temáticas (en porcentaje).	85
4.4	Fases de la metodología del ciclo de vida de desarrollo de sistemas utilizadas para el desarrollo y validación del juego.	86
4.5	Evolución del diseño del mini-juego de los cacahuets en el con- tinento de África.	87
4.6	Arquitectura de iOS.	94
4.7	ARToolKitPlus <i>pipeline</i> .	99
4.8	Flujo de datos en ARToolKitPlus. En cada bloque se ejecuta un algoritmo.	100
4.9	Bucle principal del juego.	110
4.10	Imágenes del juego.	114
4.11	Estructura general de los continentes.	115
4.12	Imágenes del juego tradicional.	119
4.13	Procedimiento del estudio.	124
4.14	Gráficas de la variable dependiente Preferencia respecto a las va- riables independientes Grupo, Curso y Género.	128

4.15	Diagrama de cajas de los diferentes aspectos analizados por los profesionales que observaban a los niños durante el juego tradicional.	131
4.16	Diagrama de cajas de los diferentes aspectos analizados por los profesionales que observaban a los niños durante el juego del iPhone.	131
5.1	Evolución del diseño del mini-juego de recoger objetos contaminantes en el río.	140
5.2	Pasos para realizar la captura de imágenes con la cámara en iOS.	142
5.3	Imágenes del juego.	144
5.4	Estructura del juego.	146
5.5	Procedimiento del estudio.	148
5.6	Puntuación de las preguntas de conocimiento en los cuestionarios Q1 y Q2.	149
5.7	Procedimiento del estudio.	158
5.8	Puntuación de las preguntas de conocimiento en el pre-test (Q1) y en el post-test (Q2-iPhone y Q2-TR).	160
5.9	Puntuación de las preguntas de satisfacción con respecto a los métodos del iPhone y la clase tradicional.	162
5.10	Preferencias del método en los grupos A y B.	164
5.11	Preferencia del tipo de tecnología utilizado en los mini-juegos.	164
A.1	Operaciones realizadas durante el <i>tracking</i> de ARToolKit.	196
A.2	Cálculo de la matriz de coordenadas de la cámara a partir de las coordenadas del patrón.	197
A.3	Distorsión producida por la lente de la cámara y corrección de esta distorsión.	197
A.4	Relación existente entre las coordenadas del patrón y las coordenadas de la cámara.	198
A.5	Planos de los que se obtiene la dirección del vector intersección.	199
A.6	Patrón de calibración.	201
A.7	Proceso de calibración.	201

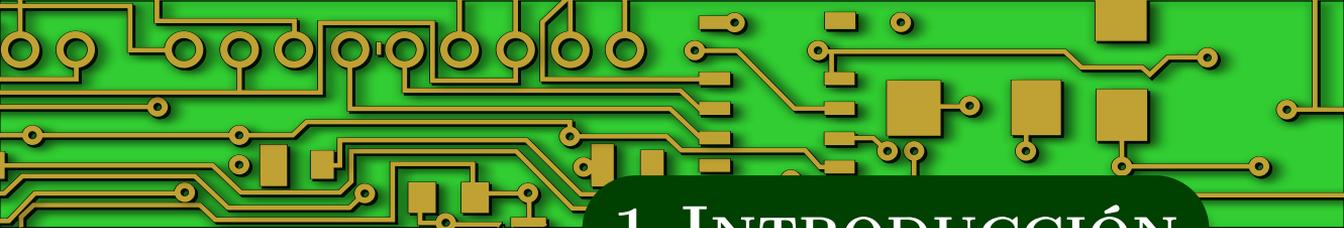
Índice de tablas

3.1	Parámetros del juego.	48
3.2	EQ: Cuestionario inicial.	53
3.3	PQ: Cuestionario post-juego.	54
3.4	PQ: Cuestionario final.	54
3.5	PRQ: Cuestionario de presencia.	55
3.6	Puntuaciones del cuestionario inicial.	56
3.7	Análisis de pruebas t de los resultados	57
3.8	Análisis ANOVA de un sólo factor de los resultados de ARGreenet.	58
3.9	Análisis ANOVA de un sólo factor de BasicGreenet.	58
3.10	Puntuaciones de para las preguntas del cuestionario inicial	63
3.11	Análisis pruebas t de los resultados del post-test.	64
3.12	Análisis ANOVA de un sólo factor de ARGreenet.	65
3.13	Análisis ANOVA de un sólo factor de TeamARGreenet	65
3.14	Análisis ANOVA de un sólo factor para cuando ARGreenet y TeamARGreenet se usaron en primer lugar.	66
3.15	Cuestionario inicial: IQ.	69
3.16	Cuestionario post-versión: PQ.	70
3.17	Cuestionario final: FQ	70
3.18	Resultados del análisis ANOVA para la facilidad de uso.	73
3.19	Resultados del análisis ANOVA para la diversión.	73
3.20	Resultados del análisis ANOVA para la actitud.	74
3.21	Resultados del análisis ANOVA para la percepción de aprendizaje.	74
3.22	Resultados del análisis ANOVA para la intención de cambio.	74
3.23	Resultados del análisis ANOVA para la actitud después de jugar a la primera versión.	75
4.1	Preguntas del estudio preliminar.	83

4.2	Comparación de la información transmitida sobre América Central y del Sur en los métodos tradicional y iPhone.	120
4.3	Cuestionario QRA1/QTR1.	122
4.4	Cuestionario QRA2/QTR2.	123
4.5	Resultados del análisis ANOVA multifactorial para el número de respuestas correctas.	126
4.6	Resultados del análisis ANOVA multifactorial para la variable satisfacción	129
5.1	Q1: Preguntas del cuestionario inicial.	147
5.2	ANOVA mixto para las puntuaciones de la variable de conocimiento	150
5.3	Q2-TR: Preguntas del cuestionario después de asistir a la lección de clase.	155
5.4	Q2-iPhone: Preguntas del cuestionario de después de jugar al primer juego.	156
5.5	Q3-iPhone: Preguntas del cuestionario final para el iPhone.	157
5.6	Q3-TR: Preguntas del cuestionario final para la lección de clase tradicional.	158
5.7	ANOVA mixto para las puntuaciones de la variable Conocimiento entre cuestionarios	160
5.8	ANOVA multifactorial para las puntuaciones de la variable Conocimiento entre métodos	161
5.9	ANOVA multifactorial para la variable Satisfacción.	162
5.10	T-tests de las preguntas correspondientes con la variable Satisfacción.	163
6.1	Resumen de los distintos estudios realizados.	170
6B.1	Summary of the studies carried out.	176

Índice de códigos

3.1	Modificaciones del archivo de configuración de ARToolKit para utilizarlo en Symbian.	36
3.2	Funciones portadas a Symbian del ARToolKit original.	36
3.3	Ejemplo de fichero XML con preguntas.	38
3.4	Modificaciones del archivo de configuración <i>php.ini</i>	39
3.5	Modificaciones del archivo de configuración <i>httpd.conf</i>	40
3.6	Ejemplo de consulta al servidor.	41
4.1	Envío de mensajes en C++ y Objective-C	91
4.2	Declaración de la interfaz de una clase en C++ y Objective-C	92
4.3	Implementación de las clases en C++ y Objective-C	93
4.4	Instanciación de un objeto en Objective-C	93
4.5	Extracción de las cabeceras privadas del <i>framework PhotoLibrary</i>	96
4.6	Código para crear una instancia de la cámara en iOS 3.	97
4.7	Código para obtener las imágenes de la cámara.	98
4.8	Modificaciones del archivo de configuración de ARToolKitPlus para utilizarlo en iOS.	101
4.9	Pseudocódigo para la inicialización del <i>tracker</i> de ARToolKitPlus.	102
4.10	Inicialización de SIO2 v1.4.	103
4.11	Inicialización de un recurso.	104
4.12	Dibujar una escena con SIO2.	105
4.13	Capturar eventos táctiles y del acelerómetro con SIO2.	106
4.14	Ejemplo de evento táctil.	106
4.15	Pseudocódigo para seleccionar un objeto con SIO2.	107
4.16	Finalizar una aplicación con SIO2.	108



1 INTRODUCCIÓN

Hay una creencia cada vez mayor de que los métodos de aprendizaje y los estudiantes están cambiando. Los estudiantes de hoy en día han crecido con juegos de ordenador y otras tecnologías que han cambiado sus preferencias de ocio, su interacción social e incluso sus preferencias de aprendizaje (Bekebrede et al., 2011). Debido a que los niños están acostumbrados al uso de este tipo de tecnología tales como ordenadores, consolas, teléfonos móviles, etc., a esta generación se la conoce como *gamer generation* – generación de jugadores de videojuegos – (Beck & Wade, 2004, 2006). Beck y Wade también destacan que esta generación tiene «diferentes maneras de trabajar» que son consecuencia de «un factor fundamental: el haber crecido con videojuegos». Este cambio en la forma de pensar de los niños también requiere un cambio en los métodos de enseñanza.

Los profesores siempre están buscando nuevas formas de mejorar el aprendizaje (Veenema & Gardner, 1996), usando herramientas que puedan estimular en todos los sentidos a los estudiantes (Tan et al., 2008), ya que es posible que los niños aprendan mejor cuantos más sentidos estén involucrados (Sandor & Klinker, 2005). Por tanto, el juego pasa a ser una actividad esencial para mejorar el desarrollo físico, mental, emocional y social de un niño, ya que es una forma natural de aprendizaje donde se utilizan todos los sentidos para resolver los problemas (Rapeepisarn et al., 2006). El juego puede ayudar a los niños a experimentar un mayor aprendizaje que si estuvieran en clase (Gee, 2003) y a estimularlos para entender nuevos conceptos que de otra forma serían difíciles de reproducir (Blecic et al., 2002; Squire et al., 2004). Además, la participación permite desarrollar capacidades, habilidades, etc. (Blecic et al., 2002). Jugar es divertido, lo cual es importante cuando se intentan conseguir objetivos en el aprendizaje, ya que lo que se aprende de forma divertida es menos probable que sea olvidado (Blecic et al., 2002).

Los juegos educativos combinan el juego con el aprendizaje a través de técnicas participativas que están dirigidas a desarrollar el conocimiento y las habilidades de los niños. Este tipo de juegos también se puede usar para reforzar el conocimiento adquirido en el colegio. Psicólogos y filósofos han estudiado la influencia que tiene jugar sobre el proceso de aprendizaje y han concluido que el entretenimiento es un factor importante que ayuda a los niños a mejorar dicho proceso (Albert & Mori, 2001; Taran, 2005). Kebritchi y Hirumi (2008) han identificado cinco razones para definir el aprendizaje basado en el juego como

una herramienta efectiva de aprendizaje:

1. En el juego se usa la acción en vez de la explicación.
2. Jugar crea motivación y satisfacción.
3. El juego acomoda varios estilos de aprendizaje y habilidades.
4. El juego refuerza y mejora las habilidades.
5. Jugar proporciona un contexto interactivo y hace que los niños tomen decisiones.

Debido a la multidimensionalidad del aprendizaje en este tipo de juegos, se deberían considerar en su evaluación aspectos técnicos, de orientación, afectivos, cognitivos y pedagógicos (Lewin, 1997). Los aspectos técnicos examinarían los problemas de usabilidad respecto a la interfaz de usuario, como pueden ser la navegación, orientación espacial, presencia e inmersión, etc. Los aspectos afectivos evaluarían la diversión del usuario y la confianza en el sistema. Los aspectos cognitivos identificarían cualquier mejora de los conocimientos del niño. Finalmente, los aspectos pedagógicos se ocuparían de cómo aprender de manera efectiva. Hasta ahora, se han desarrollado muchos videojuegos educativos, pero, como han indicado varios investigadores (Connolly et al., 2007; De Freitas, 2006; O'Neil et al., 2005; Squire, 2002), muy pocos de ellos han realizado un análisis completo. Tampoco hay muchos estudios que comparen la efectividad de los videojuegos con otros métodos de aprendizaje, como pueden ser las clases (Leemkuil, 2006). Otro aspecto que señalan los investigadores es el desarrollo de juegos educativos sin teorías coherentes de aprendizaje (Shaffer et al., 2005).

Edutainment es un término que une educación y entretenimiento. A diferencia de otros métodos de aprendizaje, el *edutainment* depende fuertemente del uso de la tecnología (como, por ejemplo, los videojuegos) (Pan, 2006). Como se ha demostrado en varios estudios, los juegos educativos digitales pueden tener beneficios significativos para los niños. Pueden mejorar el conocimiento, las habilidades y estimular la motivación y el interés (Fisch, 2005; Rigas & Ayad, 2010; Shelton & Hedley, 2002).

El incremento del uso de la tecnología móvil está permitiendo abrir nuevos caminos de aprendizaje. *M-learning* es un término que se refiere al uso de los dispositivos móviles en la educación (Sharples et al., 2002). *M-learning* posee algunas ventajas sobre otros métodos de aprendizaje (Figura 1.1). Por ejemplo, los dispositivos que se utilizan son pequeños, fáciles de llevar e inalámbricos. Esto hace que el proceso educacional sea flexible y adaptable. Los dispositivos

usados suelen ser más baratos que los ordenadores de sobremesa y tienen la ventaja de poder utilizarse en cualquier lugar y en cualquier momento (Georgiev et al., 2004; Jones & Jo, 2004; Earnshaw, 2011). Además, la tecnología móvil está empezando a convertirse en una plataforma importante para juegos (Facer et al., 2004). El analista del banco de inversión IBIS Capital, Merel, ha analizado exhaustivamente la industria del juego. Merel destaca que la inversión en juegos está moviéndose hacia las plataformas móviles y online (Merel, 2011). El mercado de los juegos para dispositivos móviles se ha revitalizado gracias al crecimiento de los *smartphones*. Según Earnshaw (2011), los campos de *m-learning* se puede clasificar en dos categorías:

- Trabajo: La persona experimenta situaciones del mundo real mediante el uso de los recursos del dispositivo móvil.
- Aprendizaje: Se utilizan mundos virtuales para enseñar y motivar a los estudiantes a través de contenido multimedia.

Earnshaw sugirió que un buen sistema de *m-learning* debería combinar el uso de estos dos campos (Earnshaw, 2011). Además, múltiples estudios sobre *m-learning* demuestran que los dispositivos móviles pueden ser herramientas eficaces para aprender (Thornton & Houser, 2005; Mcconatha et al., 2008). Si se consideran todos estos beneficios, los dispositivos móviles se pueden convertir en herramientas que podrían motivar a estudiantes en diferentes niveles durante sus actividades de aprendizaje (Tan et al., 2008).



Figura 1.1: Ventajas del *m-learning*.

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que superpone información virtual sobre la visión real del usuario, es decir, enriquece el mundo real del usuario con la presencia de objetos virtuales.

La tecnología de RA ha madurado hasta el punto en el que se puede usar de forma efectiva en diversos campos. La educación es un área en el que esta tecnología puede ser especialmente valiosa (Billinghurst, 2002). La RA tiene el potencial de captar y motivar estudiantes para explorar materias desde diferentes perspectivas (Kerawalla et al., 2006). Se ha demostrado que los sistemas de RA suelen impresionar a aquellos que los han experimentado (Ardito et al., 2007; Billinghurst et al., 2001) y que suelen ser útiles a la hora de enseñar temas que los estudiantes no podrían experimentar de primera mano en el mundo real (Kerawalla et al., 2006). Se han realizado varios experimentos que han demostrado que la RA proporciona una gran experiencia visual y cognitiva para los usuarios (Shelton & Hedley, 2004). Algunas ventajas que la RA puede ofrecer son la habilidad de manipular información virtual (Billinghurst, 2002) y la interacción que los usuarios pueden realizar entre los mundos real y virtual. Esto es algo imposible de realizar en entornos totalmente virtuales. Como indican Shelton y Hedley (2002), con RA los usuarios no tienen que usar la imaginación para ver lo que está ocurriendo: «Con RA, no hay necesidad de pretender que una manzana es la Tierra. La Tierra está justo ahí, situada como un objeto delante de los ojos de los usuarios».

1.1 Hipótesis y objetivos

El objetivo fundamental de la presente tesis es el desarrollo y validación de juegos educativos para niños en dispositivos móviles. Se estudiará cómo afectan distintos factores en el aprendizaje y otros aspectos tales como aprendizaje percibido, usabilidad, diversión, o satisfacción general. Dichos factores son:

- Combinación de RA y no-RA.
- Características de los dispositivos (tamaño y peso).
- Distintas formas de interacción (tangibles, pantalla táctil, o acelerómetro).
- Versiones individuales, colaborativas, y competitivas de un mismo juego.

Las hipótesis de trabajo son las siguientes:

- Habrá diferencias estadísticas significativas entre el conocimiento inicial antes de jugar a los juegos y el conocimiento adquirido tras el juego.
- No habrá diferencias estadísticas significativas entre los juegos desarrollados y juego/enseñanza tradicional utilizados respecto al conocimiento adquirido, diversión, facilidad de uso, y satisfacción.
- Habrá diferencias estadísticas significativas al usar dispositivos con características diferentes (tamaño de la pantalla y peso) respecto al conocimiento adquirido.

1.2 Estructura de la tesis

Esta tesis se ha dividido en seis capítulos más bibliografía y apéndices. En el primero de ellos, Introducción, se presenta la motivación de la tesis, y se exponen las hipótesis de trabajo y los objetivos perseguidos. En el segundo capítulo, Estado del Arte, se define qué es la RA, se menciona una clasificación de los sistemas de RA, se citan ejemplos de campos de aplicación, con especial hincapié en los campos objeto de la presente tesis, educación y *edutainment*. Los capítulos tercero, cuarto y quinto presentan los juegos desarrollados, describiendo las partes más importantes de los mismos, las herramientas utilizadas y la implementación. También se presentan los estudios, los resultados de los mismos, así como las conclusiones. Concretamente, el tercer capítulo se centra en ARGreenet, juego desarrollado para el Nokia N95 8Gb y para concienciar de la importancia del reciclaje. Por su parte, los capítulos cuarto y quinto presentan los desarrollos y resultados obtenidos al amparo del proyecto APRENDRA. En estos dos casos, el dispositivo utilizado ha sido un iPhone. El capítulo cuarto presenta un juego sobre multiculturalidad. El quinto capítulo se centra en un juego para aprender el ciclo del agua. En el sexto capítulo, Conclusiones, se enumeran las conclusiones generales obtenidas, así como los posibles trabajos futuros y las publicaciones derivadas de esta tesis. En la Bibliografía se encuentran las fuentes bibliográficas utilizadas.

2 ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se va a definir el concepto de RA y se van a describir, de forma breve, las distintas aplicaciones y usos que puede tener. El estado del arte de esta tesis se centra en los últimos estudios realizados sobre juegos educativos que utilizan RA.

2.1 ¿Qué es la Realidad Aumentada?

Milgram y Kishino (1994) definieron el «continuo de virtualidad» (Figura 2.1) como una escala que va desde un entorno completamente real a un entorno completamente virtual, entre los que se incluyen la RA y la Virtualidad Aumentada (VA). La Realidad Mixta (RM) puede usarse para referirse a cualquier combinación de elementos reales y virtuales, e incluye tanto la RA como la VA. La RA se suele utilizar cuando esta combinación está más cerca del mundo real, es decir, cuando la escena es mayoritariamente real. En cambio, la VA normalmente se utiliza cuando esta combinación está más cerca de un entorno virtual, es decir, cuando la escena es mayoritariamente virtual.

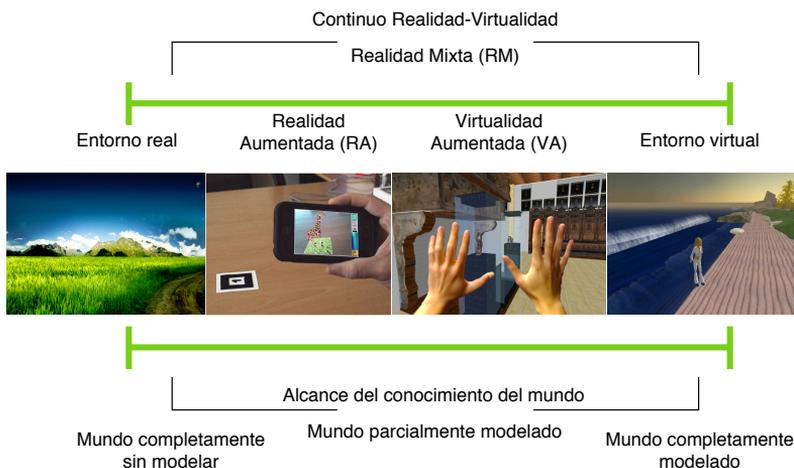


Figura 2.1: Representación del continuo de virtualidad.

Un sistema de RA permite al usuario ver el mundo real con objetos virtuales

superpuestos, que complementan la realidad. En una aplicación de RA ideal, no se debería distinguir el mundo real y los objetos virtuales, los cuáles parecerían coexistir en el mismo espacio logrando una fusión total de los dos entornos (Azuma, 1997). Existe una definición comúnmente aceptada de la misma que la define como sistemas que deben tener las siguientes tres características (Azuma, 1997):

- Combinación de realidad y virtualidad
- Interacción en tiempo real
- Registración en 3-D

Los sistemas de RA pueden utilizar una o más de las siguientes tecnologías: cámaras digitales, sensores ópticos, acelerómetros, GPS, giroscopios, RFID (Identificación por radiofrecuencia), etc. La combinación de algunos de estos elementos se presenta en algunos *smartphones* actuales. Hecho que los convierte en una posible plataforma de RA. En la Figura 2.2 se puede ver un ejemplo de RA. En ella, aparece un jugador de béisbol sobre la mano de una persona. El seguimiento de la posición y la orientación del objeto virtual se consigue gracias a la tarjeta que está sobre la mano.



Figura 2.2: Ejemplo de RA.

La RA es una tecnología que se está incorporando en muchos campos. La medicina, el entretenimiento, la educación, o la navegación han utilizado RA (van Krevelen & Poelman, 2010). Algunas ventajas que ofrece la RA son:

- Transiciones suaves entre la realidad y la virtualidad; el uso de interfaces tangibles que utiliza objetos físicos para manipular elementos virtuales.

- Los usuarios pueden interactuar entre el entorno real y el virtual, lo cuál es algo que no puede hacerse en los entornos totalmente virtuales.
- Los usuarios no tienen que utilizar su imaginación para visualizar lo que está ocurriendo, sino que pueden verlo.

2.2 Clasificación de los sistemas de Realidad Aumentada

Actualmente, no existe una única o clara clasificación de los sistemas de RA, sin embargo existen algunos términos que establecen cierta catalogación, atendiendo a distintos criterios (Portalés, 2008):

- Según el entorno físico en el que se desarrolla la aplicación, se puede diferenciar entre sistemas dentro de recintos o cerrados vs. sistemas al aire libre o abiertos. La diferencia entre aplicaciones dentro de recintos y las aplicaciones al aire libre condiciona muchos aspectos de los sistemas de RA establecidos, principalmente el tipo de dispositivos de registro y pantallas utilizados.
- Según la extensión que abarquen, se puede distinguir entre sistemas locales vs. ubicuos. Los sistemas locales se desarrollan en un ámbito acotado, bien en espacios abiertos o dentro de recintos.
- Según la movilidad de los dispositivos de registro y/o pantallas se puede distinguir entre sistemas móviles vs. sistemas espaciales. En los sistemas móviles generalmente el usuario lleva consigo los dispositivos de registro, la pantalla e, incluso, el ordenador o PDA que gestiona la aplicación. Estas aplicaciones son usuales, aunque no restrictivas, de espacios abiertos.
- Según el número de usuarios que simultáneamente pueden interactuar con el sistema, se puede distinguir entre sistemas individuales vs. colaborativos. Así pues, el sistema es individual cuando existe la posibilidad de interacción de un solo usuario, y colaborativa si existe, como mínimo, la posibilidad de participación de dos usuarios de forma simultánea.
- Según el tipo de colaboración establecida (para sistemas colaborativos), se puede distinguir entre sistemas presenciales o cara a cara vs. remotos. En las aplicaciones colaborativas, se distingue si los usuarios colaboran cara a cara, estando físicamente presentes en el mismo entorno, o si la

colaboración es remota, estableciéndose generalmente la comunicación a través de la red.

2.3 Campos de aplicación

La RA está generando un gran interés en investigadores, ingenieros de software y usuarios, convirtiéndose en un área actualmente en expansión. Así pues, se muestra como una nueva e interesante forma de interacción entre personas y ordenadores. El trabajo de los investigadores que utilizan RA ha conseguido dar su fruto dando origen a soluciones en muchos y diversos campos, tales como la medicina, la industria y otros muchos sectores. A continuación, se detalla el trabajo realizado en el campo de la educación y el *edutainment*. También se citan, de forma breve, otros sectores en los que se ha aplicado RA. Cabe destacar que la RA es aplicable a cualquier campo en el que añadir información que no existe en el mundo real ayuda al usuario en su tarea (van Krevelen & Poelman, 2010).

2.3.1 Educación y *Edutainment*

En los últimos años, gracias a las mejoras tecnológicas, se ha incrementado la producción de aplicaciones de RA para dispositivos móviles. Varios estudios de *m-learning* y RA se han presentado en este área particular, pero no hay muchos que se hayan realizado sobre niños, ni que hayan analizado el aprendizaje adquirido. También existe una falta de teorías de aprendizaje en el desarrollo de juegos educativos (Shaffer et al., 2005).

Estudios de *m-learning* y de RA móvil centrados en niños

En 2003, Ketamo desarrolló dos juegos ligeramente diferentes para un ordenador portátil para aprender geometría y un juego adaptativo para la PDA Compaq iPaq, también para aprender geometría (Ketamo, 2003a). Durante el juego, los niños tenían que buscar y marcar el polígono requerido. Se realizó un estudio compuesto por dos fases. La primera fase incluía tres grupos de niños de 6 años (dos grupos experimentales formados por 21 y 20 participantes, y un grupo de control formado por 30 niños). En esta fase, se comparaba un juego con pensamiento reflexivo, otro juego sin pensamiento reflexivo, y una clase tradicional. En la segunda fase sólo había un grupo experimental formado por 17 participantes, que se comparó con los grupos de la fase anterior. Los resultados de la

primera fase mostraron que ambos juegos ayudaron a los estudiantes con menor calificación a alcanzar la media. Ketamo concluyó que el resultado podría confirmar la premisa de que la enseñanza con ordenadores podría ayudar a los alumnos con menor calificación. La segunda fase mostró resultados similares a los de la primera fase, donde el juego benefició más a los estudiantes con baja calificación. Específicamente, la versión PDA del juego obtuvo un mayor efecto de aprendizaje en los alumnos con baja calificación, mientras que los alumnos situados en la media no obtuvieron una mejora significativa, de forma similar a los estudiantes de alta calificación de la primera fase. Como limitación, señalar que la muestra de la segunda fase fue pequeña.

En 2010, Huang et al. desarrollaron un Sistema Móvil de Aprendizaje sobre Plantas (Mobile Plant Learning System o MPLS) para una PDA con cámara para facilitar el aprendizaje de botánica entre los alumnos de enseñanza primaria (Huang et al., 2010). En el estudio participaron 32 niños con una media de edad de 11 años. Los participantes fueron divididos en dos grupos: un grupo experimental que utilizó el sistema MPLS y un grupo de control que usó un libro sobre plantas. La actividad consistía en observar las características de las hojas y, entonces, intentar encontrar la planta. Los resultados mostraron que los estudiantes que usaron la herramienta experimental tuvieron una mejor percepción acerca de las actividades de aprendizaje en exteriores. Los análisis revelaron que habían diferencias significativas en la actitud de los alumnos a favor del grupo experimental. Los participantes también indicaron tener algunas dificultades con la interfaz de usuario (IU), ya que emplearon mucho tiempo tecleando y usando la IU para grabar sus experiencias. A partir de los resultados obtenidos, Huang et al. concluyeron que la tecnología móvil y las actividades en exteriores podrían ser herramientas útiles para enseñar botánica a niños. Cabe comentar que esta actividad podría haberse beneficiado de una versión colaborativa que permitiese a los niños interactuar entre ellos, lo cuál podría mejorar el aprendizaje (Johnson & Johnson, 1981; Jones, 2006).

Estudios de aprendizaje con RA espacial centrados en niños

Con respecto a las aplicaciones educativas que usan RA desarrolladas para PCs y ordenadores portátiles, Chen condujo, en 2006, un estudio en el que comparaba el uso de la RA y modelos físicos en una clase de química (Chen, 2006). La aplicación fue desarrollada para ordenadores portátiles con *webcam*. En la Figura 2.3 se puede apreciar tanto el modelo físico como el sistema de RA desarrollado. Cuatro estudiantes participaron en las pruebas. El estudio evaluó sus percepciones respecto a los dos métodos de aprendizaje sobre aminoácidos me-

dian­te en­tre­vis­tas. De las en­tre­vis­tas se de­du­jo que a los es­tu­dian­tes les gustó ma­ni­pu­lar los ob­je­tos vir­tu­ales ro­tan­do los mar­ca­do­res de RA para ver las di­feren­tes orien­ta­cio­nes de éstos. La in­terac­ción de los par­ti­ci­pan­tes con la RA de­mos­tró que ten­dían a tra­tar los ob­je­tos vir­tu­ales como ob­je­tos re­ales. Sin em­bar­go, de­bido a la pe­que­ña mues­tra, es­tos re­sul­ta­dos de­berían cor­ro­bo­rarse con una mues­tra ma­yor. A­par­te de las en­tre­vis­tas, re­llenar cues­tiona­rios an­tes y de­pués de uti­li­zar la apli­ca­ción po­dría ha­ber ayu­da­do a los au­to­res a ob­te­ner más in­for­ma­ción so­bre su sis­te­ma.

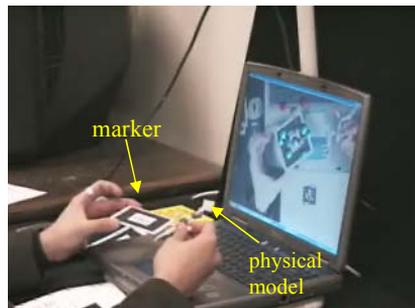


Figura 2.3: Modelo físico y sistema con RA utilizados por Chen (2006).

En 2007, Balog et al. presentaron el proyecto ARISE que, mediante RA, crea exposiciones virtuales como las que se usan en museos (Balog et al., 2007). Veinte estudiantes con edades comprendidas entre 13 y 17 años rellenaron un cuestionario de usabilidad. Los estudiantes evaluaron tres tipos de interacción (apuntar a un objeto real, seleccionar un objeto virtual y seleccionar una entrada de un menú) en una plataforma de RA formada por 4 módulos independientes organizados alrededor de una mesa en la que estaban colocados los objetos reales (ver Figura 2.4). Los resultados mostraron que a los participantes les gustó interactuar con objetos de RA ya que los ejercicios eran similares a los de un videojuego. Sin embargo, el estudio tuvo una muestra pequeña, lo que disminuye la importancia de los resultados. Además, no se compararon los distintos métodos de interacción utilizados.

En 2008, Freitas y Campos presentaron SMART, que consistía en un juego educativo similar a un *show* de televisión (Freitas & Campos, 2008). El sistema se componía de varias raquetas con marcadores de RA, una *webcam*, un PC, pantallas LCD, y proyectores. En las pruebas participaron 54 alumnos con edades comprendidas entre 7 y 8 años. El estudio comparaba a una clase usando métodos tradicionales con estudiantes que utilizaban el sistema SMART. Los



Figura 2.4: Módulo de la plataforma ARISE.

cuestionarios se centraban únicamente en preguntas de aprendizaje, con lo que no obtuvieron datos acerca de usabilidad, diversión, etc. Los análisis mostraron que el sistema SMART obtuvo mejores resultados que la enseñanza tradicional en alumnos con calificación baja y media. Sin embargo, el efecto que tuvo el sistema experimental en los mejores alumnos fue menos visible que en la clase tradicional. Cabe destacar que Freitas y Campos no evaluaron si había o no diferencias estadísticas entre los diferentes grupos (calificación baja, media y alta) y género (niños y niñas), ni compararon su sistema con otro método.

En 2010, Chang et al. presentaron RoboStage, un entorno de aprendizaje de RM con robots para ayudar a los estudiantes a que aprendiesen nuevas palabras (Chang et al., 2010). En la Figura 2.5 se puede ver el sistema en funcionamiento. En las pruebas participaron 36 estudiantes con edades comprendidas entre 13 y 14 años. Se formaron 4 grupos: dos de ellos completaron las actividades de aprendizaje utilizando un libro de inglés mientras que los otros dos grupos usaron RoboStage. La comparación entre los dos métodos mostró que RoboStage afectó positivamente a la motivación en aprender y al rendimiento. Los participantes sintieron que estaban poniendo realmente en práctica el uso del lenguaje cuando utilizaban los robots. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en cuanto a nuevas palabras aprendidas entre los dos métodos utilizados.

En 2010, Hsiao presentó un sistema de RA para aprender química (Chemistry Augmented Reality Learning System o CARLS) (Hsiao, 2010). En las pruebas participaron 673 estudiantes con edades comprendidas entre 13 y 14 años. Este sistema combinaba tres tipos de actividad física. En las pruebas, el

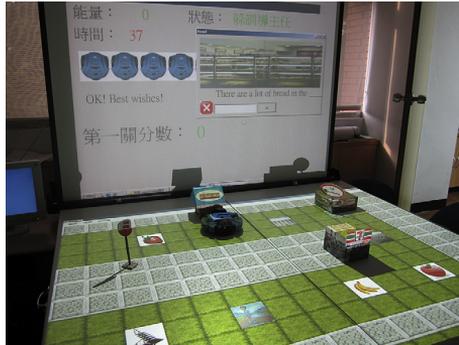


Figura 2.5: RoboStage en funcionamiento.

primer grupo usó CARLS (grupo experimental), mientras que el segundo grupo utilizó ratón y teclado para manejar el ordenador (grupo de control). El grupo experimental practicó diferentes tipos de actividad física con RA. El estudio reveló que los alumnos que usaron CARLS tuvieron un rendimiento académico significativamente mayor comparado con aquellos que usaron métodos más tradicionales. A pesar de estos resultados, Hsiao remarcó que se deberían realizar más estudios para identificar el potencial de la RA y que este estudio no probaba que la habilidad de los estudiantes en las actividades físicas mejoraba después de usar CARLS.

Connolly et al. presentaron, en 2011, ARGuing, un juego diseñado para PC para incrementar la motivación de los alumnos cuando aprenden lenguas extranjeras (Connolly et al., 2011). En las pruebas participaron 45 niños con edades comprendidas entre 12 y 15 años. Durante 10 días, los estudiantes jugaron con la aplicación en clase o en casa. Los análisis del estudio mostraron resultados positivos respecto a la actitud, la motivación y el conocimiento percibido, con evidencias que sugerían que el sistema consiguió transmitir la experiencia emocional esperada por los estudiantes. Los participantes se quejaron de la cantidad de tiempo que hacía falta para completar las tareas y de la dificultad de las mismas, lo que podría llevar a una disminución en la motivación.

Comparación entre dispositivos o tipos de visualización

Un aspecto crítico en la evaluación de los nuevos dispositivos es determinar cuál de ellos es más apropiado para una tarea específica. En 2003, Ketamo desarrolló «xTask», un entorno de aprendizaje adaptativo, el propósito del cuál

era proveer servicios para enseñar, estudiar y aprender (Ketamo, 2003b). En el estudio participaron 10 estudiantes con edades comprendidas entre 21 y 50 años. Ketamo comparó el uso de xTask en PCs y en teléfonos móviles para ver cómo afectaba la calidad y cantidad de trabajo. Todos los estudiantes tenían su propio dispositivo móvil, pero sólo podían utilizarlo en la universidad. Sólo se realizaron entrevistas. Durante el estudio, los estudiantes debían realizar informes de texto. Primero, asistieron a una clase. A continuación, podían elegir qué dispositivo iban a utilizar (dispositivo móvil, PC o ambos) para realizar los informes con «xTask». Los resultados mostraron que había fases en las que el trabajo con los dispositivos móviles era eficiente. A pesar de este hecho, los estudiantes pensaron que los dispositivos móviles no podían reemplazar a los ordenadores, aunque sí que podrían ser valiosos para el aprendizaje en red.

En 2008, Klatzky et al. examinaron el impacto de su dispositivo de visualización de RA «Sonic Flashlight» en el aprendizaje de la inserción de agujas guiadas con ultrasonidos (Klatzky et al., 2008). Klatzky et al. lo comparó con ultrasonidos convencionales. Los resultados mostraron que los participantes que utilizaron Sonic Flashlight aprendieron más porque tuvieron mayor precisión y menor variabilidad al apuntar que los que utilizaron el sistema convencional.

En 2008, podemos destacar el trabajo de Juan et al. (2008b), que desarrollaron dos sistemas interactivos de RA para contar historias. En ambos casos, los niños podían elegir cómo avanzar en la historia usando interfaces tangibles. El primer sistema presentaba la historia en todas las caras visibles del cubo. El segundo sistema mostraba la historia solamente en una cara del cubo (ver Figuras 2.6a y 2.6b). En el estudio participaron 44 niños. Se utilizó una historia basada en el Rey León. En la primera prueba del estudio se comprobó qué sistema de visualización (HMD o monitor) y qué tipo de interacción (interfaz tangible o teclado) preferían los niños. En la segunda prueba, se comprobó qué sistema de visualización (HMD o monitor) preferían los niños. En este caso, ambos sistemas de visualización utilizaron interfaces tangibles como método de interacción. Los resultados mostraron que no había diferencias estadísticas significativas entre los dos sistemas de visualización y que los niños se divirtieron jugando. Este resultado indicaría que los diferentes sistemas de visualización influyeron de forma similar en los niños.

También en 2008, Juan et al. desarrollaron un sistema de RA en el que los niños podían aprender sobre el interior del cuerpo humano (Juan et al., 2008a). Durante el juego, los niños podían «abrir» el abdomen de un cuerpo humano virtual. En él, se podían ver las áreas en las que se sitúan el estómago y el intestino. Para interactuar con el sistema se utilizaron interfaces tangibles. Se usó una estructura cuadrada cubierta por una tela blanca en la que se realizaron



(a) Rey León. Versión con todas las caras.

(b) Rey León. Versión con sólo la cara frontal.

Figura 2.6: Historia interactiva del Rey León usando RA.

dos cortes. En estos dos cortes se situaron el estómago (parte alta del abdomen) y el intestino (parte baja del abdomen). Estas dos zonas podían abrirse mediante dos cremalleras. Debajo de estas zonas había dos cartulinas de colores (una azul y otra naranja) para facilitar la identificación de las dos zonas (ver Figuras 2.7a y 2.7b). En el estudio participaron 40 niños con edades comprendidas entre 8 y 10 años. Se comprobó qué sistema de visualización (HMD o monitor) y qué tipo de interacción (interfaz tangible o teclado) preferían los niños. Los resultados mostraron que no había diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de visualización. De estos resultados se pudo concluir que los diferentes sistemas de visualización influyeron de forma similar en los niños.

En 2011, Hamidi et al. compararon los efectos del aprendizaje con dispositivos multimedia interactivos (CDs interactivos) y no interactivos (películas) para ver con qué método aprendían más y mejor los estudiantes (Hamidi et al., 2011). Los resultados mostraron que con el método interactivo con CDs aprendieron significativamente más rápido. En cambio, no se encontraron diferencias significativas entre los dos métodos respecto al conocimiento adquirido.

En 2012, Fassbender et al. presentaron un estudio de una lección virtual de historia con diferentes estímulos (con música o sin música) para determinar el efecto de la música en la memoria de los participantes (Fassbender et al., 2012). Se utilizaron dos sistemas de visualización diferentes: tres monitores colocados juntos uno al lado del otro y tres pantallas grandes semicilíndricas en las que se proyectaban las imágenes (ver Figura 2.8). Los niños se distribuyeron en cuatro



(a) Un niño utilizando el sistema de RA del cuerpo humano.

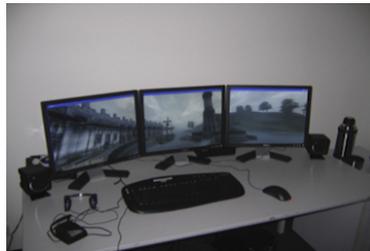


(b) Ejemplo del cuerpo humano en RA de una mujer, donde se puede observar el intestino.

Figura 2.7: Sistema de RA sobre el cuerpo humano.



(a) Sistema con tres pantallas grandes semicilíndricas.



(b) Sistema con tres monitores.

Figura 2.8: Sistemas de visualización usados por Fassbender et al. (2012)

grupos, combinando música o sin música con los dos tipos de visualización. Los resultados del experimento mostraron que había diferencias significativas entre los dos sistemas de visualización utilizados donde los participantes que usaron los tres monitores recordaron tres hechos más de media, que los participantes que utilizaron las tres pantallas semicilíndricas. Además, los participantes que utilizaron los monitores recordaron un número mayor de hechos, sobre todo cuando no había música de fondo. Sin embargo, los participantes que utilizaron las tres pantallas grandes semicilíndricas recordaron un mayor número de hechos cuando había música de fondo.

Nuevos métodos vs. métodos tradicionales

El número de estudios que comparan la efectividad de los videojuegos con otros métodos de aprendizaje, tales como las clases tradicionales, es limitado (Leemkuil, 2006). Un aspecto crítico en la evaluación de nuevos métodos es determinar el mejor método con el que compararlo. El objetivo de esta comparación es demostrar que el nuevo método es, como mínimo, tan bueno como el que se esté utilizando en relación a los diferentes aspectos evaluados.

En 2007, Ebner y Holzinger diseñaron un videojuego *online* para enseñar ingeniería civil a estudiantes universitarios (Ebner & Holzinger, 2007). Durante el juego, los estudiantes tenían que calcular las fuerzas internas de un sistema. Los estudiantes tenían que elegir la respuesta correcta de entre tres posibles respuestas dentro del límite de tiempo (Figura 2.9). El juego se comparó con una clase tradicional. En el estudio participaron 121 estudiantes, que fueron divididos en tres grupos: los estudiantes que asistieron a las clases y jugaron al juego voluntariamente; los estudiantes que asistieron a las clases, pero no jugaron al juego; y los estudiantes que sólo jugaron al juego. Los resultados mostraron que los estudiantes que jugaron al juego obtuvieron los mismos resultados con respecto al aprendizaje que los que asistieron a las clases.

En 2010, Juan et al. desarrollaron un juego de RA para aprender palabras (Juan et al., 2010b). Se utilizaron 14 marcadores en 10 de los cuales aparecían las letras para formar palabras. El resto de marcadores servían para responder preguntas, comprobar si la palabra formada era correcta, y para visualizar vídeos. Durante el juego, los niños tenían que formar palabras según el tipo de juego elegido (*palabras que empiezan por...*, *palabras que terminan por...*, *completar palabras*, etc.) (Figura 2.10a). En el estudio participaron 32 niños con edades comprendidas entre 5 y 6 años. El juego de RA se comparó con una versión real del mismo que incluía diferentes fichas con letras y dibujos (Figura 2.10b). Los niños se dividieron en dos grupos: los que utilizaron primero el sistema de RA

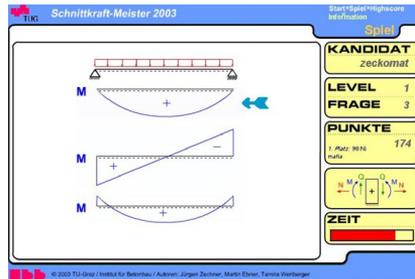
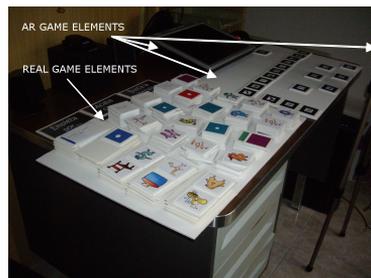


Figura 2.9: Pantalla del juego sobre ingeniería civil con tres posibles respuestas.

y los que usaron primero la versión tradicional. Los resultados mostraron que no hubo diferencias estadísticas significativas entre las dos versiones, con lo que ambos métodos fueron igual de efectivos a la hora de enseñar palabras.



(a) Un niño jugando con el juego de RA para aprender palabras.



(b) Elementos del juego tradicional y del juego de RA.

Figura 2.10: Juego de RA para aprender palabras.

También en 2010, Juan et al. desarrollaron un sistema de RA para aprender sobre animales en peligro de extinción (Juan et al., 2010c). El juego consistía en encontrar los animales que indicaba el mismo. Para ello, se utilizaba una interfaz tangible que estaba formada por tres cubos. Para encontrar el animal, el niño debía girar el cubo central y el derecho. El animal aparecía encima de los marcadores que estaban sobre las caras de estos dos cubos (Figura 2.11a). Si el niño creía que el animal que estaba visualizando era el que se le pedía, podía utilizar el tercer cubo (situado a la izquierda) para confirmar la selec-

ción. En caso de que fuera el correcto, el juego le preguntaba si quería ver un vídeo donde se ofrecía más información sobre el animal. En cualquier momento el vídeo podía ser cancelado. En el estudio participaron 46 niños con edades comprendidas entre 7 y 12 años. El juego de RA se comparó con una versión real del mismo que incluía cubos con imágenes de animales (Figura 2.11b). Los niños fueron divididos en dos grupos: Los que utilizaron primero el sistema de RA y los que utilizaron primero el juego tradicional. Los resultados mostraron que había diferencias estadísticas significativas con respecto a la diversión y al valor percibido a favor del sistema de RA. En cambio, el juego tradicional se consideró más fácil de utilizar.



(a) Un niño está intentando encontrar el cocodrilo del Orinoco.



(b) Los cubos del juego tradicional.

Figura 2.11: Juego de RA que consiste en buscar un animal en peligro de extinción.

Hainey et al. presentaron, en 2011, un videojuego sobre ingeniería del software (Hainey et al., 2011). La idea básica del juego era gestionar un proyecto de desarrollo de software. Durante el juego, cada jugador tenía un rol específico, como, por ejemplo, director de proyecto, analista de sistemas o diseñador, entre otros. El jugador que hacía de analista de sistemas tenía que identificar los requisitos para realizar el proyecto (Figura 2.12). Para ello, el jugador tenía que moverse por el juego y hablar con los personajes no jugables. Luego, el director del proyecto tenía dos opciones: enviar los requisitos al diseñador o considerar inválidos los requisitos y pedir al analista que volviera a identificar los requisitos. El videojuego se comparó con dos propuestas tradicionales: un juego de rol, donde los estudiantes representaban a los personajes del juego utilizando los mismos casos de estudio y guiones; y en papel, donde a los estudiantes se les

presentaba la misma información por escrito, pero sin el juego, ni los elementos de rol. En el estudio participaron 92 estudiantes, que fueron divididos en tres grupos: un grupo experimental (videojuego) y dos grupos de control (juego de rol y en papel). Los resultados mostraron que el videojuego fue tan efectivo como el juego de rol, y que ambos métodos fueron más efectivos que el método basado en papel.



Figura 2.12: Fase del juego donde el analista tiene que identificar los requisitos.

En 2011, Juan et al. desarrollaron un juego de RA para aprender sobre animales en peligro de extinción en el que se tenían que encontrar parejas (Juan et al., 2011a). El juego consistía en encontrar los animales que indicaba el mismo. Para ello, se tenían que ir girando los marcadores (como mucho podía haber dos girados al mismo tiempo). El juego mostraba, sobre el marcador, el animal que había en él. Cuando los dos marcadores girados pertenecían al animal requerido, el juego preguntaba si se quería ver un vídeo donde se ofrecía más información sobre el animal (Figura 2.13a). En cualquier momento el vídeo podía ser cancelado. En el estudio participaron 31 niños. El juego de RA se comparó con un juego tradicional equivalente (Figura 2.13b). Los niños fueron divididos en dos grupos: Los que utilizaron primero el sistema de RA y los que utilizaron primero el juego tradicional. Los resultados mostraron que había diferencias estadísticas significativas con respecto a la diversión y al valor percibido a favor del juego de RA. En cambio, el juego tradicional se consideró más fácil de utilizar.

En 2012, Yang investigó la efectividad del aprendizaje con videojuegos en la resolución de problemas, la motivación y en los resultados académicos en un curso de educación cívica y social (Yang, 2012). En el estudio participaron estudiantes de entre 15 y 16 años. Los estudiantes fueron divididos en dos grupos: un grupo de control que asistió a clase y un grupo experimental que utilizó juegos comerciales. El estudio duró 22 semanas en las que los estudiantes llevaron a ca-

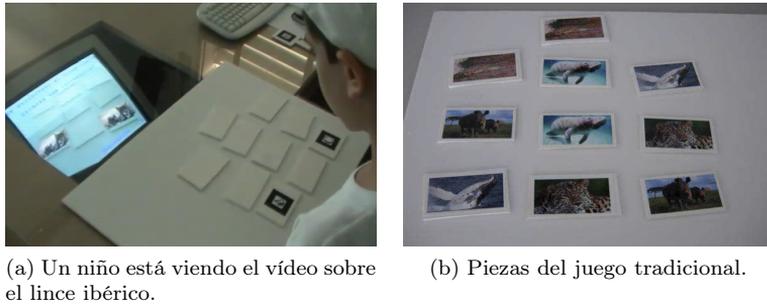


Figura 2.13: Juego de RA que consiste en buscar parejas de animales en peligro de extinción.

bo varias actividades. Por ejemplo, entre las semanas 2 y 11, el estudio se centró en economía. El profesor utilizó «Tycoon City: New York!» (Figura 2.14), un juego que trata sobre construir ciudades donde los jugadores son responsables de desarrollar la ciudad de Nueva York. Cada semana, el profesor indicaba las tareas y proporcionaba instrucciones básicas a los estudiantes relacionadas con la economía. Mientras tanto, el grupo de control aprendía los mismos conceptos en clase. Los resultados del estudio mostraron que el aprendizaje con el videojuego era efectivo en la mejora de la resolución de problemas. El grupo de control no mejoró. El grupo experimental también se motivó más que el grupo de control. Sin embargo, no se encontraron diferencias con respecto a los resultados académicos.



Figura 2.14: El videojuego «Tycoon City: New York!».

2.3.2 Otros campos de aplicación

Los sistemas móviles permiten usar la RA en lugares al aire libre o abiertos, de modo que pueden ser de gran ayuda para señalar o indicar lugares en el campo de visión del usuario, por medio de anotaciones, flechas, etcétera (Furmanski et al., 2002). Un ejemplo de ello sería cuando se conduce un coche. «Wikitude Drive»¹ es un sistema de navegación de RA con cobertura mundial que permite ver las rutas recomendadas por el GPS superpuestas a la imagen que la cámara va capturando (ver Figura 2.15).



Figura 2.15: Wikitude Drive en funcionamiento.

En el campo geográfico, los usuarios pueden observar un mapa real y ver una representación tridimensional del terreno sobre el mapa. Además, los usuarios pueden desplazarse por el mapa estudiándolo y usar gestos con la mano o marcadores para cambiar la representación actual de los datos (Hedley et al., 2002).

El periodismo es un área que puede beneficiarse del potencial de la RA. Un periodista que cubre y documenta una historia podría dejar notas en la escena para otros periodistas. Un ejemplo podría ser «The Situated Documentaries» (Hollerer et al., 1999), una aplicación donde el usuario tiene que buscar marcas virtuales con etiquetas de texto que señalan puntos de interés. Estas marcas son puntos donde se muestra información de un suceso. Cuando se seleccionan, se puede ver una presentación multimedia de dicho suceso.

En arqueología, la RA móvil permite a los visitantes que se hagan una idea de cómo era la vida originariamente en las antiguas civilizaciones. «AR Pompei» combina personas y otros elementos generados por ordenador junto con la vista de los turistas mientras caminan por el lugar histórico (Papagiannakis et al., 2005).

¹<http://www.wikitude.com/en/drive>

En medicina, la mayoría de las aplicaciones médicas están relacionadas con la visualización y entrenamiento para la cirugía. Por ejemplo, Sielhorst et al. desarrollaron un sistema para practicar partos con la intención de disminuir el número de cesáreas practicadas (Sielhorst et al., 2004). Este sistema se compone de un hardware que imita el cuerpo de una mujer a punto de dar a luz. La cabeza del bebé posee un sensor háptico. El sistema de simulación también tiene en cuenta la presión sanguínea, el ritmo cardíaco, el dolor, y el oxígeno. Los usuarios deben utilizar un HMD donde pueden ver superpuestos el fórceps (instrumento para ayudar a salir al bebé), la piel y los huesos de la cadera.

Dentro del campo del entretenimiento, podemos encontrar ejemplos como: «Kidsroom» – la habitación de los niños – (Bobick et al., 1999). Kidsroom es un lugar de juegos para niños basado en la percepción, interacción y narración. Se usan imágenes, música, efectos sonoros, narraciones y luces para convertir una habitación normal en un mundo fantástico donde los niños viven varias aventuras. También cabe destacar «ARQuake», que es la versión en RA del popular juego «Quake». Para poder jugar es necesario el uso de un HMD, un ordenador portátil y otra serie de elementos (ver Figura 2.16a) (Piekarski et al., 2002). Como se puede observar en la Figura 2.16b, usando «ARQuake» se puede caminar por el mundo real y luchar contra monstruos virtuales que van apareciendo en nuestro camino, a los cuales hay que destruir. Otro juego bien conocido es el «Tetris». De este famoso juego también se ha desarrollado una versión 3D con RA. Las reglas del juego son básicamente las mismas con la diferencia que ahora el jugador debe poseer una mayor habilidad para manejar y situar las piezas en el lugar correcto (Wichert, 2002).

En el campo de la psicología cabe destacar el trabajo desarrollado en esta universidad por Juan et al. (Juan et al., 2005, 2006; Juan & Pérez, 2010; Juan & Joele, 2011; Juan & Calatrava, 2011), que es pionero en el desarrollo de sistemas de RA para el tratamiento de distintos trastornos psicológicos. En 2005, Juan et al. presenta un sistema de RA para el tratamiento de fobias a animales pequeños como cucarachas y arañas (Figura 2.17a) (Juan et al., 2005). Esta aplicación se probó con pacientes reales que, después de alrededor de una hora de tratamiento con este sistema, fueron capaces de interactuar y matar animales reales. Se realizaron otras dos versiones de este sistema, uno con marcadores invisibles (Figura 2.17b) (Juan & Joele, 2011) y otro mediante un HMD *optical see-through* (Juan & Calatrava, 2011). Ambos sistemas se evaluaron para presencia, ansiedad y juicio de la realidad con usuarios sin fobia.

También se desarrollaron dos sistemas de RA para el tratamiento del miedo a las alturas, evaluados de igual forma que los trabajos anteriores; el primero de ellos incluye, como elementos virtuales, fotografías inmersivas; en el segundo, los

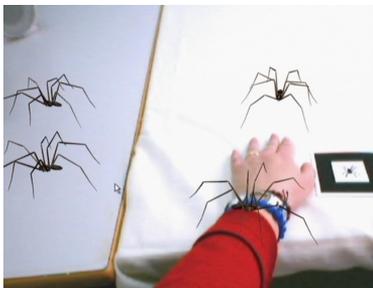


(a) Usuario equipado con los elementos necesarios para jugar a AR Quake.



(b) Lucha en las calles contra enemigos virtuales.

Figura 2.16: Imágenes de ARQuake.



(a) Primer sistema de RA para tratar fobias a animales pequeños.



(b) Sistema de RA con marcadores invisibles.

Figura 2.17: Tratamiento de fobias.

elementos virtuales están mezclados con el entorno real de una habitación, simulando que el suelo se cae y las paredes se elevan. El sistema de fotos navegables se comparó con un entorno real (Juan et al., 2006), mientras que el segundo se comparó con un sistema de realidad virtual con las mismas características (habitación real modelada) (Juan & Pérez, 2010).

En el campo militar se han utilizado dispositivos de visión que presentan información al piloto sobre los visores de sus cascos de combate. Generalmente, el personal militar va equipado con cascos y visores. Un ejemplo sería cuando al ver aparecer a lo lejos una serie de helicópteros o soldados, la escena se podría «aumentar» con anotaciones e información relativa de las unidades enemigas (Hicks et al., 2003).

En el área de diseño, la RA podría servir para que los diseñadores y los clientes puedan tener una vista conjunta del diseño incluso si ellos están físicamente separados. El modelo diseñado sería proyectado en 3D, permitiendo al cliente contemplarlo de una manera mucho más realista. Además, se podría permitir la interacción en tiempo real con elementos del diseño para que se pudieran hacer los ajustes y cambios necesarios en la estructura del mismo (Fruend et al., 2002). Como ejemplo, se pueden tomar las Figuras 2.18 y 2.19 que tratan sobre el diseño de automóviles. En la primera de ellas (Figura 2.18), se puede ver el diseño de un coche tanto por fuera como por dentro. Mientras que en la segunda (Figura 2.19) se aprecia el modelo de una furgoneta con distintos tipos de frontales.



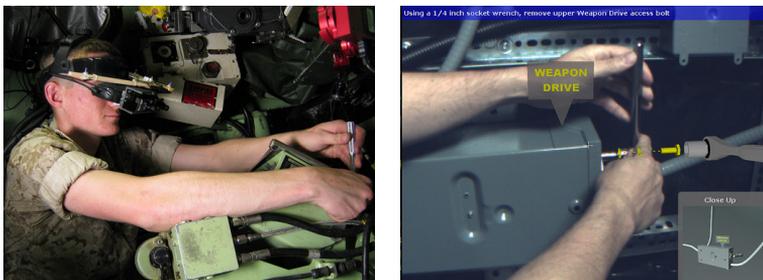
Figura 2.18: Ejemplo de RA para el diseño de un coche antes de su construcción.

En el campo de la robótica, la RA permite manejar una versión virtual de un robot donde, en primer lugar, se especifican las acciones manipulando dicha versión virtual en tiempo real. Una vez se decide cuáles son las acciones, el usuario puede llevar a cabo el mismo procedimiento con el robot real. Las versiones



Figura 2.19: Furgoneta aumentada con distintos tipos de frontales.

virtuales pueden predecir los efectos de manipular el entorno, ayudando así al operador a comprobar si sus acciones llevaran a cabo la tarea deseada.



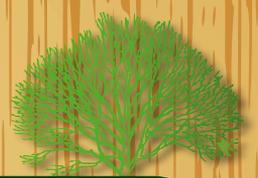
(a) Un mecánico con un dispositivo lleva a cabo una tarea de mantenimiento.

(b) Lo que ve el mecánico a través del dispositivo.

Figura 2.20: Realización de una tarea de mantenimiento utilizando ARMAR.

En el área de montaje, mantenimiento e inspección, la RA sirve de ayuda a los trabajadores cuando éstos tienen que reparar o cambiar una determinada pieza de un equipo. La RA mostrará información adicional de manera transparente en la vista del operario. Un ejemplo del uso de la RA en el entrenamiento y mantenimiento de equipamiento industrial es «Augmented Reality for Maintenance and Repair» (ARMAR). En ARMAR se va guiando paso a paso al

operario en la tarea de mantenimiento que debe realizar (Henderson & Feiner, 2007). En las Figuras [2.20a](#) y [2.20b](#) se pueden observar ejemplos de ARMAR en funcionamiento.



3 ARGREENET

En este capítulo, se describe el juego implementado y se presentan las herramientas utilizadas, el proceso llevado a cabo para el diseño, la implementación y el funcionamiento de las diferentes versiones del juego de RA, ARGreenet. También se detallan los tres estudios llevados a cabo y los resultados correspondientes. En primer lugar se presentarán todas las herramientas y dispositivos utilizados para la creación, implementación y ejecución del juego, así como los requisitos técnicos necesarios para su correcto funcionamiento. Seguidamente, se realizará una descripción del juego donde se comentará la estructura de éste y se detallarán los diferentes elementos que aparecen en él. Finalmente, se describirán los estudios realizados de forma detallada, incluyendo el procedimiento, las medidas utilizadas, los resultados y las conclusiones de cada uno de ellos.

Las publicaciones derivadas del presente capítulo son las siguientes:

- Juan, M. C., Furió, D., Alem, L., Ashworth, P. & Cano, J. (2011b). ARGreenet and BasicGreenet: Two mobile games for learning how to recycle. En *19th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2011 (WSCG 2011)* (pp. 25-32). (CORE/ERA B).
- Alem, L., Furió, D., Juan, M. C. & Ashworth, P. (2011). Effect of collaboration and competition in an augmented reality mobile game. En *Recent trends of mobile collaborative augmented reality systems* (pp. 109-116). Springer.
- Juan, M. C., Furió, D., Alem, L., Ashworth, P. & Giménez, M. (2011c). An Augmented Reality Library for Mobile Phones and its Application for Recycling. En *Open Source Mobile Learning : Mobile Linux Applications* (Cap. 9, pp. 124-139). IGI Global.
- Juan, M. C., Furió, D., Giménez, M., Mollá, R., Vicent, M. J. & Vivó, R. (2008c). Edutainment games included as activities in the Summer School of the Technical University of Valencia. En *GAME-ON 2008 – 9th International Conference on Intelligent Games and Simulation* (pp. 147-151).
- Juan, M. C., Furió, D., Cano, J., Abad, F. & LLuch, J. (2010a). Aprender con seis juegos de realidad aumentada. En *XX Congreso Español de Informática Gráfica (CEIG'2010)* (pp. 265-268).

- Furió, D., Juan, M. C., Alem, L., Ashworth, P. & Cano, J. (2012). Evaluating three versions of an augmented reality mobile game about recycling. En *XXII Congreso Español de Informática Gráfica (CEIG'2012)* (pp. 157-157).

3.1 Introducción

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se entiende por «cambio climático», un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Unidas, 1992). La temperatura media de la superficie terrestre ha subido más de 0.6°C desde los últimos años del siglo XIX. Se prevé que aumente de nuevo entre 1.4°C y 5.8°C para el año 2100, lo que representa un cambio rápido y profundo. Las causas del aumento de la temperatura se deben principalmente a la combustión de cantidades cada vez mayores de petróleo, gasolina y carbón, a la tala de bosques, y a algunos métodos de explotación agrícola¹ (Unidas, 1992). Estas actividades han aumentado el volumen de «gases de efecto invernadero» en la atmósfera, sobre todo de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Estos gases, que se producen de forma natural y son fundamentales para la vida en la Tierra, impiden que parte del calor solar regrese al espacio. A pesar de que sin ellos el mundo sería un lugar frío y yermo, cuando el volumen de estos gases es considerable y crece sin descanso, provocan unas temperaturas artificialmente elevadas y modifican el clima.

El calentamiento atmosférico es un problema «moderno»: es complicado, afecta a todo el mundo y se entremezcla con cuestiones difíciles como la pobreza, el desarrollo económico y el crecimiento demográfico. Es importante concienciar a los ciudadanos sobre el problema del cambio climático, ya que, de esta forma, todos podemos aportar nuestra ayuda para frenar el calentamiento global.

El juego de RA que se presenta en este capítulo, intenta concienciar a los niños acerca del cambio climático y les enseña a reciclar los objetos depositándolos en el cubo correspondiente. El reciclaje es una tarea que cualquier persona puede realizar para reducir el impacto ambiental.

¹http://www.wwf.org.py/informate22/cambio_climatico/la_temperatura_media_de_la_tierra/

3.2 Desarrollo

Esta sección describe las herramientas y el proceso que se sigue al desarrollar una aplicación con el SDK S60 3rd Edition. Además, se explica el funcionamiento del bucle principal del juego desarrollado, describiendo cada una de sus partes, junto con las bibliotecas más importantes que se han utilizado.

Para el desarrollo del juego de RA se utilizaron las siguientes herramientas:

- Microsoft Visual Studio 2005 con la actualización SP1 y con el plug-in Carbide.vs, que permite programar en Symbian C++.
- El SDK S60 3rd Edition Feature Pack 1, que es el que soporta el Nokia N95 8Gb.
- El programa Nokia PC Suite, que permite descargar e instalar aplicaciones en el teléfono.
- ARToolKit portado para Symbian C++.
- El servidor Apache HTTP.

3.2.1 Symbian OS

Symbian OS un sistema operativo multitarea de 32 bits que ofrece varias APIs para el desarrollo de aplicaciones. Para la programación de aplicaciones se pueden utilizar distintos lenguajes, entre ellos Symbian C++. Existen diferentes SDKs para el desarrollo de aplicaciones en Symbian. Los distintos SDKs están ligados a diferentes plataformas. Las principales plataformas existentes son UIQ, Nokia Series 60 y Nokia Communicator (Díaz et al., 2005).

Arquitectura de Symbian

El sistema operativo Symbian presenta una estructura en capas (ver Figura 3.1). El núcleo de Symbian consiste en la capa base (*microkernel* y *drivers*), *middleware* (servidores del sistema, seguridad y *frameworks* de la interfaz de usuario) y las comunicaciones (telefonía, mensajes, redes).

Symbian C++

El modelo de programación de Symbian C++ se basa en objetos activos. Cada objeto activo tiene una función virtual llamada `RunL()` que se ejecuta cuando



Figura 3.1: Arquitectura del sistema operativo Symbian OS.

tiene lugar un evento del cual el objeto activo es responsable. La planificación de los objetos activos sólo se lleva a cabo cuando la función `RunL()` se ha completado. A partir de ese momento, el objeto activo con mayor prioridad que estuviese esperando pasaría a ejecutarse (Díaz et al., 2005).

En los dispositivos móviles se debe prestar especial atención a la gestión de memoria. Para ello, Symbian implementa un mecanismo propio denominado `Cleanup Stack`. `Cleanup Stack` es una pila que almacena los punteros a los objetos que necesitan ser liberados cuando ocurre una excepción. Cualquier puntero definido localmente que apunte a un objeto localizado en el *heap* debe ser añadido a `Cleanup Stack` si existe la posibilidad de que ocurra una excepción y no haya ninguna otra referencia al objeto. En caso de que no se produzca ninguna excepción, el programador deberá borrar los punteros de la pila. Para evitar fugas de memoria, la construcción de objetos se lleva a cabo en dos fases. En una primera fase se procede a la inicialización del objeto y en una segunda fase donde se usa `CleanUp Stack`, se lleva a cabo la asignación de memoria (Díaz et al., 2005).

3.2.2 Carbide.vs

Carbide.vs es un conjunto de herramientas que se usan para desarrollar aplicaciones Symbian C++ utilizando los entornos de desarrollo Microsoft Visual Studio 2003 y Microsoft Visual Studio 2005 y los SDKs correspondientes de Symbian OS. Actualmente, Carbide.vs ha sido abandonado y Nokia ya no soporta el IDE de Microsoft para el desarrollo de aplicaciones en Symbian C++.

3.2.3 SDK S60 3rd Edition Feature Pack 1

El SDK S60 habilita para Symbian OS el desarrollo de aplicaciones para dispositivos basados en la plataforma S60 usando Symbian C++. La plataforma S60 consiste en un conjunto de bibliotecas y aplicaciones informáticas estándar, tales como telefonía, herramientas de gestión de información personal, etc.

El SDK S60 3rd Edition soporta la versión 9.2 de Symbian OS. Es una versión más estricta del sistema operativo Symbian, ya que es obligatorio firmar el código. Es decir, un usuario sólo podría instalar aplicaciones que posean un certificado de un programador registrado. Esto implica que aplicaciones escritas con SDKs anteriores no son compatibles.

3.2.4 La cámara

Uno de los problemas más importantes a los que hay que enfrentarse a la hora de realizar este tipo de aplicaciones es hacer funcionar la cámara. Para poder usar la cámara, hay que permitir que ésta pueda acceder a los recursos restringidos por la seguridad. Para ello, hay que activar la capacidad `UserEnvironment`, sino no se podrá acceder a la cámara. A continuación, se debe elegir qué cámara se va a utilizar, ya que algunos teléfonos tienen dos cámaras, una delantera y otra trasera. Seguidamente, ésta se configura de acuerdo a las necesidades de la aplicación (resolución, obtención y formato de la imagen, encendido y apagado de la cámara, zoom, etc.). La cámara capta la información del exterior y la devuelve en forma de datos que, dependiendo del tipo de formato que se haya elegido, los guardará de una forma u otra. En nuestro caso, el formato elegido fue RGBA con 8 bits para cada canal, ya que no se necesita realizar ninguna conversión de los datos para trabajar con ARToolKit.

En la Figura 3.2 se muestran los pasos a seguir para que la cámara empiece a capturar imágenes. Como se puede observar, cuando se quiere empezar a capturar imágenes con la cámara lo primero que se comprueba es el estado de la misma. La primera vez que se quiere empezar a visualizar con la cámara se debe

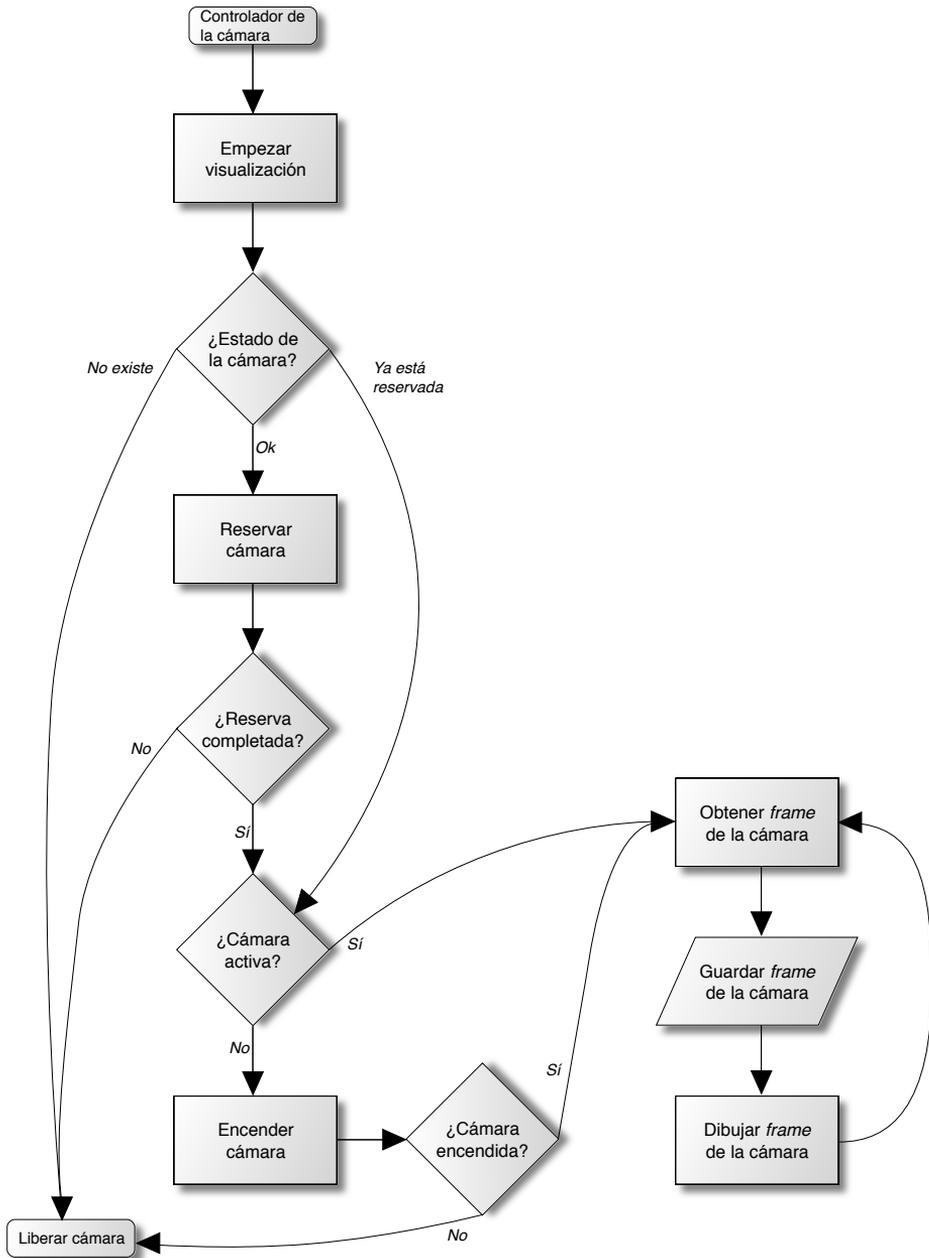


Figura 3.2: Pasos para realizar la captura de imágenes con la cámara en Symbian C++.

reservar la memoria para poder usarla. Si la reserva no se puede completar se liberará la memoria utilizada. Normalmente, cuando no se puede completar la reserva es porque la cámara está siendo utilizada por otra aplicación. Una vez se ha completado la reserva, se debe encender la cámara. Si no se puede encender, se liberará la memoria. Una vez encendida, la cámara empezará a capturar imágenes. En el caso de que el hardware de la cámara no exista, automáticamente se liberará la memoria de ésta. En caso de que la cámara ya estuviese reservada, se comprueba si está encendida o no. Si no lo está, entonces se intentará encender la cámara y obtener imágenes. Si está encendida, la cámara pasará directamente a capturar imágenes. Cuando se obtiene un *frame* de la cámara, se guarda una copia de éste. Esta copia se utilizará para dibujar la imagen capturada por pantalla y para que ARToolKit obtenga la posición y orientación de los marcadores que estén visibles.

3.2.5 ARToolKit

ARToolKit (Kato & Billinghurst, 1999) es una biblioteca multiplataforma creada para desarrollar aplicaciones de RA. Es un software de código abierto y está escrita en C. ARToolKit utiliza un sistema de rastreo (*tracking*) en tiempo real que utiliza cuadrados negros para calcular la posición y orientación de la cámara. Consultar el apéndice A para profundizar en el funcionamiento de ARToolKit.

Adaptación de ARToolKit

A pesar de que ARToolKit es multiplataforma, no ofrece soporte para Symbian C++. Ello implica que se tuvieron que realizar algunas modificaciones para poder usar las funciones necesarias de ARToolKit en el dispositivo móvil.

Primero se requiere modificar el fichero de configuración de la biblioteca para que trabaje de acuerdo a las características del hardware del teléfono y de la cámara. Para ello hay que modificar algunas líneas de dicho fichero. La cámara del Nokia N95 8GB utiliza un formato de imágenes RGBA con 8 bits para cada canal, por lo tanto hay que reemplazar el formato por defecto por el RGBA. Otro cambio a tener en cuenta es que el teléfono usa una arquitectura *little Endian*, así pues, hay que cambiarlo para adecuarlo a nuestro uso. En el Código 3.1 se pueden observar las líneas modificadas.

Para realizar la adaptación se hizo una traza siguiendo las funciones mínimas necesarias que usa ARToolKit para la inicialización y obtención de la registración 3D. Una vez localizadas dichas funciones y todos los elementos requeridos que actúan en esas funciones (variables globales, macros, ...) se procedió a crear una

```
1 // Configuración para Symbian
2 #ifdef __SYMBIAN32__
3     #undef AR_BIG_ENDIAN
4     #define AR_LITTLE_ENDIAN
5     #define AR_PIX_FORMAT_RGBA
6 #endif
```

Código 3.1: Modificaciones del archivo de configuración de ARToolKit para utilizarlo en Symbian.

clase en Symbian C++ que fuera capaz de inicializar el *tracker* que se encarga de buscar los marcadores que capte la cámara. En el Código 3.2 se pueden observar los procesos que se han portado del ARToolKit original. Los métodos de la adaptación conservan los mismos nombres que las funciones del ARToolKit original.

```
1 // INICIALIZACIÓN
2 arParamLoad
3 arParamChangeSize
4 arInitCparam
5 argConvGLcpara
6 arLoadPatt
7
8 // TRACKING
9 arDetectMarker
10     |-arLabeling
11     |-arDetectMarker2
12     | |-arGetContour
13     |-arGetMarkerInfo
14     |-arGetLine
15     |-arGetCode
16     |-arGetPatt
17
18 arGetTransMat
19 arGetTransMatCont
```

Código 3.2: Funciones portadas a Symbian del ARToolKit original.

La inicialización de la adaptación requiere los siguientes pasos, similares a los del ARToolkit original:

- **arParamLoad**: Cargar los parámetros de la cámara. En nuestro caso, se ha usado el archivo por defecto que incluye ARToolkit: *camera_para.dat*.
- **arParamChangeSize**: Actualizar los parámetros del *tracker* respecto al tamaño de la imagen que debe analizar.
- **arInitCparam**: Inicializar los parámetros de la cámara.
- **argConvGLcpara**: Obtener la matriz de proyección que se usa en OpenGL-ES para dibujar las imágenes.
- **arLoadPatt**: Cargar los marcadores a buscar.

ARToolkit posee una serie de funciones para buscar e identificar los marcadores. El método utilizado en la adaptación es **arDetectMarker** que recibe como parámetros los datos de la imagen y un umbral, y devuelve el número de marcadores encontrados con información acerca de ellos, como el identificador de cada marcador, su orientación, o su posición, entre otros. Si se encuentran marcadores, se debe realizar una comparación entre el o los marcadores encontrados con el total de marcadores del juego. De esta forma se identifica el o los marcadores que actualmente están siendo visualizados por la cámara. Como se muestra en el Código 3.2, dentro de **arDetectMarker** se han portado las funciones que se encargan de realizar la segmentación, etiquetado de la imagen e identificación del marcador o marcadores encontrados. Los métodos **arGetTransMat** y la **arGetTransMatCont** obtienen la matriz de transformación entre el marcador y la cámara que se utilizarán para dibujar en OpenGL-ES los objetos virtuales.

3.2.6 Ficheros XML

Se utilizan ficheros XML para almacenar las preguntas, las puntuaciones de los jugadores, los modelos 3D, la configuración del programa, etc. De esta forma, si se desea modificar algún parámetro del juego sólo hay que modificar los valores de estos archivos.

Para acceder al contenido de los archivos XML, el SDK S60 3rd Edition FP 1 ofrece la posibilidad de hacerlo de dos formas distintas: SAX (Simple API for XML) y DOM (Document Object Model). En nuestro caso, se utilizó el método SAX, ya que es más rápido a la hora de leer el archivo XML y obtener

la información, y no ocupa mucha memoria debido a que no necesita guardar la estructura del archivo XML.

En el Código 3.3 se describe cómo está organizado el archivo *preguntas.xml*, que guarda las preguntas. El contenido del fichero empieza y termina por `<Preguntas>` y `</Preguntas>`, respectivamente. En el cuerpo del fichero hay 3 grandes bloques que son los niveles. Sus etiquetas de apertura y cierre son `<Nivel id="x">` y `</Nivel>`, respectivamente, donde *x* es 1, 2 ó 3 e indica el nivel de las preguntas. Dentro de cada nivel se alojan las preguntas. El campo, `id="0"` indica que se trata de la primera pregunta. El campo `correcta="1"` indica cuál de las opciones es la correcta. El número de preguntas se puede modificar sin necesidad de recompilar la aplicación. La lectura de las preguntas se realiza únicamente en el instante de realizar la pregunta y cuando se contesta ésta se libera la memoria reservada.

```

1 <Preguntas>
2   <Nivel id="1">
3     <Pregunta id="0" correcta="1"> El cubo amarillo sirve
4       para...
5       <Opcion>Plástico</Opcion>
6       <Opcion>Periódicos</Opcion>
7       <Opcion>Pilas</Opcion>
8     </Pregunta>
9   </Nivel>
10  ...
12 </Preguntas>

```

Código 3.3: Ejemplo de fichero XML con preguntas.

3.2.7 Servidor Apache HTTP

El servidor Apache HTTP es un servidor web HTTP/1.1 de código abierto multiplataforma. Apache usa MySQL, un software de código abierto para bases de datos, y PHP, un lenguaje de *scripting* que está especialmente pensado para ser usado en páginas web y que puede ser insertado en código HTML. Mediante PHP, podemos comunicar nuestros teléfonos con el servidor y llevar a cabo operaciones en la base de datos.

Para ejecutar las versiones competitiva y colaborativa de ARGreenet se necesita un servidor que cree la lista con los contenedores, los residuos, y las

preguntas de la partida que se compartirán por todos los teléfonos que participen en ella. Los jugadores no podrán acceder al próximo nivel hasta que todos los que pertenezcan al mismo equipo hayan terminado el nivel. En el servidor también se guardan las puntuaciones individuales, colaborativas y competitivas.

Instalación y puesta a punto del servidor

La versión del servidor Apache utilizada en las pruebas es la 2.2.4, la versión de MySQL es la 5.0.37 y la versión de PHP es la 5.2.1. La instalación se realizó sobre un ordenador con SO Windows XP Professional. Los pasos a seguir son:

- En el directorio raíz del disco, crear el directorio *php* y descomprimir dentro el paquete descargado.
- Copiar el archivo *php.ini-recommended* como *php.ini* y realizar las modificaciones del Código 3.4 en el fichero copiado.

```
1 # Habilitar el display de errores
2 display_errors=0n
3 ...
4 # Especificar la ruta de las extensiones de PHP
5 # (para dar soporte a MySQL)
6 extension_dir="./ext"
7 ...
8 # Habilitar el soporte de MySQL
9 extension=php_mysql.dll
10 extension=php_mysqlcli.dll
```

Código 3.4: Modificaciones del archivo de configuración *php.ini*.

- Agregar a la variable PATH del sistema la ruta de instalación de PHP, en este caso: *c:|php*.
- Instalar Apache Web Server.
- Instalar MySQL Server.

Para la configuración de PHP como módulo del servidor Apache hay que realizar las modificaciones que se pueden ver en el Código 3.5 sobre el archivo de configuración del servidor *httpd.conf*:

```
1 # Agregar la ubicación del archivo "php.ini"
2 PHPIniDir "c:/php"
3 ...
4
5 # Agregar la ubicación del módulo de PHP para Apache en la
6 # sección "LoadModule" del archivo de configuración de
7 # Apache.
8 LoadModule php5_module "c:/php/php5apache2_2.dll"
9 ...
10
11 # Agregar el MIME correspondiente a los archivos de PHP
12 # al final de la carga del módulo mime\_module.
13 <IfModule mime_module>
14 ...
15 AddType application/x-httpd-php .php
16 </IfModule>
```

Código 3.5: Modificaciones del archivo de configuración *httpd.conf*.

Comunicación entre el servidor y los teléfonos móviles.

Para que los teléfonos móviles puedan consultar y modificar la información que se encuentra en el servidor hace falta que se cumplan varias condiciones:

- Conexión Wi-Fi entre los teléfonos y el router.
- Una interfaz que permita el envío y recepción de los datos.

La interfaz para enviar y recibir información consta de:

- El teléfono móvil, que es el que se encarga de realizar las consultas mediante las operaciones GET y POST del protocolo HTTP. Estas funciones permiten recibir información de una página web o enviar datos, respectivamente. En la Figura 3.3 se describen los pasos a seguir para realizar las llamadas GET y POST en Symbian C++. Cuando se realiza la llamada GET, lo primero que hay que hacer es asegurarse de que no exista ninguna transacción GET o POST en curso. A continuación se comprueba que la sintaxis de la URI es correcta y se crea una conexión HTTP. Seguidamente se obtiene el método de petición, en este caso GET, y se abre una transacción. A continuación, se establecen las cabeceras de la

transacción y, finalmente, se envía. Si no hay ningún problema en el envío, se obtendrán diferentes respuestas de la transacción, dependiendo del tipo de llamada (GET o POST) que se realice. Si el envío de la transacción no se completa con éxito, obtendremos un error y la transacción finalizará. Los pasos a seguir con la llamada POST son iguales a los de la llamada GET, con la excepción de que se deben preparar los datos que se enviarán. Además, se debe establecer una clase como proveedora de datos, esto es debido a que la llamada POST envía datos del cuerpo HTTP. La clase que se establece como proveedora de datos tiene que derivar de la clase base `MHTTpDataSupplier`, proporcionada por el SDK S60 3rd Edition FP1.

- Las páginas web a las que accede el teléfono móvil contienen código PHP que realiza las consultas necesarias a la base de datos del servidor. En el Código 3.6 se describe un ejemplo de código PHP para modificar y obtener datos del servidor.

```
1 <?php
2 $host="XXX.XXX.XXX.XXX"; // Dirección IP del servidor
3 $user="xxxx";           // Nombre de usuario
4 $password="xxxx";      // Clave
5
6 # Conectarse al servidor
7 $conn = mysql_connect($host,$user,$password) or die(
8     mysql_error());
9
10 # Seleccionar la base de datos: "bd" es el nombre de la
11     base de datos
12 mysql_select_db("bd", $conn) or die(mysql_error());
13
14 # Enviar consulta y obtener los resultados
15 $sql = "SELECT * FROM atributo";
16 $result = mysql_query($sql) or die(mysql_error());
17
18 # Mostrar los resultados como una tabla HTML
19 while ($row = mysql_fetch_assoc($result))
20 {
21     echo "<tr><td>", $row["id"], "</td><td>", $row["login"
22         ], "</td></tr> \n";
23 }
24 ?>
```

Código 3.6: Ejemplo de consulta al servidor.

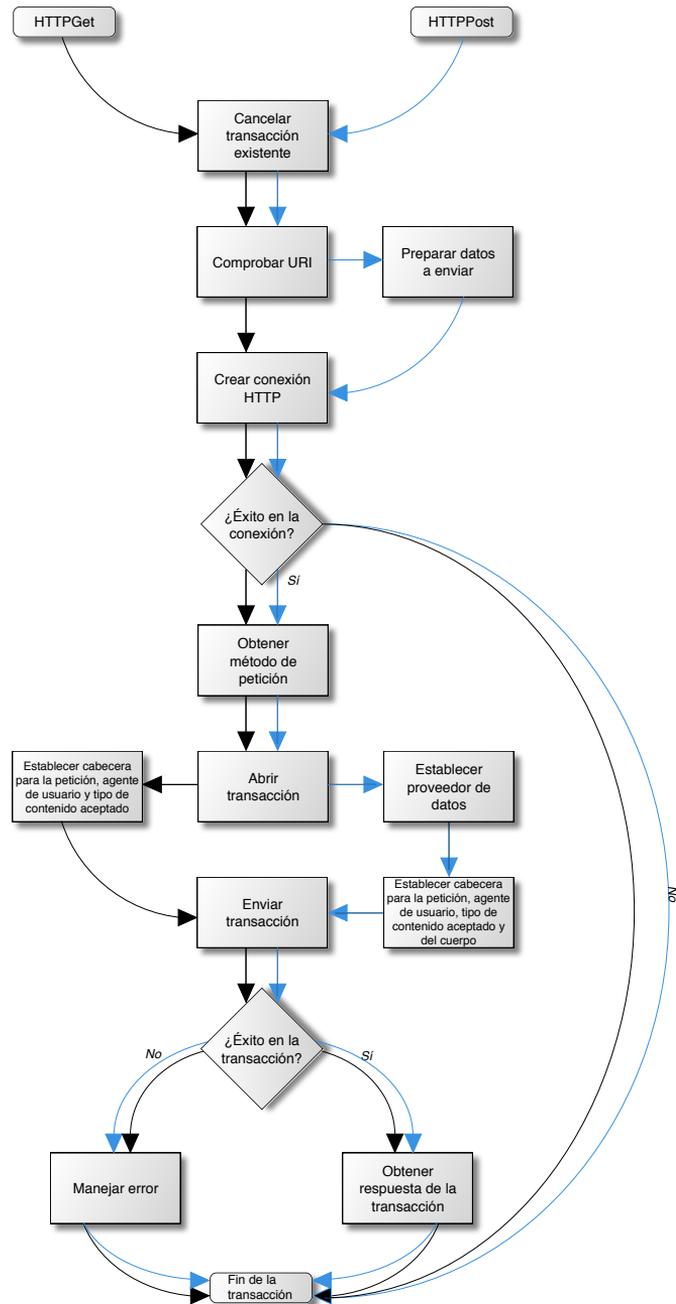


Figura 3.3: Pasos a seguir para realizar las llamadas GET (negro) y POST (azul).

Como podemos observar, `$host`, `$user` y `$password` son variables que sirven para acceder al servidor. La variable `$conn` guarda la conexión al servidor. El comando `mysql_connect` es el que se encarga de realizar la conexión al servidor. En caso de que la conexión falle, el comando `die(mysql_error())` imprimirá por pantalla el error y terminará el programa. Luego, se debe elegir la base de datos a la que se quiera acceder. Para ello, se usa el comando `mysql_select_db`. La variable `$sql`, guardará la consulta, mientras que en `$result` se almacenarán los resultados. Para realizar la consulta se utilizará el comando `mysql_query`. Para obtener los resultados se usará la función `mysql_fetch_assoc`, la cuál devuelve un resultado cada vez que se llama. El bucle `while` se ejecutará mientras queden resultados por obtener. Finalmente, se crea una tabla HTML con los valores obtenidos de la consulta.

3.2.8 Funcionamiento del juego

En este apartado se explica el funcionamiento general del bucle principal del juego. En la Figura 3.4, se muestra un esquema de dicho bucle.

Las tareas a realizar en cada uno de los procesos son las siguientes:

- **Cargar nivel:** Se inicializan todos los objetos y variables pertenecientes al nivel, como los residuos, etc. En el caso de los cubos de reciclaje, se seleccionan de forma aleatoria de los ficheros XML. Los residuos se cargan a continuación, también de forma aleatoria, ya que deben pertenecer a los cubos de reciclaje del nivel. En caso de que la carga del nivel no se pudiese completar, el nivel finalizará liberando todos los datos.
- **Actualizar variables:** En esta fase se actualizan todas las variables y estados relacionados con el juego. Una vez actualizadas las variables, se decide si la escena actual termina o debe seguir ejecutándose dependiendo de si se cumplen ciertas condiciones.
- **¿Puntuación?:** Se comprueba la puntuación, condición que indica si se debe ir al bloque de preguntas, seguir con el juego o finalizar el nivel.
- **Obtener y dibujar *frame* de la cámara:** A esta fase se accede si al actualizar las variables no se cumple ninguna condición de puntuación. Aquí se recogen y manipulan los datos de la imagen obtenidos por la cámara. Finalmente, se dibuja la imagen por pantalla.
- **Buscar marcadores:** Se accede inmediatamente después de que la imagen de la cámara se haya dibujado por pantalla. En esta fase, el juego

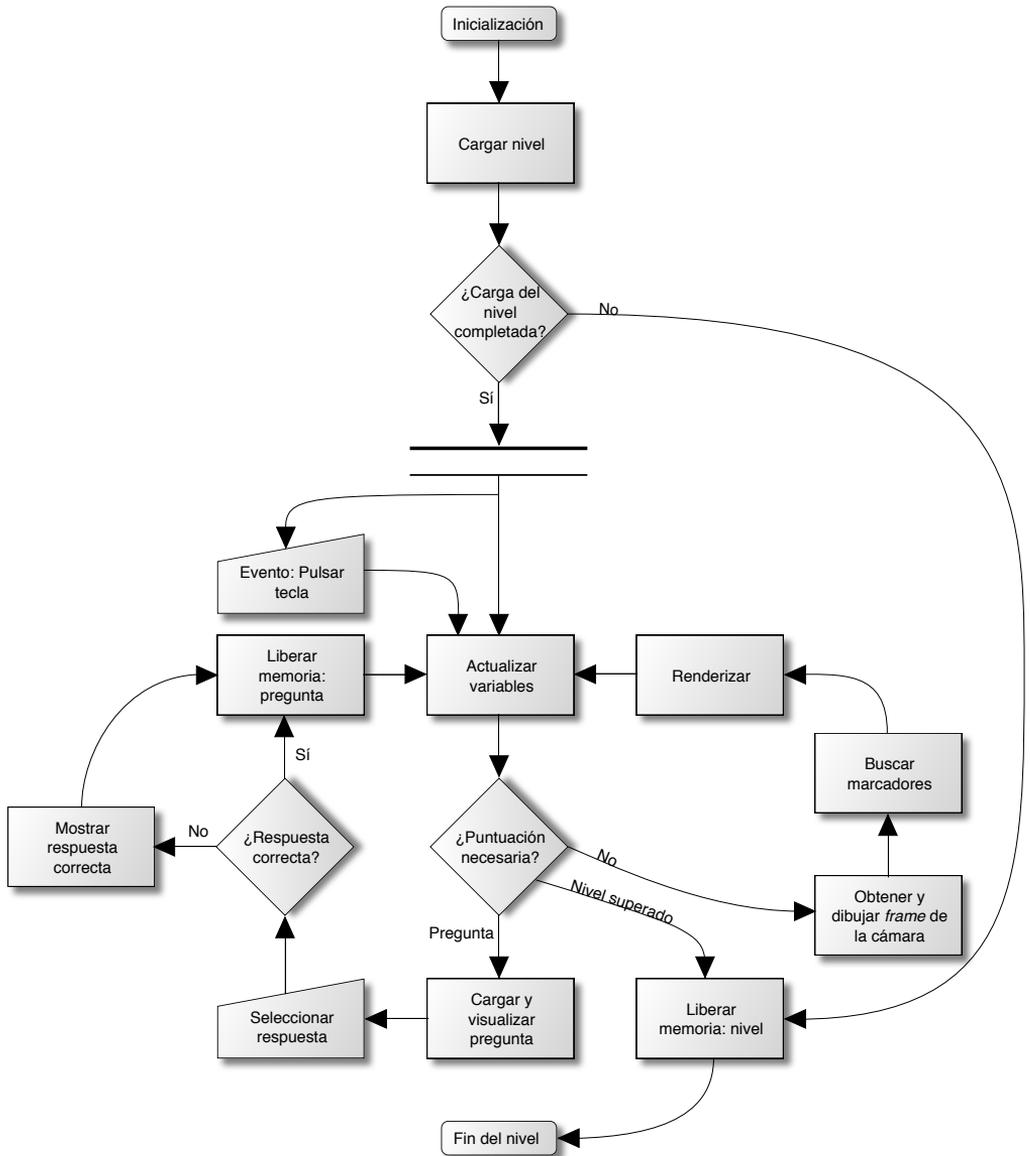


Figura 3.4: Esquema principal del bucle del juego.

se encarga de buscar los marcadores a partir de los datos de la cámara obtenidos en la fase anterior. En caso de que se encuentren marcadores, se realiza una comparación entre los que se han encontrado y los marcadores que inicialmente se cargaron en el juego para averiguar qué marcadores son.

- **Renderizar:** En esta fase se realiza el renderizado de los objetos sobre los marcadores visibles. Además, se dibuja en la parte inferior izquierda de la pantalla el objeto a reciclar, en caso de tener alguno. En esta fase también se dibujan las animaciones tras depositar un residuo sobre un cubo.
- **Cargar y visualizar preguntas:** Se accede únicamente si se cumple cierta condición relacionada con la puntuación del usuario en el nivel. En ese caso, el juego carga una pregunta del fichero XML correspondiente y la muestra por pantalla. A continuación, el usuario debe elegir una respuesta y el juego detectará si ésta es o no correcta y, en caso de no serlo, muestra la respuesta correcta.
- **Liberar memoria: preguntas:** A esta fase se llega una vez el usuario ha respondido a la pregunta. Aquí, se libera toda la memoria que ocupan las preguntas.
- **Liberar memoria: nivel:** A esta fase se accede cuando la puntuación del usuario en el nivel sea mayor o igual que la puntuación necesaria para terminar el nivel o si la carga del nivel no se ha podido completar. En esta fase se liberan de la memoria todos los objetos y variables relacionados únicamente con el nivel.
- **Evento: Pulsar tecla:** Es un proceso asíncrono al que puede llamarse en cualquier instante una vez cargado el nivel. Cada vez que el usuario pulsa la tecla central, registra los datos y los envía para que luego en la fase de actualización se realicen las operaciones correspondientes.

3.2.9 Requisitos técnicos

Las características necesarias del dispositivo móvil para que funcione correctamente el juego son:

- Sistema operativo: Symbian OS 9.2.
- CPU con acelerador gráfico.

- Memoria mínima de 64 MB.
- Cámara.

Además, para jugar a las versiones que usen Wi-Fi.

- Router Wi-Fi.
- Servidor HTTP.
- Teléfono con Wi-Fi.

3.3 Descripción del juego

La aplicación desarrollada es un juego de RA para el teléfono móvil Nokia N95 8Gb con sistema operativo Symbian 9.2 que trata sobre el reciclaje. El juego consiste en depositar objetos reciclables o residuos en los contenedores correspondientes. Para ello, se deberán buscar unos marcadores distribuidos por la habitación que proporcionan los distintos objetos a reciclar. En las Figura 3.5 se pueden observar los distintos marcadores usados en el juego. Con la cámara del móvil, habrá que enfocar primero el marcador de objetos. Una vez enfocado, en la pantalla del teléfono aparecerá el residuo a reciclar. Para cogerlo, sólo hará falta que mientras se esté visualizando el residuo se pulse el botón «OK». Si se ha cogido, éste aparecerá en la esquina inferior derecha de la pantalla.

Una vez se haya cogido el objeto, el siguiente movimiento consistirá en depositarlo sobre un cubo de reciclaje. De la misma forma que se ha buscado el residuo, habrá que buscar los contenedores. Para depositar el objeto que se tenga lo único que se deberá hacer es pulsar el botón «OK» mientras se esté enfocando el cubo donde se quiera depositar el residuo.

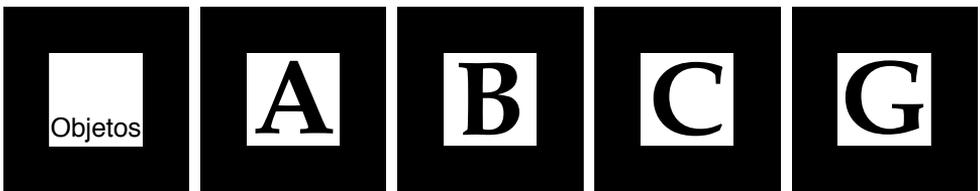


Figura 3.5: Marcadores utilizados durante el juego.

Si se ha depositado el objeto en el contenedor correcto, aparecerá una animación con unas manos aplaudiendo sobre éste y se sumarán puntos. En caso de haberlo depositado en el cubo incorrecto, aparecerá una cruz de color rojo en su lugar y se restarán puntos. Si no se tiene claro en qué contenedor colocar el residuo, se podrá pasar de él pulsando el botón «OK» cuando no haya ningún cubo enfocado. En este caso, también se restarán puntos, pero menos que si se falla.

Cuando se hayan conseguido suficientes puntos, aparecerán preguntas. Para contestar una pregunta hay que desplazarse con las flechas arriba y abajo por las tres respuestas disponibles. La respuesta que esté seleccionada en cada momento aparecerá resaltada de color verde. Cuando se esté seguro de que la respuesta escogida es la correcta se debe pulsar el botón «OK». En caso de haber fallado la respuesta, el juego mostrará la correcta.



Figura 3.6: Imágenes de ARGreenet.

Cuando se termine un nivel del juego, aparecerá una pantalla con las puntuaciones obtenidas. Para continuar al siguiente nivel se debe pulsar el botón «OK». En el caso de que se hayan superado los tres niveles, tras pulsar el botón «OK» se mostrará la pantalla con las cinco mejores puntuaciones. Para continuar y volver a la pantalla inicial habrá que pulsar el botón «OK». En la Figura 3.6, a la izquierda se puede observar que el jugador se dispone a depositar un objeto en el cubo de reciclaje azul; a la derecha, el jugador se dispone a recoger un residuo. La Tabla 3.1 muestra un resumen de la información relativa de cada nivel.

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
Puntos para finalizar nivel	50	125	225
Tiempo estimado	200 seg.	300 seg.	400 seg.
Puntos por tiempo sobrante	5 ptos/seg.	5 ptos/seg.	5 ptos/seg.
Puntos por reciclar bien	6	8	12
Puntos por reciclar mal	-3	-4	-6
Puntos por esquivar cubo	-1	-2	-3
Puntos por acertar pregunta	5	10	15
Puntos por fallar pregunta	2	4	6
Cubos	2	3	4
Objetos por cubo	2	4	6
Preguntas	1	2	3

Tabla 3.1: Parámetros del juego.

3.3.1 Cubos y objetos reciclables

Los cubos aparecerán sobre los marcadores con una letra (ver Figura 3.5). Dependiendo del nivel, el número de cubos variará, así como los puntos por acertar, fallar y dejar pasar un objeto.

En el cubo amarillo se deberán depositar los plásticos y envases ligeros. En el cubo azul se deberá tirar todo tipo de papel y cartón. El cubo gris simboliza el lugar donde se deberán reciclar los aparatos electrónicos. En el cubo marrón es donde se deberán depositar los materiales orgánicos y los residuos que no se pueden reciclar en ningún otro cubo. El cubo rojo es donde se deberá echar toda clase de pilas y baterías pequeñas. El cubo verde es el lugar en el que se deberá depositar toda clase de envases de vidrio. En la Figura 3.7 se pueden ver algunos ejemplos de cubos de reciclaje.

Hay un máximo de seis objetos reciclables diferentes para cada tipo de contenedor. En la Figura 3.7 se pueden ver dos ejemplos de residuos. El número de objetos que aparecerán de un determinado cubo depende del nivel en el que se esté (Tabla 3.1).

3.3.2 Versiones del juego

En la Sección 3.3 se ha descrito de forma general el juego. A continuación, se van a detallar las peculiaridades de cada versión.

En la versión individual del juego, conocida como ARGreenet, sólo se permite



Figura 3.7: Ejemplos de cubos de reciclaje y residuos.

jugar a un jugador. El juego es *offline* y no requiere ningún tipo de conexión.

La primera versión colaborativa, conocida como TeamARGreenet, es la misma que la versión individual con la peculiaridad de que ARGreenet se juega con dos o tres niños que se ayudan mutuamente.

La segunda versión colaborativa requiere conexión Wi-Fi para poder comunicarse entre el teléfono móvil y el servidor. En esta versión, participan equipos que pueden estar compuesto desde 2 hasta 9 jugadores. Los jugadores sólo pueden ver la puntuación de su equipo (la puntuación del equipo es la suma de las puntuaciones individuales de los jugadores que lo forman). Las puntuaciones individuales no son visibles.

La versión competitiva, al igual que la segunda versión colaborativa, requiere una conexión Wi-Fi. En esta versión del juego, varios equipos se enfrentan entre sí. Al igual que en la segunda versión colaborativa, los equipos pueden estar formados desde 2 hasta 9 jugadores. Además, en una partida competitiva, pueden participar desde 2 hasta 9 equipos. En este caso, los jugadores, aparte de ver su puntuación como equipo, también pueden ver las puntuaciones de los equipos rivales que forman parte de una misma partida.

Para poner en marcha las versiones colaborativa y competitiva se necesita un servidor que cree los datos del juego que serán compartidos por el resto de teléfonos que estén jugando en una misma partida. Antes de jugar, es necesario establecer la dirección IP del servidor en los teléfonos para que, a través de un router, puedan comunicarse con el servidor. Cuando se crea una partida, el juego pide un nombre al jugador. A continuación, se pide al jugador que introduzca un nombre de equipo y un nombre de partida. Estos datos, que se guardarán en el servidor, permiten identificar a los participantes. A continuación, hasta

que se cumplan los requisitos de la partida (número de jugadores y equipos), el juego permanece en espera. Es, en este momento, cuando otros jugadores pueden unirse a una partida y a un equipo de entre una lista de partidas y otra de equipos disponibles. En caso de que la partida sea competitiva, además, se tendrá la opción de crear un nuevo equipo. Si no quedaran equipos a los que unirse o no se pudiera crear un nuevo equipo, el jugador siempre puede volver a las pantallas anteriores pulsando el botón «atrás». En la Figura 3.8 se puede observar de forma gráfica los pasos que tienen que seguir los jugadores para crear o unirse a una partida en cualquiera de las tres versiones del juego. Una vez empieza la partida, el servidor genera una lista de residuos, otra de cubos de reciclaje y otra con las preguntas. Los jugadores no pueden pasar al siguiente nivel hasta que todos los jugadores pertenecientes a un equipo hayan terminado el nivel. En la Sección 3.2.7 se puede obtener información más detallada sobre el funcionamiento del servidor.

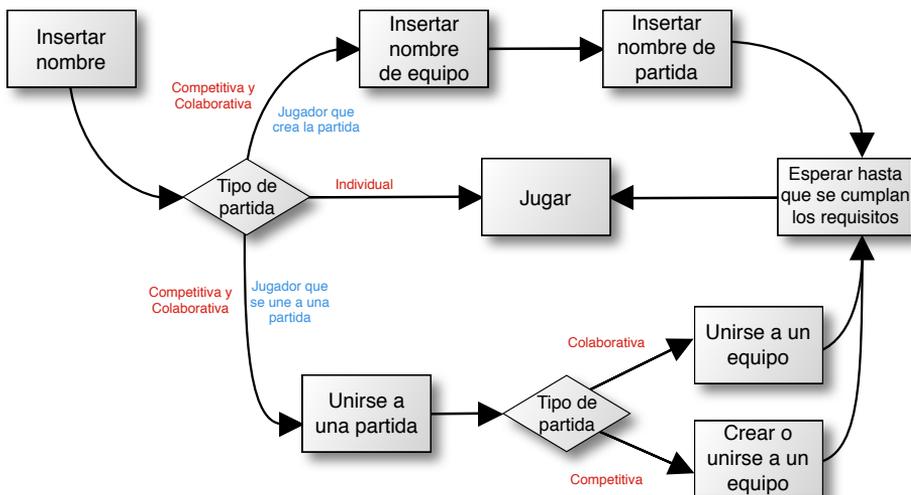


Figura 3.8: Pasos a seguir para empezar una partida.

3.4 Estudio comparativo entre BasicGreenet vs. ARGreenet

En esta sección se presentan las pruebas realizadas comparando una versión básica del juego donde no hay RA con la versión de RA desarrollada. El objetivo principal de este estudio era comprobar si los juegos eran capaces de influenciar a los usuarios sobre la importancia de reciclar. Asimismo, otro de los objetivos era comparar cuál de los dos juegos tenía una mayor influencia en los usuarios, y con cuál de los juegos les parecía que podían aprender más acerca del reciclaje.

3.4.1 Participantes

En el estudio participaron 38 niños de l'«Escola d'Estiu» de la UPV con edades comprendidas entre 8 y 13 años, donde un 63.2% eran niños y un 36.8% niñas.

3.4.2 BasicGreenet

En BasicGreenet los objetos a reciclar iban cayendo desde la parte superior de la pantalla uno a uno, tipo *Tetris*. El jugador debía mover dicho objeto hacia la izquierda o hacia la derecha para enviarlo al contenedor de reciclaje correspondiente, que se encontraba en la parte inferior de la pantalla. BasicGreenet incorpora los mismos residuos, cubos de reciclaje y preguntas que ARGreenet. Los niveles del juego también son iguales. En la Figura 3.9 se puede observar a un niño jugando a BasicGreenet.



Figura 3.9: Imágenes de BasicGreenet.

3.4.3 Medidas

Los cuestionarios se diseñaron siguiendo los pasos descritos en (Ajzen, 2010). Primero, se definió el comportamiento. En nuestro caso, era reciclar. El siguiente paso era especificar la población de estudio. En los cuestionarios se limitó, en la medida de lo posible, el número de preguntas. El último paso era definir las preguntas. Las preguntas tenían que ser formuladas para evaluar cada uno de los conceptos importantes de la teoría: Actitud, Intención de cambiar, Valor percibido y Comportamiento. De acuerdo con las teorías de Acción Razonada (Ajzen & Fishbein, 1980) y Comportamiento Planificado (Ajzen, 1991), las preguntas se diseñaron para determinar los niveles de conocimiento sobre el reciclaje de los niños, su actitud hacia el reciclaje y el entorno, el comportamiento actual hacia el reciclaje y la intención de cambiar dichos comportamientos.

En todos los cuestionarios se utilizó una escala Likert de 1 a 7 donde, en la mayoría de los casos, 1 significaba «nada» y 7 significaba «muchísimo». En los casos en el que el significado de la puntuación era diferente, se explicaba en la misma pregunta.

En el estudio se usaron cuatro cuestionarios. El primero (EQ) puede apreciarse en la Tabla 3.2. Estaba compuesto por 10 preguntas, las cuales recogían información sobre datos demográficos básicos como la edad y el género, y sobre la experiencia con el uso de teléfonos móviles y dispositivos de juegos. En este cuestionario también se recogía información sobre los conocimientos sobre el reciclaje, y sobre la actitud, el comportamiento actual y la intención de cambiar con respecto al reciclaje y al medio ambiente.

El segundo cuestionario (PQ), que puede observarse en la Tabla 3.3, estaba enfocado a conocer la satisfacción de los niños con el juego (diversión, facilidad de uso, y valor percibido). Además, también incluía algunas de las preguntas basadas en «La teoría de la acción razonada» del cuestionario EQ.

El tercer cuestionario (FQ), que se muestra en la Tabla 3.4, estaba compuesto por 5 preguntas. Las cuestiones F1-F2 iban dirigidas al aprendizaje percibido como resultado de jugar al juego. En la pregunta F3, los niños tenían que seleccionar el juego que preferían. En la pregunta F4, los niños explicaban el por qué de su elección. En la última pregunta, F5, los niños podían añadir comentarios sobre la experiencia.

El cuarto cuestionario (PRQ), que se muestra en la Tabla 3.5, estaba compuesto por 2 preguntas. Este cuestionario servía para medir la sensación de presencia de los niños después de jugar con ARGreenet.

Identificador	Preguntas
E1	Experiencia con teléfonos móviles ¿Cuánta experiencia tienes con el uso de teléfonos móviles?
E2	Por favor, indica tu nivel de experiencia con el Nokia N95: (1-Novato, 7-Experto).
E3	Experiencia con videojuegos ¿Cuánta experiencia tienes en jugar con juegos en PC o teléfonos móviles?
E4	Conocimiento sobre reciclaje ¿Cuánto sabes acerca de lo que podemos reciclar y cómo?
E5	¿Cuánto sabes acerca de los efectos del reciclaje sobre el impacto ambiental?
E6	Por favor, marca tu nivel de experiencia sobre lo que es reciclaje y por qué es importante: (1-Novato, 7-Experto).
E7	Opinión acerca del medio ambiente/ Actitud Por favor, marca el número que mejor describa tu opinión respecto a: «Deberíamos reciclar más para reducir nuestro impacto ambiental»: (1-completamente en desacuerdo, 7-completamente de acuerdo).
E8	Comportamiento Por favor marca el número que mejor describa tu comportamiento respecto a: «Reciclo mi basura y separo las latas, botellas, periódicos, etc.»
E9	Por favor indica lo bueno que eres reciclando: (1-Nada bueno, 7-Muy bueno).
E10	Comportamiento previsto/Motivación para cambiar Indica en qué grado estarías dispuesto a tomar nuevas acciones para mejorar tu comportamiento sobre el reciclaje.

Tabla 3.2: EQ: Cuestionario inicial.

Identificador	Preguntas
P1	Diversión Me ha gustado jugar a este juego.
P2	El juego ha sido divertido
P3	Facilidad de uso ¿Ha sido fácil jugar a este juego?: (1-Muy difícil, 7-Muy fácil).
P4	Valor percibido Creo que jugar a este juego me puede ayudar a reciclar.
P5	Me gustaría volver a jugar a este juego porque es interesante para mí.
P6	Actitud Por favor, marca el número que mejor describa tu opinión respecto a: «Deberíamos reciclar más para reducir nuestro impacto ambiental». (1-Totalmente en desacuerdo, 7-Totalmente de acuerdo).
P7	Motivación para cambiar Indica en qué grado estarías dispuesto a tomar nuevas acciones para mejorar tu comportamiento sobre el reciclaje.
P8	Intención para cambiar Como resultado de jugar a estos juegos hablaré con mis amigos y familiares sobre reciclaje.
P9	Como resultado de jugar a estos juegos pensaré más sobre el reciclaje y sus efectos en el medio ambiente.
P10	Como resultado de jugar a estos juegos cambiaré mi comportamiento actual.

Tabla 3.3: PQ: Cuestionario post-juego.

Identificador	Preguntas
F1	Aprendizaje percibido acerca del reciclaje ¿Cuánto has aprendido sobre lo que podemos reciclar y cómo?
F2	Por favor, indica el grado de experiencia sobre los residuos que puedes reciclar como resultado de jugar a estos juegos: (1-Novato, 7-Experto)
F3	Preferencias ¿Qué juego te ha gustado más? Versión básica o Versión de RA.
F4	¿Por qué?
F5	Escribe cualquier comentario que quieras sobre la experiencia.

Tabla 3.4: PQ: Cuestionario final.

Identificador	Preguntas
PR1	Valora la sensación que has tenido de estar en una habitación en la que había residuos y cubos de reciclaje.
PR2	¿Hubo momentos durante la experiencia en los que creíste que las imágenes de los residuos y los cubos estaban en la habitación, sobre la mesa o sobre tu mano? (1-En ningún momento, 7-Todo el tiempo).

Tabla 3.5: PRQ: Cuestionario de presencia.

3.4.4 Procedimiento

Los niños participaron voluntariamente en el estudio con el consentimiento de sus padres. Los niños fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos siguientes:

- Grupo A: Niños que jugaron con ARGreenet primero y luego con BasicGreenet.
- Grupo B: Niños que jugaron con BasicGreenet primero y luego con ARGreenet.

Todos los participantes experimentaron ambas versiones, aunque en diferente orden. Un grupo de 19 alumnos jugó primero a la versión ARGreenet mientras que el otro grupo, también de 19 alumnos, jugó en primer lugar a la versión BasicGreenet. Antes de jugar, los niños tuvieron que rellenar el cuestionario inicial, EQ (Tabla 3.2). Además, se les proporcionó la información necesaria tanto acerca de cómo jugar como de los elementos a reciclar y los contenedores de reciclaje. Esta información no estaría disponible durante la partida. Después de cada juego, tuvieron que rellenar el cuestionario PQ (Tabla 3.3). Después de jugar con la versión de RA, los niños rellenaron el cuestionario de presencia, PRQ (Tabla 3.5). Tras jugar a los dos juegos, rellenaron un último cuestionario, FQ (Tabla 3.4). En la Figura 3.10 se puede observar el procedimiento completo que se ha seguido durante las pruebas.

3.4.5 Resultados

Del cuestionario inicial, los participantes indicaron tener poca experiencia (3.87 ± 1.42) en cuanto a teléfonos móviles, y prácticamente nada con el Nokia N95 8Gb (1.05 ± 0.23). Los estudiantes también revelaron tener algo de experiencia con videojuegos. El grupo A, que jugó en primer lugar a la versión de RA, tenía

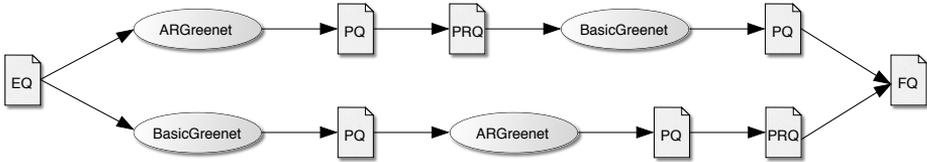


Figura 3.10: Procedimiento del estudio.

más experiencia (5.47 ± 1.35), que el grupo que jugó primero a la versión básica (4.00 ± 1.80).

La Tabla 3.6 muestra el resto de las preguntas incluidas en el cuestionario inicial. De los datos se puede deducir que la práctica totalidad de los participantes tenía un conocimiento inicial sobre el reciclaje bastante alto. Además, la mayoría estuvo de acuerdo en que «Se debería reciclar más para reducir el impacto ambiental». La mayoría también indicó que actualmente reciclaban bastante.

Preguntas	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
Media \pm desv.típ.	4.97 ± 0.91	4.00 ± 1.59	4.68 ± 1.21	6.47 ± 0.92	5.71 ± 1.48	5.18 ± 1.18	5.92 ± 1.32

Tabla 3.6: Puntuaciones del cuestionario inicial.

Se realizaron pruebas t considerando los datos de todas las cuestiones de post-cuestionarios rellenados después de jugar a cada juego. Dichos análisis se muestran en la Tabla 3.7. Ninguno de los tests mostró diferencias estadísticas significativas entre los dos juegos, excepto para la pregunta P3. El nivel de significación (α) se fijó en 0.05 para todos los tests. De los datos obtenidos, se puede observar que los dos juegos fueron aceptados de forma positiva. La media combinada de las diez preguntas para los dos juegos es de (6.24 ± 0.31).

De los datos se pueden deducir las siguientes tendencias: La versión básica tuvo una pequeña influencia más positiva que la versión de RA en las respuestas a la pregunta (P6), y en las preguntas respecto a la intención de cambiar el comportamiento (P8-P10). La versión de RA tuvo una pequeña influencia más positiva que la versión básica en las preguntas sobre diversión (P1-P2), facilidad de uso (P3), y las preguntas sobre valores percibidos (P4-P5). Los dos juegos tuvieron una influencia similar en la motivación para el cambio.

Para determinar si jugar primero a uno de los dos juegos tenía algún efecto sobre las puntuaciones del segundo juego, la muestra se dividió en dos grupos:

Pregunta	ARGreenet Post-test	BasicGreenet Post-test	t	p
P1	6.40 ± 0.89	6.29 ± 0.80	0.70	0.49
P2	6.18 ± 1.01	6.05 ± 0.96	0.78	0.44
P3	6.26 ± 0.89	5.79 ± 1.19	2.30	0.03*
P4	6.53 ± 0.80	6.42 ± 0.79	1.00	0.32
P5	6.24 ± 1.17	6.00 ± 1.19	1.33	0.19
P6	6.82 ± 0.46	6.92 ± 0.36	-1.43	0.16
P7	6.45 ± 0.83	6.45 ± 0.76	0.00	1.00
P8	5.76 ± 1.24	5.87 ± 1.02	-1.00	0.32
P9	6.00 ± 1.04	6.18 ± 0.83	-1.64	0.11
P10	6.05 ± 1.06	6.13 ± 1.12	-0.72	0.47

Tabla 3.7: Análisis de pruebas t. N = 38. El símbolo * indica diferencias estadísticas significativas.

los participantes que usaron primero la versión de RA y los que usaron primero la versión básica. Se realizaron análisis ANOVA de un solo factor. Estos análisis se muestran en las Tablas 3.8 y 3.9. Sólo tres de los test ANOVA aplicados a los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas entre los dos juegos. Estos tres resultados son, para la versión de RA, P10, y para la versión básica, P4 y P9. De estos datos, se puede observar que el orden de juego no influyó de forma significativa en las puntuaciones del segundo juego.

Para confirmar si los participantes cambiaron su actitud como resultado de jugar a los juegos, se compararon, usando pruebas t para medias de dos muestras emparejadas, las puntuaciones de la pregunta E7-P6. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas, para ARGreenet ($t[37] = -2.59$, $p < 0.01$) y BasicGreenet ($t[37] = -2.90$, $p < 0.01$), confirmando que los juegos influenciaron la actitud de los participantes.

También se comprobó si se modificó la intención de los participantes para cambiar su comportamiento después de jugar a los juegos. Para ello, se compararon mediante pruebas t para medias de dos muestras emparejadas, las puntuaciones de la pregunta E10-P7. Una vez más, los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas para ARGreenet ($t[37] = -2.60$, $p = 0.01$) y para BasicGreenet ($t[37] = -2.48$, $p = 0.02$). Por tanto, los juegos influenciaron la intención de cambiar el comportamiento.

Para la relación entre la intención de cambio antes (E10) y después de jugar (P7), se usó la correlación de Pearson. La hipótesis nula es que el coeficiente de

Pregunta	ARGreenet - 1 ^o	ARGreenet - 2 ^o	gl.	F	<i>p</i>
P1	6.26 ± 0.93	6.53 ± 0.84	1	0.83	0.37
P2	5.95 ± 0.97	6.42 ± 1.02	1	2.16	0.15
P3	6.11 ± 0.88	6.42 ± 0.90	1	1.20	0.28
P4	6.53 ± 0.84	6.53 ± 0.77	1	0.00	1.00
P5	6.21 ± 1.27	6.26 ± 1.10	1	0.02	0.89
P6	6.68 ± 0.58	6.95 ± 0.23	1	3.36	0.08
P7	6.37 ± 0.76	6.53 ± 0.90	1	0.34	0.56
P8	5.47 ± 1.12	6.05 ± 1.31	1	2.14	0.15
P9	5.68 ± 1.06	6.32 ± 0.95	1	3.77	0.06
P10	5.68 ± 1.20	6.42 ± 0.77	1	5.05	0.03*

Tabla 3.8: Análisis ANOVA un sólo factor para ARGreenet. N = 38. El símbolo * indica diferencias significativas.

Preguntas	BasicGreenet - 1 ^o	BasicGreenet - 2 ^o	gl.	F	<i>p</i>
P1	6.42 ± 0.69	6.16 ± 0.90	1	1.02	0.32
P2	6.05 ± 1.03	6.05 ± 0.91	1	0.00	1.00
P3	5.74 ± 1.19	5.84 ± 1.21	1	0.07	0.79
P4	6.68 ± 0.67	6.16 ± 0.83	1	4.59	0.04*
P5	6.11 ± 1.05	5.89 ± 1.33	1	0.29	0.59
P6	7.00 ± 0.00	6.84 ± 0.50	1	1.88	0.18
P7	6.68 ± 0.58	6.21 ± 0.85	1	3.98	0.05
P8	6.11 ± 1.15	5.63 ± 0.83	1	2.12	0.15
P9	6.47 ± 0.61	5.89 ± 0.94	1	5.09	0.03*
P10	6.47 ± 0.84	5.79 ± 1.27	1	3.82	0.06

Tabla 3.9: Análisis ANOVA de un sólo factor para BasicGreenet. N = 38. El símbolo * indica diferencias significativas.

correlación viene de una población donde la correlación es 0. Para determinar si la correlación es significativa, se comprueba que el coeficiente de correlación se encuentre dentro de la distribución de la muestra, especificada por la hipótesis nula con diferentes probabilidades. Los niveles de significación de las Correlaciones de Pearson son: cuando se usa ARGreenet primero, (0.621 ± 0.005) y BasicGreenet jugado en segundo lugar, (0.566 ± 0.02) ; y cuando se utiliza BasicGreenet primero, (0.318 ± 0.2) , y ARGreenet se juega después, (0.361 ± 0.2) . Partiendo de los resultados del juego que se utilizó en primer lugar por cada uno de los dos grupos de niños, se puede decir que ARGreenet presenta una mayor correlación.

También se comprobó si los juegos influyeron en la percepción de los participantes acerca de aprender sobre el reciclaje. Usando pruebas *t* para medias de dos muestras emparejadas, se compararon las puntuaciones de E6-F2. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas para todos los datos ($t[37] = -5.01$, $p < 0.01$). También cuando se jugó primero con ARGreenet ($t[18] = -3.80$, $p < 0.01$) y BasicGreenet ($t[18] = -4.14$, $p < 0.01$). Se comparó, también, utilizando pruebas *t* para medias de dos muestras emparejadas, las puntuaciones para la pregunta E4 y la pregunta F1 del cuestionario final. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas para todos los datos ($t[37] = -6.05$, $p < 0.01$). También cuando se jugó primero con ARGreenet ($t[18] = -4.32$, $p < 0.01$) y BasicGreenet ($t[18] = -4.14$, $p < 0.01$). A partir de los datos, se puede afirmar que jugar a los juegos influyó la percepción de los participantes acerca de aprender sobre el reciclaje. Además, la media de las puntuaciones de la pregunta F1 fue mayor que 6 (6.05 ± 0.84). Es posible afirmar que los jugadores sintieron que habían aprendido acerca de qué se puede reciclar y cómo.

En el estudio se incluyeron dos preguntas relacionadas con la sensación de presencia. El cuestionario PRQ está basado en el cuestionario de Slater y Usoh (Slater & Usoh, 1994). La puntuación de presencia se obtiene como el número de respuestas que tienen una puntuación de 6 sobre 7. La puntuación de presencia fue de (0.97 ± 0.75) . La media de presencia fue de (5.00 ± 1.48) . Por tanto, aunque las puntuaciones fueron bastante altas, no llegaron a 6.

Con respecto a las preferencias (F3), la mayoría de los participantes (69.4 %) prefirió ARGreenet. Cuando BasicGreenet se jugó primero, el 82.4 % de los participantes prefirió la versión de RA; mientras que el 57.9 % de los participantes prefirió ARGreenet cuando éste se jugó en primer lugar.

3.4.6 Conclusiones

En este estudio se planteó la comparación entre un sistema básico sin RA y otro con RA, para determinar con cuál de los juegos les parecía que podían aprender más sobre el reciclaje, cuál influía más de cara a mejorar su comportamiento y con cuál de los dos se divertían más. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los dos juegos a excepción de la cuestión relacionada con la facilidad de uso, P3. La usabilidad y la percepción de la facilidad de uso son aspectos importantes a tener en cuenta, ya que pueden afectar a la efectividad de los juegos educativos (Jones et al., 1999; Mayes & Fowler, 1999; Squires, 1999). Las respuestas de los niños a la pregunta P3 no sólo indicaron que el juego de RA fue fácil de utilizar, sino, también, que fue más fácil de usar que el juego sin RA. Los sistemas fáciles de usar ayudan a los estudiantes a centrar su atención en el aprendizaje (Sun et al., 2008).

A pesar de que no existen diferencias estadísticas significativas, destaca que la versión de RA, aparte de en la facilidad de uso, obtuvo una media mayor en las preguntas de diversión y valor percibido. Estos resultados podrían deberse a que los niños no están acostumbrados a la RA y a juegos que hagan uso de ella, por lo que es más sorprendente para ellos que los videojuegos tradicionales, a los que ya están acostumbrados (Ardito et al., 2007; Billinghamurst et al., 2001; Tan et al., 2008). Los niños otorgaron una puntuación de 6.53 sobre 7 a la pregunta P5, lo que indica que pensaron que habían aprendido utilizando ARGreenet. Este resultado apoyaría el hecho de que al ser fácil de utilizar, los niños pudieron centrarse en aprender. Por otra parte, la motivación de los estudiantes es uno de los aspectos más importantes en los métodos educativos. Un indicio importante sobre la motivación de los niños con respecto al juego es su deseo de seguir jugando (Price et al., 2003). En nuestro caso, los niños asignaron una puntuación de 6.24 sobre un total de 7 a la pregunta P4, lo que indica que les gustaría volver a jugar a ARGreenet. Además, el 69.4 % prefirió la experiencia con ARGreenet. Algunas explicaciones de por qué los niños prefirieron la versión de RA fueron, por ejemplo, que pensaban que el juego era más divertido, original y real; y que vieron el juego de RA como atípico y se sorprendían de poder tener los objetos virtuales sobre sus manos. Sin embargo, hubo niños a los que les gustó más la versión básica, ya que preferían jugar sentados en vez de ir buscando objetos por la habitación.

Los análisis estadísticos también muestran que la motivación de cambiar, el aprendizaje percibido y la actitud fueron influenciados positivamente. Basándose en el consejo de Gardner (Gardner & Ashworth, 2008), que dice que «si las personas mantienen una actitud positiva hacia el reciclaje, es más probable que

actúen», estos resultados sugieren que es probable que los niños vayan a mejorar su comportamiento respecto al reciclaje.

Respecto a la sensación de presencia, los resultados muestran que los participantes experimentaron una sensación de presencia moderadamente alta (5 sobre 7). A pesar de que la puntuación es relativamente alta, con objetos 3D más reales se podría obtener una mayor sensación de presencia, lo cual podría ayudar a trasladar mejor los conocimientos del juego a la vida real.

Unos pocos niños añadieron algunos comentarios finales. Por ejemplo, hubo una niña que quería saber cómo funciona la RA para poder explicárselo a sus padres. Otros niños propusieron que se comercializase el juego. Además, cuando jugaban con el juego de RA hubo niños que se pusieron los marcadores en diferentes lugares, como sus camisetas, gorras, etc.

Finalmente, de los resultados del estudio, se puede concluir que, a pesar del hecho de que ARGreenet y BasicGreenet utilizaban diferentes tecnologías, ambos juegos demostraron ser adecuados para transmitir conocimientos sobre el reciclaje. Todas estas conclusiones, hacen pensar que el teléfono móvil es un dispositivo ideal tanto para aprender sobre el reciclaje como para persuadir a los ciudadanos para que cambien su comportamiento respecto al mismo.

3.5 Estudio comparativo entre ARGreenet vs. TeamARGreenet

En esta sección se presenta un estudio comparativo entre una versión individual de ARGreenet con una versión colaborativa del mismo juego. Los objetivos eran los mismos que en el estudio anterior: comparar cuál de las dos versiones influía más en el comportamiento de los participantes y observar con cuál de los dos juegos era mayor la percepción de aprendizaje y la diversión.

3.5.1 Participantes

En este estudio participaron 45 niños de l'«Escola d'Estiu» de la UPV con edades comprendidas entre 8 y 13 años, donde un 53.3% eran niños y un 46.7% niñas.

3.5.2 TeamARGreenet

TeamARGreenet es una versión colaborativa del juego ARGreenet. Con ARGreenet sólo uno de los niños podía jugar cada vez. En TeamARGreenet, para

jugar se formaban grupos de dos o tres niños, pero jugaban sobre un mismo teléfono. Cada integrante del grupo jugaba un nivel, mientras el resto tenía que ayudar al niño que estaba jugando en ese momento.

3.5.3 Medidas

Se utilizaron los mismos cuestionarios que en el estudio anterior, con excepción del cuestionario de presencia, que no se utilizó. Dichos cuestionarios pueden observarse en las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4. La pregunta F3 del cuestionario final (FQ) se modificó de acuerdo al estudio actual: «¿Qué juego te ha gustado más? ARGreenet o Team ARGreenet?».

3.5.4 Procedimiento

Los niños participaron voluntariamente en el estudio con el consentimiento de sus padres. Los niños fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos siguientes:

- Grupo A: Niños que jugaron con ARGreenet primero y luego con TeamARGreenet.
- Grupo B: Niños que jugaron con TeamARGreenet primero y luego con ARGreenet.

Todos los participantes experimentaron ambas versiones, aunque en diferente orden. Un grupo de 21 niños jugó primero a la versión ARGreenet mientras que el otro grupo, de 24 niños, jugó en primer lugar a la versión TeamARGreenet. Al igual que en el experimento anterior, antes de jugar, los niños tuvieron que rellenar el cuestionario inicial, EQ (Tabla 3.2). Además, se les proporcionó la información necesaria tanto acerca de cómo jugar como de los elementos a reciclar y los contenedores de reciclaje. Esta información no estaría disponible durante la partida. Después de cada juego, tuvieron que rellenar el cuestionario PQ (Tabla 3.3). Tras jugar a las dos versiones, rellenaron un último cuestionario, FQ (Tabla 3.4). En la Figura 3.11 puede observarse el procedimiento llevado a cabo.

3.5.5 Resultados

Del cuestionario inicial, los participantes indicaron que tenían poca experiencia en cuanto a teléfonos móviles (4.20 ± 1.70), y ellos mismos se consideraron novatos con el uso del Nokia N95, (1.00 ± 0.60). Los estudiantes también indicaron

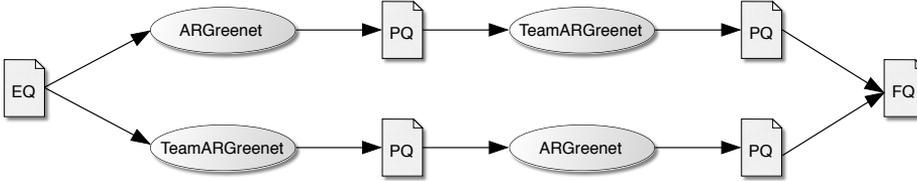


Figura 3.11: Procedimiento del estudio.

su nivel de experiencia respecto a los videojuegos, siendo más experimentados los que jugaron a ARGreenet en primer lugar, (5.19 ± 1.86), que los que jugaron primero a TeamARGreenet (4.42 ± 1.53).

La Tabla 3.10 presenta el análisis del resto de preguntas incluidas en el cuestionario inicial. De los datos se puede deducir que prácticamente todos los participantes tenían un conocimiento bastante alto sobre reciclaje. Además, muchos mostraron una opinión favorable hacia el reciclaje y estuvieron totalmente de acuerdo en que «se debería reciclar más para reducir el impacto ambiental». Los participantes también indicaron su intención de mejorar, aunque la mayoría ya estaban acostumbrados a reciclar.

Pregunta	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
Todos	5.40±1.21	5.40±1.21	4.89±1.35	6.91±0.29	6.11±1.28	5.38±1.19	6.13±0.92
ARGreenet	5.62±1.56	5.81±1.29	5.29±1.59	6.90±0.30	6.43±0.98	5.90±1.26	6.43±0.93
TeamAR	5.21±0.78	5.04±1.04	4.54±1.02	6.92±0.28	5.83±1.46	4.92±0.93	5.88±0.85

Tabla 3.10: Puntuaciones (Media±Desv.Típica) para las preguntas del cuestionario inicial: conocimiento, actitud y comportamiento respecto al reciclaje.

Se aplicaron pruebas t a los resultados de todas las preguntas de los cuestionarios PQ. Estos análisis se muestran en la Tabla 3.11. Ninguno de los análisis estadísticos mostró diferencias estadísticas significativas entre los dos juegos, excepto P1 y P2. Igual que en el estudio anterior, el nivel de significación se fijó en 0.05 para todos los tests.

Para determinar si el usar en primer lugar uno de los juegos tuvo algún efecto en los resultados sobre el segundo juego, la muestra se dividió en dos grupos: los que usaron primero ARGreenet y los que jugaron en primer lugar TeamARGreenet. Se aplicaron análisis ANOVA de un solo factor a los resultados de todas las

Preguntas	ARGreenet Post-test	TeamARGreenet Post-test	t	p
P1	5.96 ± 1.11	6.24 ± 1.07+	-3.29	<0.01*
P2	6.13 ± 1.08+	5.87 ± 1.31	2.38	0.02*
P3	6.33 ± 0.95	6.38 ± 1.01+	-0.47	0.64
P4	6.24 ± 0.96	6.33 ± 0.88+	-1.07	0.29
P5	6.00 ± 1.37+	5.93 ± 1.45	0.90	0.37
P6	7.00 ± 0.00+	6.98 ± 0.15	1.00	0.32
P7	6.40 ± 1.21	6.51 ± 0.99+	-1.22	0.23
P8	5.40 ± 1.71	5.42 ± 1.88+	-0.24	0.81
P9	6.00 ± 1.09+	5.82 ± 1.09	1.84	0.07
P10	5.87 ± 1.58+	5.62 ± 1.63	1.91	0.06

Tabla 3.11: Análisis pruebas t de los resultados del post-test. N = 45. El símbolo * indica diferencias significativas. El símbolo + indica una media mayor.

preguntas. Estos análisis se muestran en las Tablas 3.12 y 3.13. Quince de los veinte tests ANOVA aplicados a los resultados muestran diferencias estadísticas significativas entre los dos juegos. Por lo tanto, se puede deducir que el orden de juego afectó de forma significativa a los resultados del segundo juego. Para ARGreenet, las medias fueron más altas cuando se jugó primero, pero para la versión TeamARGreenet, las medias fueron más altas cuando se jugó en segundo lugar.

Basándonos en estos resultados, se analizaron sólo las puntuaciones de cuando se jugó por primera vez a un juego. Estos resultados se muestran en la Tabla 3.14. Siete de los diez tests ANOVA mostraron diferencias estadísticas significativas entre los dos juegos. En todos ellos, la media de ARGreenet era superior, exceptuando la pregunta P6, que tenía la misma puntuación.

Se realizaron pruebas t para medias de dos muestras emparejadas para explorar si la actitud de los participantes hacia el reciclaje se vio influenciada por los juegos. Esta información la proporcionaba la pregunta E7-P6. Como el orden era importante, se decidió utilizar sólo los datos de la primera vez que jugaban. Los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas con ARGreenet ($t[20]=-1.45$, $p=0.16$) ni con TeamARGreenet ($t[23]=-1.45$, $p=0.16$). En base a los datos, se concluyó que los juegos no influyeron en la actitud de los participantes. Sin embargo, nuestra explicación de estos resultados es que las puntuaciones de la media inicial eran muy altas (6.92 para TeamARGreenet y 6.91 para ARGreenet) y la puntuación media una vez habían jugado era prácti-

Preguntas	ARGreenet - 1 ^o	ARGreenet - 2 ^o	gl.	F	<i>p</i>
P1	6.48 ± 0.60+	5.50 ± 1.25	1	10.61	<0.01*
P2	6.52 ± 0.75+	5.79 ± 1.22	1	5.71	0.02*
P3	6.71 ± 0.90+	6.00 ± 0.88	1	7.17	0.01*
P4	6.71 ± 0.72+	5.83 ± 0.96	1	11.82	<0.01*
P5	6.90 ± 0.30+	5.21 ± 1.44	1	27.85	<0.01*
P6	7.00 ± 0.00=	7.00 ± 0.00=	1	0.00	1.00
P7	6.95 ± 0.22+	5.92 ± 1.50	1	9.79	<0.01*
P8	6.33 ± 1.24+	4.58 ± 1.67	1	15.61	<0.01*
P9	6.71 ± 0.46+	5.38 ± 1.10	1	27.07	<0.01*
P10	6.71 ± 0.56+	5.13 ± 1.80	1	15.03	<0.01*

Tabla 3.12: Análisis ANOVA de un sólo factor de ARGreenet. N = 45. El símbolo * indica diferencias estadísticas significativas. El símbolo + indica una media mayor. El símbolo = indica medias iguales.

Preguntas	TeamARGreenet 1 ^o	TeamARGreenet 2 ^o	gl.	F	<i>p</i>
P1	5.96 ± 1.27	6.57 ± 0.68+	1	3.93	0.05
P2	5.50 ± 1.41	6.29 ± 1.06+	1	4.35	0.04*
P3	6.25 ± 1.07	6.52 ± 0.93+	1	0.83	0.37
P4	6.08 ± 0.97	6.62 ± 0.67+	1	4.49	0.04*
P5	5.17 ± 1.61	6.81 ± 0.40+	1	20.77	<0.01*
P6	7.00 ± 0.00+	6.95 ± 0.22	1	1.15	0.29
P7	6.29 ± 1.23	6.76 ± 0.54+	1	2.61	0.11
P8	4.63 ± 1.95	6.33 ± 1.32+	1	11.49	<0.01*
P9	5.29 ± 1.00	6.43 ± 0.87+	1	16.34	<0.01*
P10	4.96 ± 1.83	6.38 ± 0.92+	1	10.38	<0.01*

Tabla 3.13: Análisis ANOVA de un sólo factor de TeamARGreenet. N = 45. El símbolo * indica diferencias estadísticas significativas. El símbolo + indica una media mayor.

Preguntas	ARGreenet 1 ^o	TeamARGreenet 1 ^o	gl.	F	<i>p</i>
P1	6.48 ± 0.60+	5.96 ± 1.27	1	2.92	0.10
P2	6.52 ± 0.75+	5.50 ± 1.41	1	8.82	0.01*
P3	6.71 ± 0.90+	6.25 ± 1.07	1	2.43	0.13
P4	6.71 ± 0.72+	6.08 ± 0.97	1	5.97	0.02*
P5	6.90 ± 0.30+	5.17 ± 1.61	1	23.80	<0.01*
P6	7.00 ± 0.00=	7.00 ± 0.00=	1	0.00	1.00
P7	6.95 ± 0.22+	6.29 ± 1.23	1	5.86	0.02*
P8	6.33 ± 1.24+	4.63 ± 1.95	1	11.88	<0.01*
P9	6.71 ± 0.46+	5.29 ± 1.00	1	35.78	<0.01*
P10	6.71 ± 0.56+	4.96 ± 1.83	1	17.84	<0.01*

Tabla 3.14: Análisis ANOVA de un sólo factor para cuando ARGreenet y TeamARGreenet se usaron en primer lugar. N = 45. El símbolo * indica diferencias estadísticas significativas. El símbolo + indica una media mayor. El símbolo = indica medias iguales.

camente 7, en ambos casos. Con esas puntuaciones iniciales tan altas, era difícil, si no imposible, obtener resultados significativamente más altos después de jugar.

Se realizó un análisis de pruebas t para medias de dos muestras emparejadas para comprobar si jugar a los juegos influyó en la intención de cambiar el comportamiento. Dicha intención se obtuvo de la pregunta E10-P7. Los resultados para ARGreenet ($t[20]=-2.59$, $p=0.02$) mostraron diferencias estadísticas significativas mientras que para TeamARGreenet ($t[23]=-1.93$, $p=0.07$) no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, las medias después de jugar a los juegos fueron más altas que las puntuaciones iniciales y, por lo tanto, jugar a estos juegos indujo a los jugadores a dar una puntuación más alta.

También se comprobó si los juegos influenciaron la percepción para aprender sobre reciclaje. Se compararon los resultados de la pregunta E6-F2. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas cuando ARGreenet se jugaba en primer lugar ($t[20]=-3.02$, $p<0.01$) mientras que no se encontraron diferencias estadísticas significativas cuando TeamARGreenet se jugó primero ($t[23]=-1.70$, $p=0.10$).

Finalmente, se comparó, con pruebas t para medias de dos muestras emparejadas, las puntuaciones de la pregunta E4-F1. Los resultados mostraron

diferencias estadísticas significativas cuando ARGreenet se jugó en primer lugar ($t[20]=-2.58$, $p=0.02$). En cambio, cuando TeamARGreenet se usó primero no hubo diferencias significativas ($t[23]=0.12$, $p=0.90$).

Respecto a las preferencias, la mayoría de los participantes (59.1 %) respondió a favor de TeamARGreenet.

3.5.6 Conclusiones

En este estudio se planteó la comparación entre un sistema individual de RA y otro colaborativo, también de RA, para saber con cuál de los juegos les parecía que podían aprender más acerca del reciclaje, cuál influía más de cara a mejorar su comportamiento y con cuál de los dos se divertían más. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las dos versiones a excepción de las cuestiones relacionadas con la Diversión (P1-P2). Estos datos indican que tanto ARGreenet como TeamARGreenet influyeron de forma similar en los niños.

Se estudió si el orden afectaba a los diferentes aspectos analizados. Tanto en el caso de ARGreenet, como en el de TeamARGreenet, se encontraron diferencias estadísticas significativas. Para ARGreenet, las medias fueron más altas cuando se jugó en primer lugar, pero para la versión TeamARGreenet, las medias fueron más altas cuando se jugó en segundo lugar.

Debido a que el orden era importante, se realizó un ANOVA con las puntuaciones de cuando se jugó por primera vez a ARGreenet y a TeamARGreenet. El análisis reveló que había diferencias estadísticas significativas entre los dos juegos a favor de ARGreenet. Todas las puntuaciones fueron superiores a las de TeamARGreenet, excepto en la pregunta P6, que eran iguales. Estos resultados indican que ARGreenet tuvo mayor influencia sobre los niños que TeamARGreenet cuando ambos juegos se utilizaron en primer lugar. Con respecto a la motivación e intención de cambio, y aprendizaje percibido con respecto al reciclaje, los resultados indican que ARGreenet tuvo una mayor influencia en los niños que TeamARGreenet. Estos resultados indican que el juego individual mejoró la motivación e intención de cambio y aprendizaje percibido en mayor medida que TeamARGreenet. Además, los niños también estarían dispuestos a volver a jugar a ARGreenet, puesto que otorgaron una puntuación de 6.71 sobre un total de 7 a la pregunta P4. Con TeamARGreenet, aunque también afectó de forma positiva, las puntuaciones fueron significativamente menores. Al igual que en el estudio anterior y en base al consejo de Gardner (Gardner & Ashworth, 2008), estos resultados sugieren que es probable que los niños mejoren su comportamiento respecto al reciclaje después de utilizar ARGreenet. A pesar de que ARGreenet obtuvo mejores puntuaciones, cuando se les preguntó a los

niños qué versión preferían, el 59.1% de ellos eligió la versión colaborativa.

En resumen, podemos observar que si el orden no se tiene en cuenta, ARGreenet y TeamARGreenet tienen una influencia similar sobre los niños. En cambio, si se tiene en cuenta el orden, ARGreenet influye más en los niños que TeamARGreenet cuando ambos se juegan en primer lugar. Este hecho puede deberse a que con TeamARGreenet los niños se distraen un poco más debido a que juegan en grupo. Esta situación provoca que se diviertan más, pero presten menos atención al contenido del juego, lo que explica por qué la versión colaborativa fue la preferida.

3.6 Estudio comparativo de las versiones individual, colaborativa y competitiva de ARGreenet

En esta sección se presenta un nuevo estudio entre una versión individual de ARGreenet con una versión colaborativa y otra competitiva del mismo juego. Los objetivos eran los mismos que en los estudios anteriores: comparar cuál de las versiones influía más en el comportamiento y observar con cuál de los juegos era mayor la percepción de aprendizaje y la diversión. Este estudio forma parte del proyecto GreenHunt (Juegos en teléfonos móviles para promover comportamientos de ahorro de energía), financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, del 1-1-2008 hasta el 31-7-2010, y con código de proyecto: PCI2006-A7-0676.

3.6.1 Participantes

En el estudio participaron 28 niños con edades comprendidas entre 8 y 11 años (con una media de edad de 10.18 ± 0.86). De los 28 niños, 12 eran chicos (23.86%) y 16 eran chicas (57.14%). Los niños asistían a la escuela «Balmain Public School» en Balmain (Sídney).

3.6.2 Versiones de ARGreenet

Se realizó un estudio con tres versiones del juego ARGreenet. A diferencia de TeamARGreenet (ver Sección 3.5), donde los niños de un mismo grupo jugaban sobre el mismo teléfono, en esta nueva versión colaborativa, los niños jugaban en grupos, donde cada uno usaba su teléfono con conexión Wi-Fi para comunicarse con el servidor y los otros teléfonos. El objetivo en esta versión era obtener la

máxima puntuación como equipo. La versión competitiva también hacía uso de esta tecnología. Todos los integrantes del grupo usaban los mismos marcadores. En la versión colaborativa, los equipos se formaban con cuatro niños, mientras que cuando se jugaba a la versión competitiva, se enfrentaban dos equipos compuestos de dos niños. El objetivo del modo competitivo era obtener una puntuación mayor que la del equipo rival.

3.6.3 Medidas

Identificador	Preguntas
I1	Mobile phone Experience How often do you use mobile phones for playing games or calling someone?
I2	How often do you play computer games?
I3	Knowledge of recycling How much do you know about what can be recycled?
I4	How much do you know about how to recycle?
I5	Beliefs about the environment/Attitudes People should be recycling more in order to reduce their environmental footprint.
I6	Behaviors I recycle my garbage and separate the cans, the bottles, newspapers etc.

Tabla 3.15: Cuestionario inicial: IQ.

Se utilizaron tres cuestionarios para la validación. Los cuestionarios se muestran en las Tablas 3.15-3.17. Cabe destacar que al realizarse las pruebas en Sídney, tanto la aplicación como los cuestionarios estaban en inglés. El primer cuestionario (Tabla 3.15) se rellenaba antes de jugar a los juegos. El segundo cuestionario (Tabla 3.16), se rellenaba después de jugar a cada versión. El último cuestionario (Tabla 3.17), se rellenaba cuando los niños habían terminado de jugar a todas las versiones. Todas las respuestas del primer y del segundo cuestionario se midieron usando una escala Likert de 7 puntos, donde, en la mayoría de casos, 1 significaba «nada» y 7 significaba «muchísimo». En los casos donde el significado era diferente, la puntuación se explicaba en la propia pregunta. El cuestionario final tenía una pregunta con respuesta categórica (FQ1) y una pregunta donde los niños tenían que escribir el porqué de sus preferencias (FQ2).

Identificador	Preguntas
PQ1	Easy to use Please indicate if the game has been easy to play.
PQ2	Engagement and fun I enjoyed playing this game.
PQ3	Perceived value I think playing this game has helped me learn about residues that can be recycled.
PQ4	I think playing this game has given me the motivation to recycle more things.
PQ5	Attitudes People should be recycling more in order to reduce their environmental footprint.
PQ6	Intention to change I will talk to my friends and family members about recycling.
PQ7	I will think more about recycling and its effect on the environment.
PQ8	I will make changes to my current recycling behavior.

Tabla 3.16: Cuestionario post-versión: PQ.

Identificador	Preguntas
FQ1	Preference Which game did you like the most? Basic: Collaboration: Competition:
FQ2	Please explain what made you prefer one game over the other two?

Tabla 3.17: Cuestionario final: FQ

El cuestionario inicial recogía información sobre datos demográficos básicos, incluyendo la edad, el género, la experiencia con teléfonos móviles y con dispositivos de juegos como consolas u ordenadores. Por ejemplo, una de las preguntas era: *¿Con qué frecuencia juegas con juegos de ordenador? 1:Nunca 2:Casi nunca 3:Muy Poco 4:Poco 5:Bastante 6:Mucho 7:Muchísimo* (I2).

El segundo cuestionario estaba compuesto de 8 preguntas para obtener datos acerca de la facilidad de uso, la diversión, el aprendizaje percibido, la actitud y la intención de cambio. Por ejemplo, una de las preguntas era: *Por favor, indica si ha sido fácil jugar. 1:Nada 2:Casi nada 3:Muy poco 4:Un Poco 5:Bastante 6:Mucho 7:Muchísimo* (PQ1).

El cuestionario final estaba compuesto por dos preguntas que reunían información acerca de la versión del juego que preferían los niños.

3.6.4 Procedimiento

Los niños que participaron en el estudio fueron asignados de forma aleatoria a uno de los tres grupos siguientes:

- A: Grupo que jugó primero a la versión básica, luego a la versión colaborativa y finalmente a la versión competitiva.
- B: Grupo que jugó primero a la versión colaborativa, luego a la versión competitiva y finalmente a la versión básica.
- C: Grupo que jugó primero a la versión competitiva, luego a la versión básica y finalmente a la versión colaborativa.

En cada sesión participaban cuatro niños y duraba alrededor de cuarenta minutos. Se revisaron los grupos para balancear el género y el número en la medida de lo posible. Los tres grupos tenían un número similar de participantes: 12 niños fueron asignados al grupo A, 8 niños al grupo B y otros 8 niños al grupo C. La Figura 3.12 muestra el procedimiento de forma gráfica. Como se puede observar, antes de jugar a una versión, los niños completaban el cuestionario inicial. A continuación, se les daban instrucciones sobre cómo jugar y, para familiarizarlos con los objetos que aparecían en el juego, se les dejó examinar durante unos minutos una página donde se mostraban los distintos cubos de reciclaje junto con los residuos correspondientes. Todos los participantes jugaron a las tres versiones, pero en diferente orden. El grupo A experimentó la versión básica primero, el grupo B jugó primero a la versión colaborativa y el grupo C hizo lo mismo con la versión competitiva. Después de completar una versión,

los niños tenían que rellenar el segundo cuestionario. Finalmente, una vez completadas las tres versiones, los niños tenían que responder al cuestionario final. Los cuestionarios se rellenaron en la misma habitación donde tuvieron lugar las actividades. Dos personas se encargaron de aclarar las posibles dudas respecto al uso del juego.

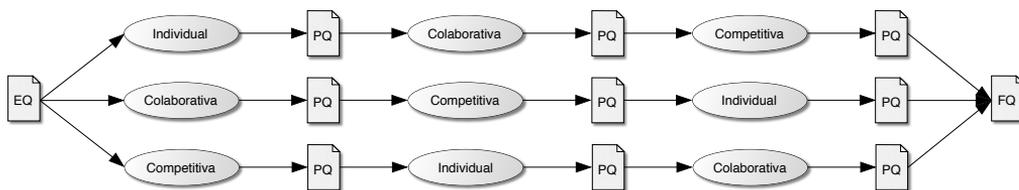


Figura 3.12: Procedimiento del estudio.

3.6.5 Resultados

La Figura 3.13 muestra los resultados del cuestionario inicial. En ella podemos observar que los niños indicaron que tenían experiencia moderada con juegos de ordenador y teléfonos móviles (3.96 ± 1.43). Casi todos los niños señalaron tener un conocimiento moderado acerca del reciclaje (4.71 ± 1.56). Los niños estuvieron muy de acuerdo cuando se les preguntó sobre si «se debería reciclar más para reducir el impacto ambiental» (I5) (5.82 ± 1.68). Los niños también indicaron que ya eran buenos reciclando (4.89 ± 1.77).

Para comparar las tres versiones del juego se realizaron análisis ANOVA multifactoriales para las diferentes variables del segundo cuestionario (Tabla 3.16): Facilidad de uso (pregunta PQ1), Diversión (PQ2), Aprendizaje percibido (PQ3 y PQ4), Actitud (PQ5), e Intención de cambio (PQ6-PQ8). El nivel de significación se estableció en 0.05 para todos los análisis. Se analizaron los factores Género y Grupo. Como se puede observar en las Tablas 3.18-3.22, ninguno de los resultados del análisis ANOVA mostró diferencias estadísticas significativas. Hecho que significa que las tres versiones del juego tuvieron un efecto similar en los niños respecto a facilidad de uso, diversión, aprendizaje percibido, actitud, e intención de cambio.

La Figura 3.14 muestra los resultados del segundo cuestionario después de jugar por primera vez a una versión del juego. En ella podemos observar que éstos eran mayores en la versión competitiva del juego. A partir de estos datos podemos deducir que la versión competitiva tuvo más aceptación que las otras

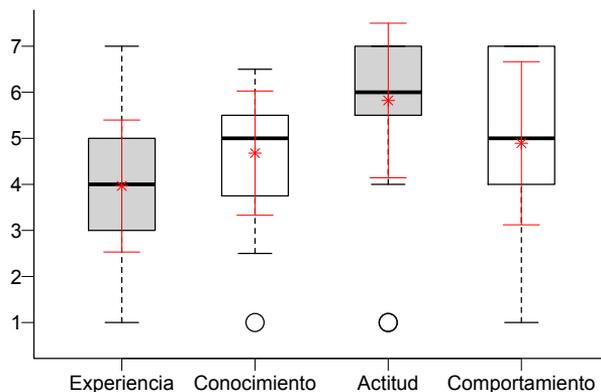


Figura 3.13: Diagramas de cajas del cuestionario inicial. La media y la desviación típica se muestran en rojo.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Género	1	0.45	0.51	0.02
Grupo	2	1.20	0.32	0.11
Género:Grupo	2	1.24	0.31	0.11

Tabla 3.18: Resultados del análisis ANOVA multifactorial. Se analizaron dos factores (Grupo, Género) y sus interacciones para la facilidad de uso. N = 28.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Género	1	0.05	0.83	<0.01
Grupo	2	0.38	0.69	0.04
Género:Grupo	2	0.55	0.59	0.05

Tabla 3.19: Resultados del análisis ANOVA multifactorial. Se analizaron dos factores (Grupo, Género) y sus interacciones para la diversión. N = 28.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Género	1	0.17	0.68	0.01
Grupo	2	1.83	0.19	0.15
Género:Grupo	2	0.05	0.95	0.01

Tabla 3.20: Resultados del análisis ANOVA multifactorial. Se analizaron dos factores (Grupo, Género) y sus interacciones para la actitud. $N = 28$.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Género	1	0.38	0.54	0.02
Grupo	2	0.68	0.52	0.06
Género:Grupo	2	0.69	0.51	0.06

Tabla 3.21: Resultados del análisis ANOVA multifactorial. Se analizaron dos factores (Grupo, Género) y sus interacciones para la percepción de aprendizaje. $N = 28$.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Género	1	1.60	0.22	0.07
Grupo	2	0.37	0.69	0.04
Género:Grupo	2	1.18	0.33	0.11

Tabla 3.22: Resultados del análisis de la ANOVA multifactorial. Se analizaron dos factores (Grupo, Género) y sus interacciones para la intención de cambio. $N = 28$.

dos versiones. Se puede observar que la versión competitiva tuvo una influencia ligeramente más positiva en todas las respuestas que las otras dos versiones.

Para determinar si la actitud de los niños había cambiado como resultado de jugar al juego se realizó un análisis ANOVA multifactorial. Los factores Género y Grupo eran factores entre-sujetos, mientras que el factor Cuestionario era intra-sujetos. Se compararon las puntuaciones dadas para la pregunta I5 y PQ5 del primer y segundo cuestionario, respectivamente. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 3.23. No se obtuvieron diferencias estadísticas significativas, lo que implica que la actitud de los niños se mantuvo similar después de jugar.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Género	1	0.81	0.38	0.03
Grupo	2	1.45	0.26	0.10
Cuestionario	1	1.48	0.24	0.02
Interacciones	2	<0.66	>0.43	<0.02

Tabla 3.23: Resultados del análisis ANOVA multifactorial. Se analizaron tres factores (Grupo, Género y Cuestionario) y sus interacciones para la actitud de los niños después de jugar a la primera versión.

Con respecto a las preferencias, los niños respondieron a la pregunta FQ1: «¿Qué versión del juego te ha gustado más?». Los niños prefirieron la versión competitiva (71.43 %). La prueba exacta de Fisher reveló que no había diferencias estadísticas significativas en la preferencia por una de las versiones del juego entre los niños que jugaron en el grupo A, B o C ($p=0.09$, V de Cramer=0.35). Como se puede apreciar en la Figura 3.15, la mayoría de los niños prefirió la versión competitiva (A=66.67 %, B=50 %, C=100 %) independientemente del grupo al que pertenecieran. Otra prueba exacta de Fisher reveló que no había diferencias estadísticas significativas en la preferencia por una de las versiones del juego entre los chicos y las chicas ($p=0.39$, V de Cramer=0.26). Como se puede observar en la Figura 3.15, tanto chicos (75 %) como chicas (68.75 %) prefirieron la versión competitiva.

Se utilizó la prueba de correlación de Pearson para determinar si había relación entre las variables. La Figura 3.16 muestra la relación entre las diferentes variables. Como se puede observar, la variable diversión estaba correlacionada positivamente con la actitud, el aprendizaje percibido y la intención de cambio. También se puede ver que la facilidad de uso estaba correlacionada con la edad,

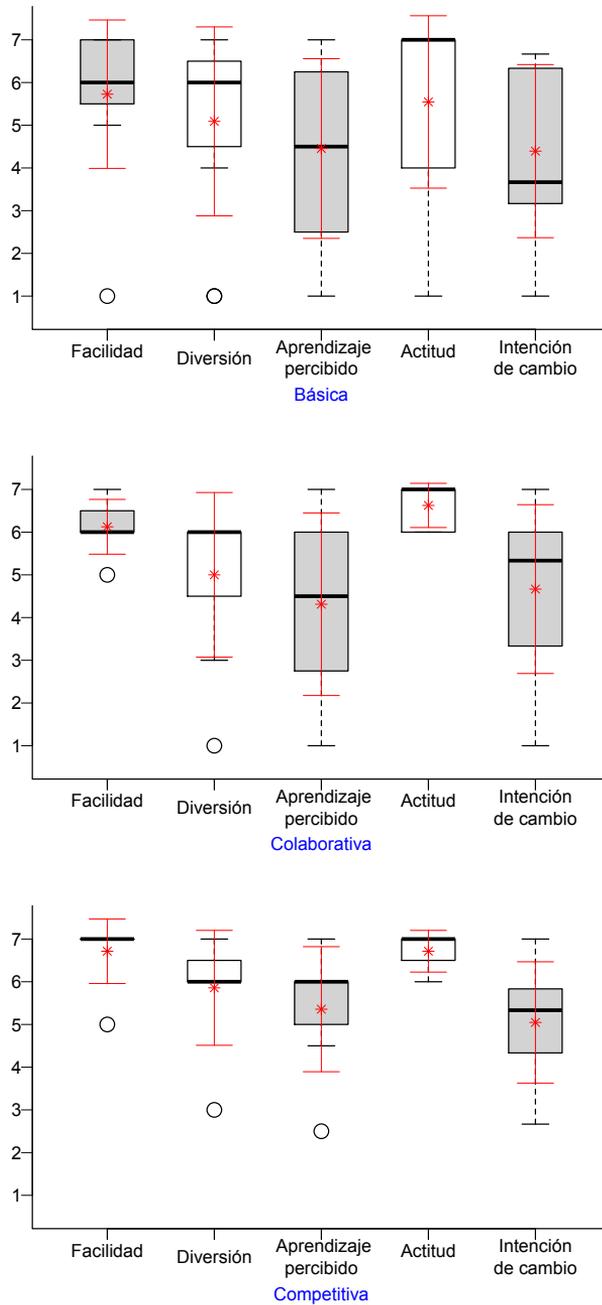


Figura 3.14: Diagrama de cajas de los resultados del segundo cuestionario después de jugar por primera vez a una versión del juego. Las medias y las desviaciones típicas se muestran en rojo.

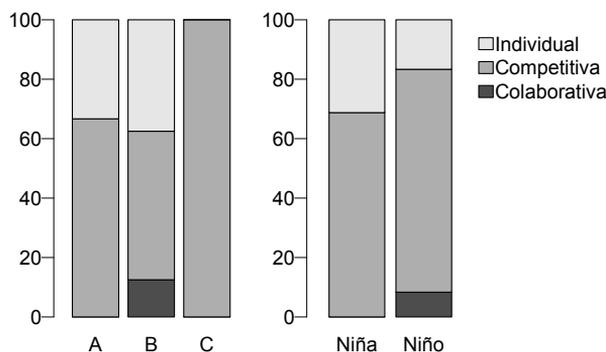


Figura 3.15: Preferencias de las versiones del juego, en porcentaje, por grupo y género.

la actitud y la preferencia. La prueba de correlación también indicó que la actitud estaba correlacionada con la edad, el aprendizaje percibido, la preferencia y la intención de cambio. El aprendizaje percibido y la intención de cambio también estaban fuertemente correlacionadas.

3.6.6 Conclusiones

En este estudio se planteó la comparación entre un sistema individual, otro colaborativo y otro competitivo para saber con cuál de los juegos les parecía que podían aprender más acerca del reciclaje, cuál les influía más de cara a mejorar su comportamiento y con cuál de los tres se divertían más. Los resultados del estudio mostraron que no había diferencias estadísticas significativas entre las tres versiones del juego con respecto a facilidad de uso, aprendizaje percibido, actitud, e intención de cambio. Desde nuestro punto de vista, este es un buen resultado ya que muestra que las tres versiones influyen de forma similar. Sin embargo, los resultados muestran que la versión competitiva tuvo medias mayores que las otras dos versiones. Estos resultados indican que la versión competitiva motivó más a los niños que las otras dos versiones. Respecto a su preferencia explícita, una gran mayoría (71.43 %) prefirió la versión competitiva, mientras que la colaborativa fue la versión menos popular. Las razones por la que los niños prefirieron la versión competitiva pueden encontrarse en algunas de las respuestas que dieron a la pregunta FQ2. Por ejemplo, los niños preferían competir contra otros jugadores porque tenían que pensar más rápido que en

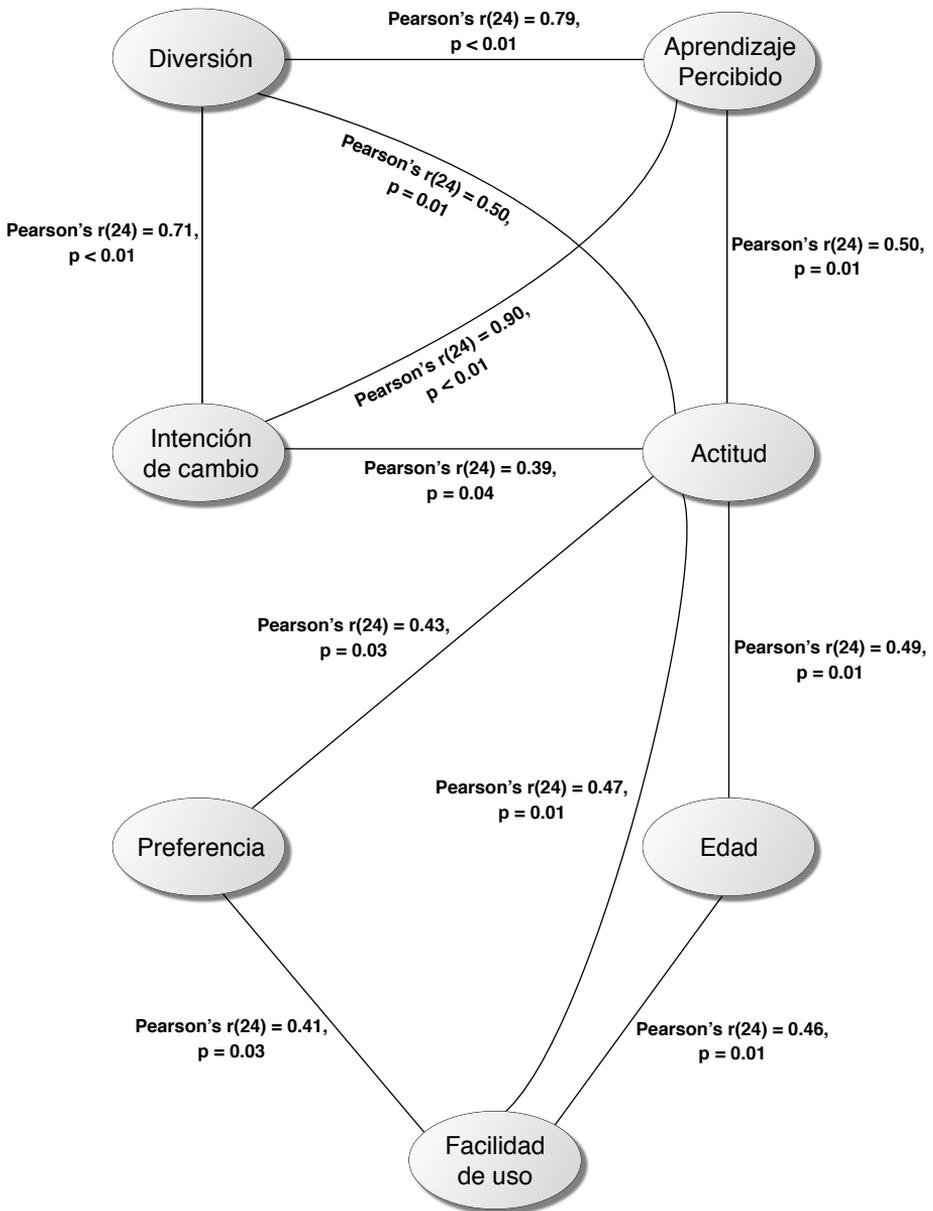


Figura 3.16: Correlaciones entre variables.

las otras versiones. Además, en la versión competitiva, como ya ocurrían con la colaborativa, trabajaban como equipo. Este enfrentamiento cara a cara, hacía que el juego fuese más divertido que si estuviesen jugando solos o colaborando.

Los resultados también mostraron que la actitud de los niños hacia el reciclaje después de jugar al juego no cambió significativamente respecto a su actitud inicial. Hecho que podría deberse a que las puntuaciones iniciales ya eran altas, con lo que la actitud inicial de los niños ya era buena antes del jugar al juego con respecto al reciclaje.

También se estudió la relación entre las variables. Se observó que la variable diversión estaba correlacionada con la actitud, el aprendizaje percibido y la intención de cambio. Estos resultados indicarían que cuando los niños se divertían más con el juego, su actitud, aprendizaje percibido y la intención de cambio eran mejores. También se encontró que la facilidad de uso estaba correlacionada con la edad, lo que significaría que el juego era más fácil para los niños mayores. Resultado que se esperaba ya que los niños mayores normalmente tienen mejores habilidades. La facilidad de uso también se correlacionó con la preferencia. Este resultado también era esperado ya que cuando el juego es fácil de jugar, la experiencia suele ser más satisfactoria. La actitud, también se correlacionó con la facilidad de uso, lo que sugeriría que cuánto más fácil encontraron el juego, mejor actitud hacia el reciclaje tuvieron. Una vez más, una experiencia satisfactoria ayudó con la actitud de los niños. Las puntuaciones de los niños indican que encontraron el juego fácil de usar (ver PQ1 en la Figura 3.14), lo que sugiere que éste les ayudó a centrar su atención en el reciclaje (considerando los argumentos de la Sección 3.4.6). Las pruebas de correlación también mostraron que la actitud estaba correlacionada con la edad, el aprendizaje percibido, la preferencia y la intención de cambio. Resultados que indican que los niños mayores tuvieron una mejor actitud después de jugar al juego. También que cuánto mayor era el aprendizaje percibido, mejor era la actitud de los niños con respecto al reciclaje. El aprendizaje percibido y la intención de cambio también estaban correlacionados entre sí, lo que podría significar que cuando el aprendizaje percibido era mayor, los niños tenían más intención de cambiar su comportamiento con respecto al reciclaje.

De nuevo, en base a los argumentos de la Sección 3.4.6, estos resultados sugieren que el juego podría influir en los niños para mejorar su comportamiento respecto al reciclaje, independientemente de la versión utilizada.

3.7 Trabajos futuros

Un trabajo futuro posible sería cambiar las imágenes utilizadas por el uso de objetos tridimensionales que ofrezcan mayor calidad y realismo. También se podrían incorporar más tipos de residuos, contenedores y preguntas relacionados con el reciclaje, así como sonidos para una experiencia más enriquecedora. Una de las limitaciones importantes de ARGreenet fue que no se comprobó si los niños adquirirían conocimiento con el juego. Por lo tanto, podrían realizarse más estudios para comprobar que, efectivamente, los niños han aprendido y mejorado la actitud con respecto al reciclaje.



En este capítulo, se describe el juego implementado y presentan las herramientas utilizadas, el proceso llevado a cabo para el diseño, la implementación y el funcionamiento del juego de multiculturalidad para el iPhone. También se detalla el estudio llevado a cabo y los resultados obtenidos. En primer lugar se describirán los elementos utilizados para diseñar el juego. Seguidamente, se presentarán todas las herramientas y dispositivos utilizados para la creación, implementación y ejecución del juego, así como los requisitos técnicos necesarios para su correcto funcionamiento. A continuación, se realizará una descripción del juego donde se comentará la estructura de éste y se detallarán los diferentes elementos que aparecen en él. Seguidamente, se describirá el estudio realizado de forma detallada, incluyendo el procedimiento y las medidas utilizadas. Finalmente, se expondrán los resultados y se presentarán las conclusiones.

Las publicaciones derivadas del presente capítulo son las siguientes:

- Furió, D., González-Gancedo, S., Juan, M.-C., Seguí, I. & Rando, N. (2013b). Evaluation of learning outcomes using an educational iPhone game vs. traditional game. *Computers & Education*, 64, 1-23. Factor de impacto=2.775 (primer cuartil en la categoría Computer Science, Interdisciplinary Applications).
- Furió, D., Juan, M. C., Seguí, I., Rando, N. & Cano, J. (2011). Lessons learnt from an experience with an augmented reality iPhone learning game. En *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2011)* (Vol. 52, pp. 1-8).

4.1 Introducción

La multiculturalidad pone énfasis en la igualdad y el respeto por el pluralismo de culturas (Verkuyten, 2007). Además, también representa una condición crucial para aprender y desarrollar la cultura (Fowers & Davidov, 2006). Las ideas que fomenta la multiculturalidad son (Turgeon, 2005):

- Reconocimiento: Reconocer que alguien o algún grupo existe y que requiere algún tipo de respuesta ética.
- Tolerancia: Ser tolerante con aquellos que son diferentes a nosotros.

- Respeto: Tratar a los demás amablemente y aceptar sus creencias o ideas.
- Solidaridad: El apoyo y ayuda a grupos minoritarios o personas con desventajas respecto a otras.

Además, la ley orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación, en el artículo 3 del real decreto 524/2006 establece lo siguiente como objetivo en la educación primaria en España: «Conocer, comprender y respetar las diferentes culturas y las diferencias entre las personas, la igualdad de derechos y oportunidades de hombres y mujeres, y la no discriminación de personas con discapacidad».

Como se muestra en la Sección 4.2, los profesionales de la educación que participaron en el estudio preliminar mostraron preferencia sobre la multiculturalidad, solidaridad y tolerancia.

A partir de estas ideas, se ha desarrollado un juego sobre multiculturalidad, pensado para que los niños aprendan sobre otras culturas y para fomentar en ellos la solidaridad, el respeto y la tolerancia hacia los demás.

4.2 Estudio preliminar

Con la colaboración de AIJU, se llevó a cabo un estudio preliminar para determinar las temáticas preferidas para videojuegos educativos para niños con edades comprendidas entre 8 y 10 años. Un grupo formado por 13 expertos en educación diseñó las preguntas de este estudio. Cabe destacar que este grupo no participó en el estudio. Los objetivos eran los siguientes:

- Conocer la opinión de los profesionales de la educación acerca del papel que pueden desarrollar las nuevas tecnologías en este campo.
- Identificar el tipo de juego más apropiado para juegos educativos.
- Identificar las temáticas más apropiadas para juegos educativos.
- Averiguar el conocimiento que poseen los profesionales acerca de la RA.

Un total de 150 profesionales participaron en el estudio (el 68 % eran mujeres y el 32 % eran hombres). La mayoría de los participantes (68 %) ha estado trabajando durante más de 10 años; el 24 % lo ha hecho entre 5 y 10 años; mientras que sólo un 8 % dijo tener una experiencia laboral menor de 5 años. La Figura 4.1 muestra el contexto profesional de los participantes. Como se puede observar, el 33.33 % de ellos eran pedagogos o psicólogos y un 30 % de los participantes eran profesores de primaria.

Para obtener los datos se utilizó un cuestionario, el cual se puede observar en la Tabla 4.1. Dicho cuestionario contenía preguntas relacionadas con el uso de las nuevas tecnologías, el conocimiento sobre la RA y las preferencias sobre las temáticas.

Identificador	Pregunta
QP1	¿Crees que las nuevas tecnologías podrían ser útiles en el colegio? 1) Mucho, 2) Bastante, 3) Algo, 4) Un poco, 5) Nada.
QP2	Como profesional de la educación, ¿qué tipo de juego prefieres para alumnos de 3º o 4º curso de primaria? Marca la opción u opciones que prefieras: 1) Simbólico, 2) Construcción, 3) Estrategia, 4) Preguntas, 5) Movimiento, 6) Habilidad, 7) NS/NC, 8) Otros (especificar).
QP3	Por favor, indica 4 temáticas que te gustaría que fueran incluidas en un juego de aprendizaje: 1) Naturaleza y organismos vivos; 2) Ciencia y tecnología; 3) Reglas de tráfico; 4) Deporte y actividades al aire libre; 5) Salud e higiene; 6) Valores morales y éticos; 7) Multiculturalidad, solidaridad y tolerancia; 8) Cálculo y razonamiento; 9) Música; 10) Historia; 11) Lenguaje y comprensión; 12) Otros (especificar).

Tabla 4.1: Preguntas del estudio preliminar.

Respecto a las preguntas que hacían referencia al uso de las nuevas tecnologías (QP1), la mayoría de los participantes (66.67 %) consideró que las nuevas tecnologías eran bastante útiles, asignando una puntuación de 2, mientras que un 30 % de los participantes las consideró muy útiles, otorgando una puntuación de 1. Sólo un 3.33 % de los participantes asignó una puntuación de 3 (algo útiles). Cabe destacar que nadie valoró el uso de las nuevas tecnologías como poco útiles (puntuación de 4) o nada útiles (puntuación de 5).

Había tres preguntas respecto a las preferencias temáticas. En la Figura 4.2 se pueden observar los porcentajes de cada una de las opciones de la pregunta QP2. El tipo de juego más popular fue el que requiere habilidades. En la Figura 4.3 se pueden ver las puntuaciones para la última pregunta, QP3. Los participantes podían elegir hasta 4 temáticas. La mayoría (63 %) eligieron «multiculturalidad, solidaridad y tolerancia» y «naturaleza y organismos vivos».

Respecto a la pregunta acerca de su conocimiento sobre RA, el 26 % conocía el significado de esta tecnología, el 53 % había oído hablar de ella y el 20 % no sabía nada acerca de la RA.

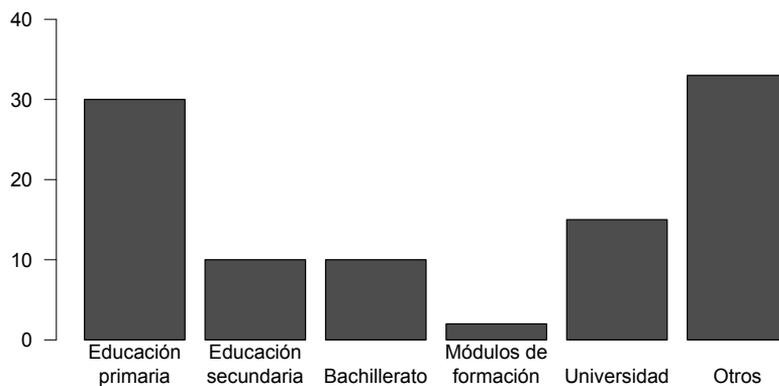


Figura 4.1: Participantes que pertenecen a un tipo de contexto profesional (en porcentaje).

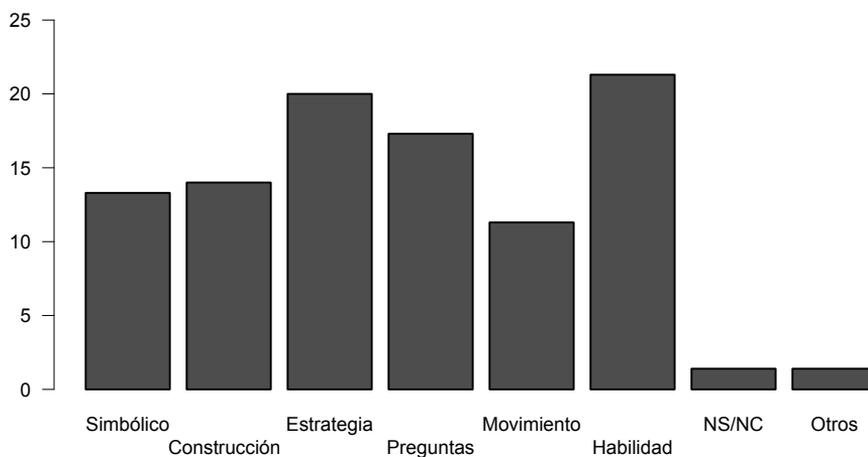


Figura 4.2: Tipos de juegos preferidos (en porcentaje).

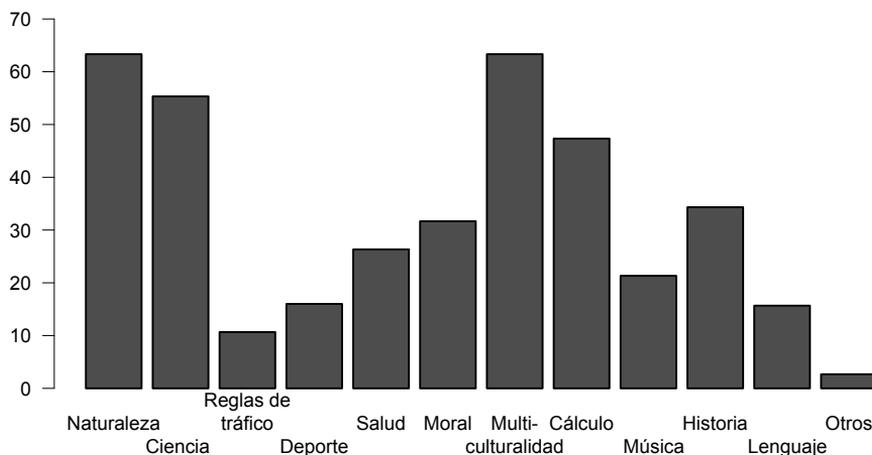


Figura 4.3: Preferencias temáticas (en porcentaje).

4.3 Diseño del juego

El diseño del juego se llevó a cabo conjuntamente entre AIJU y la UPV. Para el desarrollo del mismo se ha seguido el ciclo de vida de desarrollo de sistemas (SDLC). Además, se han considerado todas las teorías y principios que se mencionan en la Sección 4.3.1. El modelo SDLC es una metodología para describir procesos complejos y cuestiones relacionadas con el desarrollo de sistemas de información. En nuestro caso, se compone de 6 fases: Planificación del proyecto y Selección, Análisis del Sistema, Diseño del Sistema, Implementación del Sistema, Pruebas, y Evaluación. Es importante destacar que algunas fases no son completamente independientes y pueden mezclarse entre sí.

Durante la fase de Planificación del proyecto y Selección se escogió la temática y el tipo de juego a desarrollar. Se eligió Multiculturalidad, solidaridad y tolerancia por tres razones:

1. Fue una de las dos opciones preferidas en el estudio preliminar (ver Sección 4.2).
2. Fue el tema seleccionado por l'«Escola d'Estiu».
3. Este tema está incluido en el plan de estudios de España

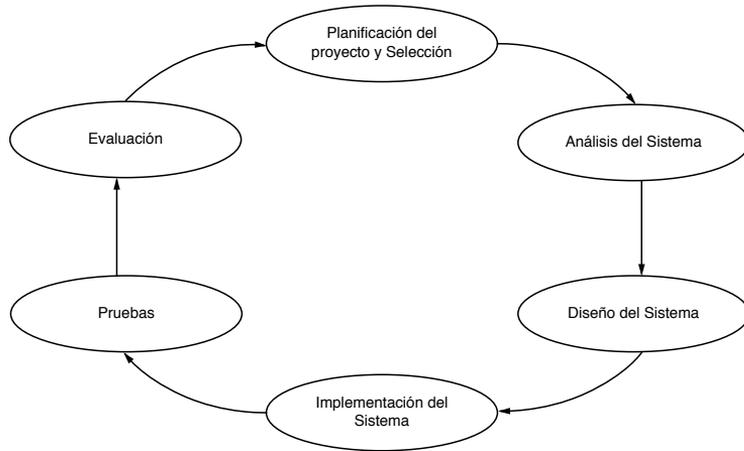


Figura 4.4: Fases de la metodología del ciclo de vida de desarrollo de sistemas utilizadas para el desarrollo y validación del juego.

En esta fase también se determinó el tipo de estudio que se iba a realizar (Evaluar si hay diferencias estadísticas significativas en el aprendizaje al usar un juego educativo con el iPhone y juegos tradicionales).

Durante la fase de Análisis del Sistema, se determinó el dispositivo a utilizar, los requisitos iniciales del juego, y la población objetivo. En este caso, se decidió usar el iPhone porque posee las características necesarias para desarrollar juegos con RA y diferentes formas de interacción (pantalla táctil y acelerómetro). Además, el iPhone es uno de los dispositivos móviles más utilizados en todo el mundo. Durante esta fase también se determinaron las capacidades máximas del iPhone para poder tener una experiencia de juego fluida. En un estudio empírico se determinó que un modelo 3D con aproximadamente 6000 polígonos era el límite para renderizar en pantalla. A partir de esta cifra, el juego se volvía demasiado lento si la cámara y el *tracking* de los marcadores estaban activos. Finalmente, se identificó la población objetivo basada en el tipo de juego, la temática y el dispositivo utilizado.

En la fase de Diseño del Sistema, se describieron las distintas etapas del juego, las distintas formas de interacción (manipulación física, interacción táctil, etc.). Durante esta fase también se propusieron los cuestionarios como método de evaluación del juego con niños, así como la forma en que se evaluaría el juego (número de niños, lugar dónde se evalúa el juego, etc.). La Figura 4.5

2. Diseño del juego

A 3a prueba (por ejemplo) = cocinar diferentes comidas típicas de otros países o culturas:
 En esta prueba tendrán que conseguir diferentes ingredientes para poder cocinar el plato que se les pide.

B **20**     Una vez encontrada la máquina, saldrán plantas de cacahuetes, y tendrán (táctilmente) que ir enviándolas a la máquina, y saldrán los cacahuetes pelados a un cesto

"Habéis encontrado la máquina de pelar cacahuetes, ahora tendréis que ir pasando cada planta de cacahuetes por la máquina, y ésta irá sacando los cacahuetes pelados. Cuanto más rápidos seáis antes terminaréis las pruebas"

C **22**   **00: 35**   Una vez encontrada la máquina, saldrán plantas de cacahuetes, y tendrán (táctilmente) que ir enviándolas a la máquina. Estos aparecerán y desaparecerán en un intervalo de 3 segundos (tiempo por determinar) e irán apareciendo durante 35 segundos (tiempo por determinar)

"Habéis encontrado la máquina de pelar cacahuetes, ahora tendréis que recoger los cacahuetes de la planta y llevarlos hasta la máquina para perlarlos. Sed rápidos y recoged cuantos más podáis en este minuto de tiempo."

D **22**   Una vez encontrada la máquina, saldrán plantas de cacahuetes, y tendrán (táctilmente) que ir enviándolas a la máquina. Estos aparecerán y desaparecerán en un intervalo de 3 segundos e irán apareciendo durante 45 segundos.

"Habéis encontrado la máquina de pelar cacahuetes, ahora tendréis que recoger los cacahuetes de la planta y llevarlos hasta la máquina para perlarlos. Sed rápidos y recoged cuantos más podáis en 45 segundos."

Figura 4.5: Evolución del diseño del mini-juego de los cacahuetes en el continente de África.

muestra las diferentes etapas por las que pasó el mini-juego de los cacahuets en el continente de África antes de ser implementado en la siguiente fase. Como se puede observar, se llevaron a cabo cuatro iteraciones para llegar al diseño final. En la primera de ellas (A), el mini-juego era simplemente una propuesta escrita de forma muy general que rápidamente, evolucionó al mini-juego de los cacahuets (B). Aquí se pueden ver los elementos principales del mini-juego (máquina de los cacahuets, planta, y los propios cacahuets) que deben aparecer en pantalla. En la parte izquierda aparece una descripción general del mini-juego y abajo aparece el texto que dice el personaje guía. En la siguiente iteración (C) se puede ver cómo se va concretando más el mini-juego. Se establece una duración y se modifican ligeramente los objetos que aparecerán en pantalla (por ejemplo, se añade un mini-mapa), así como lo que dice el personaje guía. En la última iteración (D) se acaban de refinar las características del mini-juego que a continuación será implementado en la siguiente fase.

Durante la fase de Implementación del Sistema, se programó el juego. Durante esta fase, también se probaron los distintos niveles del juego a medida que se iban acabando de implementar. Se presentaron diversos prototipos verticales para observar cómo funcionaban los diferentes niveles del juego. De esta forma, si el juego no funcionaba como estaba previsto se podían aplicar cambios.

En la fase de Prueba, se probó el juego completo con niños. Se identificaron y corrigieron problemas que no se detectaron en la fase anterior.

En la fase de Evaluación, se llevó a cabo un estudio en el que el iPhone se comparó con juegos tradicionales que ofrecían una experiencia equivalente. Se utilizaron los cuestionarios descritos en la Sección 4.6.3 para determinar el conocimiento adquirido, facilidad de uso, diversión, etc.

4.3.1 Teorías y principios

Para proporcionar una mejor experiencia de aprendizaje, el diseño del juego se ha basado en dos teorías de aprendizaje: La teoría del aprendizaje experiencial de Kolb (1984) y la teoría de inteligencias múltiples de Gardner (1983). La teoría de Kolb proporciona un soporte pedagógico complementario a los conceptos de inteligencias múltiples de Gardner (Hanratty & Taggart, 2005). La teoría del aprendizaje experiencial de Kolb destaca la importancia de aplicar el conocimiento y el trabajo en un ambiente real. La teoría de Gardner refuerza la importancia de esta forma de aprendizaje, pero también sugiere que se deberían considerar más enfoques (Kezar, 2001). Al igual que la teoría de Kolb, la teoría de inteligencias múltiples de Gardner sugiere que las personas tienen diferentes preferencias y aptitudes para diferentes tipos de aprendizaje (Godwin & Ka-

plan, 2008; Healey & Jenkins, 2000) y que la educación experiencial facilita los diferentes estilos de aprendizaje y permite participar más a los estudiantes en las distintas etapas de aprendizaje (Hanratty & Taggart, 2005). El diseño del juego se basó en la idea de usar la experiencia para el aprendizaje. Durante el juego, los niños no sólo observan (cómo en una lección de clase) sino que también participan resolviendo las diferentes situaciones que ofrece el juego con una combinación de diferentes estilos de aprendizaje.

Uno de los factores que influye más en la experiencia de un juego es la interacción (Koh et al., 2010). Para que la interacción fuese lo mejor posible, se tuvieron en cuenta estudios previos que han proporcionado varios principios y sugerencias para diseñar aplicaciones de *m-learning* (Herrington, 2009) y de RA (Koh et al., 2010). A pesar de que las sugerencias de Herrington iban dirigidas para estudiantes universitarios, nosotros creemos que muchas de ellas se pueden utilizar en la educación primaria. Los principios de diseño propuestos por Herrington que se pueden aplicar en el juego desarrollado son los siguientes (Herrington, 2009):

- Relevancia del mundo real: Utilizar *m-learning* en contextos reales. Como el juego utiliza RA, se juega en el mundo real.
- Explorar: Proporcionar tiempo para la exploración de la tecnología móvil. El juego empieza con un tutorial en el que se explican las diferentes formas de interacción.
- En cualquier momento: Utilizar *m-learning* espontáneamente. Se puede jugar al juego en cualquier momento.
- En cualquier lugar: Utilizar *m-learning* en espacios de aprendizaje que no sean tradicionales. Se puede jugar al juego en cualquier lugar, no sólo en el colegio.
- Cualidades: Explotar las cualidades de la tecnología móvil. En el juego se utilizan las características innovadoras del iPhone, como la cámara, la pantalla táctil o el acelerómetro.

Los principios de diseño para aplicaciones de RA utilizados en el juego se pueden resumir en los siguientes puntos (Koh et al., 2010):

- Un teléfono móvil con cámara es un dispositivo de interacción con 6 grados de libertad (Henrysson & Billinghurst, 2007). El teléfono se puede utilizar como un dispositivo de rastreo. En este caso, la cámara del iPhone se utiliza para buscar los marcadores.

- La RA puede utilizar distintos canales de entrada. El juego utiliza la cámara para buscar marcadores y la pantalla táctil para interactuar con ellos.
- Para el rastreo de marcadores fiduciales en aplicaciones de RA móviles se sugiere considerar técnicas de RA tangibles (Kato et al., 2001). En el juego, la interacción es tangible y táctil. Es tangible porque los niños pueden manipular los marcadores, y es táctil porque para seleccionar los objetos utilizan la pantalla táctil del iPhone.

El juego también incorpora un cambio desde una perspectiva externa a un agente embebido. Por ejemplo, cuando el objeto a buscar es comida (por ejemplo maíz) y el jugador lo encuentra, el juego transporta al jugador al lugar típico donde se recolecta la comida (un campo de maíz) utilizando un mini-juego sin RA. Este cambio de perspectiva permite al jugador ser parte del juego y crearle una experiencia más divertida e inmersiva (Dickey, 2005). Finalmente, al jugador sólo se le presenta la información requerida en cada tarea para que no se distraiga (Vitzthum, 2006).

4.4 Desarrollo

Esta sección describe las herramientas utilizadas y el proceso a seguir para desarrollar una aplicación para iOS. Además, se explica el funcionamiento del bucle principal de juego desarrollado, describiendo cada una de sus partes, junto con las bibliotecas más importantes que se han utilizado.

Para el desarrollo del juego se utilizaron las siguientes herramientas:

- Xcode 3.
- iOS SDK 3.2.
- ARToolKitPlus 2.1.1.
- SIO2 v1.4.
- Blender.

4.4.1 Objective-C

Objective-C es un lenguaje orientado a objetos con un sistema de clases dinámicas que impulsa los *frameworks* de Cocoa y Cocoa Touch, los cuales proporcionan las funcionalidades del dispositivo mediante APIs de alto nivel. Objective-C

está construido como un superconjunto del lenguaje C estándar, lo que significa que es posible compilar cualquier programa escrito en C con un compilador de Objective-C. Además, también es posible incluir código en C dentro de una clase de Objective-C. Objective-C++ es equivalente a Objective-C, pero en este caso permite utilizar C++.

La sintaxis de objetos de Objective-C deriva de Smalltalk. Toda la sintaxis para las operaciones no orientadas a objetos es idéntica a la de C, mientras que la sintaxis para las operaciones orientadas a objetos es similar a la mensajería de Smalltalk. El modelo de programación orientada a objetos de Objective-C se basa en enviar mensajes a instancias de objetos. El mensaje se resuelve en tiempo de ejecución. Como consecuencia, el objeto al cual se dirige el mensaje no está obligado a responder. En caso de no hacerlo, ignora el mensaje y retorna un puntero nulo. En el Código 4.1 se puede observar una comparación entre el envío de mensajes entre C++ y Objective-C¹.

```
1 // Código C++ para el envío del mensaje «method» al objeto
2 // apuntado por el puntero «obj»
3 obj->method(param);

5 // Código Objective-C
6 [obj method:param];
```

Código 4.1: Envío de mensajes en C++ y Objective-C

Objective-C requiere que la interfaz e implementación de una clase estén en bloques de código separados. La interfaz de la clase se define en el archivo cabecera *.h*. En el Código 4.2 se puede observar una comparación entre la declaración de la interfaz de una clase en C++ y Objective-C. Los tipos de retorno pueden ser cualquier tipo estándar de C, un puntero a un objeto de Objective-C, o un puntero a un tipo específico de Objective-C. Los argumentos de los métodos comienzan con dos puntos seguidos por el tipo de argumento esperado entre paréntesis, seguido por el nombre del argumento. Es posible agregar un texto descriptivo antes de cada argumento. El signo «+» denota métodos de clase y el signo «-» denota métodos de instancia. Los métodos de clase no tienen acceso a las variables de instancia.

¹<http://es.wikipedia.org/wiki/Objective-C>

```
1 // Interfaz en código C++
2 class nombreClase : superClase
3 {
4     public:
5         // Variables de instancia
6
7         // Métodos estáticos de la clase
8         static retorno_tipo métodoClase(param_tipo param_nombre)
9             ;
10
11        // Métodos de la instancia
12        retorno_tipo métodoInstancia(param_tipo param_nombre);
13 };
14
15 // Interfaz en código Objective-C
16 @interface nombreClase : superClase
17 {
18     // Variables de instancia
19 }
20 // Métodos estáticos de la clase
21 +(retorno_tipo)métodoClase:(param_tipo)param_nombre;
22 // Métodos de la instancia
23 -(retorno_tipo)métodoInstancia:(param_tipo)param_nombre;
24 @end
```

Código 4.2: Declaración de la interfaz de una clase en C++ y Objective-C

Los archivos que contienen la implementación de la clase poseen la extensión *.m* (*.mm* para Objective-C++). En el Código 4.3 se puede observar una comparación entre la implementación de los métodos de una clase en C++ y Objective-C.

La instanciación de un objeto en Objective-C se lleva a cabo primero reservando la memoria para el nuevo objeto y luego inicializándolo. Esos pasos típicamente se logran con una simple línea de código (Código 4.4). La llamada a `alloc` reserva la memoria suficiente para mantener todas las variables de instancia para un objeto, y la llamada a `init` establece las variables de instancia con los valores especificados en dicho método al momento de su creación.

```
1 // Implementación en código C++
2 retorno_tipo nombreClase::método(param_tipo param_nombre)
3 {
4     // implementación
5 }
6
7 // Implementación en código Objective-C
8 @implementation nombreClase
9 -(retorno_tipo)método:(param_tipo)param_nombre;
10 {
11     // implementación
12 }
13 @end
```

Código 4.3: Implementación de la clases en C++ y Objective-C

```
1 // Instanciación de un objeto
2 MyObject * o = [[MyObject alloc] init];
3
4 // Método «init» de una clase de Objective-C
5 -(id) init
6 {
7     self = [super init];
8     if (self)
9     {
10         // asignar valores
11     }
12     return self;
13 }
```

Código 4.4: Instanciación de un objeto en Objective-C

4.4.2 iOS

El sistema operativo que utiliza el iPhone es iOS. Este sistema operativo se encarga de gestionar el hardware y proporciona los servicios necesarios a las aplicaciones.

Arquitectura de iOS

La arquitectura de iOS se parece a la arquitectura básica de Mac OS X. En el nivel más alto, el sistema operativo actúa como intermediario entre el hardware y las aplicaciones. Las aplicaciones se comunican con el hardware a través de un conjunto de interfaces del sistema que protegen la aplicación de los cambios del hardware. Esta abstracción hace posible que las aplicaciones funcionen en dispositivos con diferentes características.

La implementación de iOS se puede ver como un conjunto de capas, las cuales se pueden observar en la Figura 4.6. En las capas más bajas del sistema están los servicios fundamentales y las tecnologías de las que todas las aplicaciones dependen. Las capas de alto nivel contienen servicios y tecnologías más sofisticados.

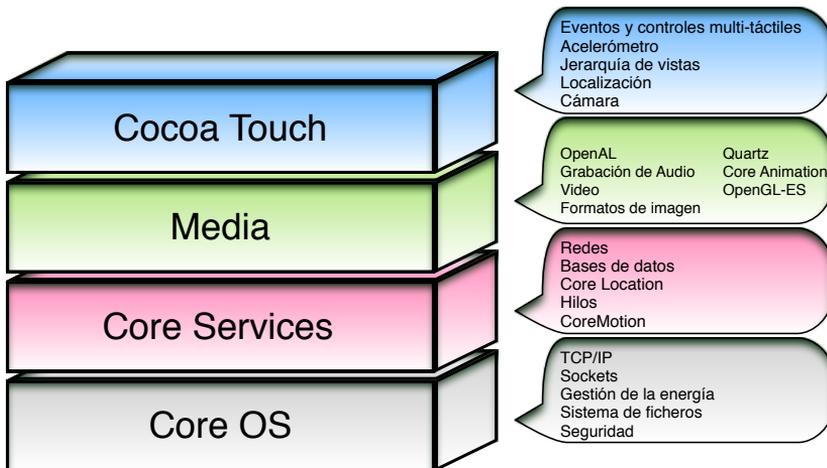


Figura 4.6: Arquitectura de iOS.

SDK de iOS

El SDK de iOS contiene las herramientas necesarias para desarrollar, instalar, ejecutar y testear las aplicaciones creadas. Estas aplicaciones se compilan usando los *frameworks* de iOS y el lenguaje Objective-C y se ejecutan directamente en iOS. Un *framework* es un directorio que contiene las bibliotecas dinámicas y los recursos necesarios para que se pueda utilizar la biblioteca. Los *framework* se enlazan como cualquier otra biblioteca. Algunos de los componentes más importantes que incluye el SDK son:

- **Xcode:** Xcode es un IDE de Apple para SO Mac OS X que integra edición de código, compilación, depuración y edición gráfica de las aplicaciones con Interface Builder. Xcode se encarga de gestionar los dispositivos para las pruebas, empaquetando las aplicaciones del iPhone y del iPad de forma automática con los certificados apropiados, e instalando la aplicación en el propio teléfono. El depurador se conecta de forma remota al dispositivo en tiempo real, controlando la aplicación.
- **Simulador de iOS:** Permite testear las aplicaciones desarrolladas antes de ejecutarlas sobre el dispositivo.
- **Biblioteca de Desarrollo de iOS:** Documentación sobre las funcionalidades que proporciona el SDK.

La cámara en iOS 3

El SDK para la versión 3 de iOS no proporciona la funcionalidad para acceder a la cámara. De modo que para poder usar la cámara hay que realizar una serie de pasos que permitan acceder a las APIs privadas de la cámara.

1. Lo primero que hay que hacer es descargar el fichero *class-dump-z*². *Class-dump-z* es una herramienta que se encarga de extraer las interfaces de las clases de Objective-C.
2. Lo siguiente que hay que hacer es extraer las cabeceras de los *frameworks* privados que permiten el acceso a la cámara. En el Código 4.5 se muestra el comando a ejecutar para extraer las cabeceras privadas del *framework PhotoLibrary*.
3. Después hay que importar las cabeceras que se han extraído al proyecto creado en Xcode.

²http://code.google.com/p/networkpx/wiki/class_dump_z

```
1 class-dump-z -H /System/Library/PrivateFrameworks/  
    PhotoLibrary.framework/PhotoLibrary -o "destino"
```

Código 4.5: Extracción de las cabeceras privadas del *framework PhotoLibrary*.

4. A continuación, se debe editar el proyecto de Xcode y añadir `-force_flat_namespace` y `-undefined suppress` en la propiedad *Other Linker Flags*. Paso que evita un error en el enlace de bibliotecas.
5. Por último, hay que eliminar ciertos `#import` superfluos de las cabeceras que hemos creado e importado al proyecto de Xcode. Normalmente suelen ser `#import "NSObject.h"`, pero podría haber otros.

A partir de ahora ya se tiene acceso total a la cámara del iPhone. Lo único que queda hacer es crear una instancia del controlador de la cámara y establecer las opciones que se deseen. En el Código 4.6 se muestran las líneas de código necesarias para crear la instancia. `PLCameraController` hace referencia a la clase del *framework PhotoLibrary* que se ha extraído anteriormente y que controla la cámara. La primera línea del método en la implementación de la clase obtiene un puntero a `PLCameraController`. La partícula `retain` incrementa la vida del objeto, con lo que se asegura que no se destruirá al acabar el método. A continuación, se establecen las diferentes opciones que se quieran para la cámara. Seguidamente, se añade la vista de la cámara a la ventana principal de la aplicación. Hay que tener en cuenta que a diferencia de la cámara en Symbian C++, el dibujado de la imágenes de la cámara se realiza automáticamente sobre la vista de la cámara, con lo que lo único que hay que hacer es superponer la vista de OpenGL-ES encima de la de la cámara para poder visualizar los objetos virtuales. La última línea de código hace que la cámara se encienda y empiece a capturar imágenes.

Por último, se deben obtener y guardar las imágenes que captura la cámara. Para ello, bastará con crear un temporizador que llame periódicamente a la función encargada de obtener las imágenes. La clase `PLCameraController` no permite obtener los datos de las imágenes directamente con lo que para obtener dichos datos se deberá realizar una captura de pantalla de la vista de la cámara. En el Código 4.7 se muestra un ejemplo para la obtención de imágenes capturadas por la cámara.

```
1 @interface nombreClase : superClass
2 {
3     PLCameraController *cameraController;
4     ...
5 }
6 @end
7
8 @implementation nombreClase
9 - (void)método
10 {
11     cameraController = [(id)objc_getClass("PLCameraController"
12         ) performSelector:@selector(sharedInstance)];
13     [cameraController retain];
14     establecer opciones de la cámara;
15
16     UIView *previewView = [self.cameraController
17         performSelector:@selector(previewView)];
18     [window addSubview:previewView];
19
20     [cameraController performSelector:@selector(startPreview)
21         ];
22     ...
23 }
24 ...
25 @end
```

Código 4.6: Código para crear una instancia de la cámara en iOS 3.

```

2 // Método que se llama varias veces por segundo
3 - (void) obtenerImágenes
4 {
5     ...
6     // Inicializar el contexto gráfico con el
7     // tamaño de la vista de la cámara
8     UIGraphicsBeginImageContext(cameraView.bounds.size);
9     [cameraView.layer renderInContext:
10      UIGraphicsGetCurrentContext()];
11     // Guardar la captura de pantalla de
12     // la vista de la cámara
13     UIImage *cameraViewImage =
14         UIGraphicsGetImageFromCurrentImageContext();
15
16     UIGraphicsEndImageContext();
17     ...
18 }

```

Código 4.7: Código para obtener las imágenes de la cámara.

4.4.3 ARToolkitPlus

ARToolkitPlus es una versión extendida de ARToolkit (ver Sección 3.2.5). Añade nuevas características, pero rompe la compatibilidad debido al uso de una nueva API basada en objetos de C++. ARToolkitPlus está diseñada pensando en los dispositivos móviles. ARToolkitPlus trabaja de forma similar a como lo hace ARToolkit. En la Figura 4.7 se puede observar el flujo de trabajo básico: un dispositivo móvil equipado con cámara lee las imágenes que capta la cámara. A continuación, el sistema de *tracking* analiza la imagen de la cámara. Tras aplicar varias operaciones de visión por computador, se transforma la imagen original en una imagen binaria. Entonces, la imagen resultante se compara con las plantillas cargadas y se identifica el marcador. Una vez identificado, se calcula la posición y orientación del marcador. Seguidamente, el objeto virtual se dibuja encima del marcador y de la imagen de la cámara. Finalmente, la imagen final se muestra en la pantalla del dispositivo móvil (Wagner & Schmalstieg, 2007).

ARToolkitPlus se puede ver como un sistema de flujo de datos donde la imagen entra por un lado y las matrices de transformación salen por el otro.

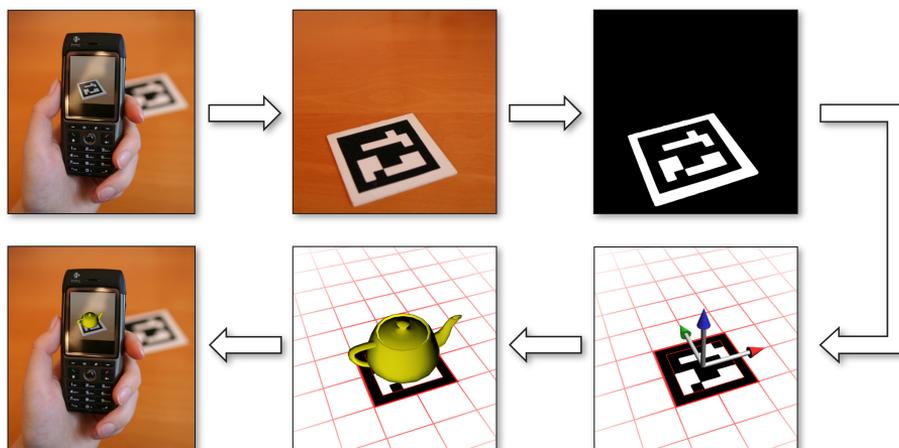


Figura 4.7: ARToolKitPlus *pipeline*.

La Figura 4.8 muestra gráficamente este flujo de datos de forma simplificada. Como se puede observar, ARToolKitPlus soporta imágenes con hasta 6 formatos de píxeles diferentes. Seguidamente, la imagen se umbraliza. ARToolKitPlus, a diferencia de ARToolKit, ofrece diferentes tipos de umbralización. En el paso siguiente es donde se identifican los marcadores. ARToolKitPlus ofrece hasta tres tipos de detección de marcadores: la comparación con plantillas (ARToolKit), la detección simple de marcadores o la detección BCH de marcadores. Estos dos últimos sólo se utilizan para marcadores binarios. A continuación, se compensa la distorsión de todos los marcadores detectados. ARToolKitPlus ofrece tres opciones: no compensar la distorsión, compensarla mediante un algoritmo o compensarla buscando en tablas. En el paso final, se calculan la posición y la orientación de los marcadores identificados mediante uno de los tres algoritmos (coma fija, coma flotante o *Robust Planar Pose*) (Wagner & Schmalstieg, 2007).

A continuación se describen los pasos necesarios para compilar ARToolKit-Plus para la plataforma ARM de iOS:

- En el fichero *config.h*, se puede utilizar la configuración por defecto para Mac OS X. La cámara del iPhone utiliza un formato de imágenes RGBA con 8 bits para cada canal, por lo tanto hay que usar el formato de píxel RGBA. En el Código 4.8 se pueden observar las líneas modificadas.

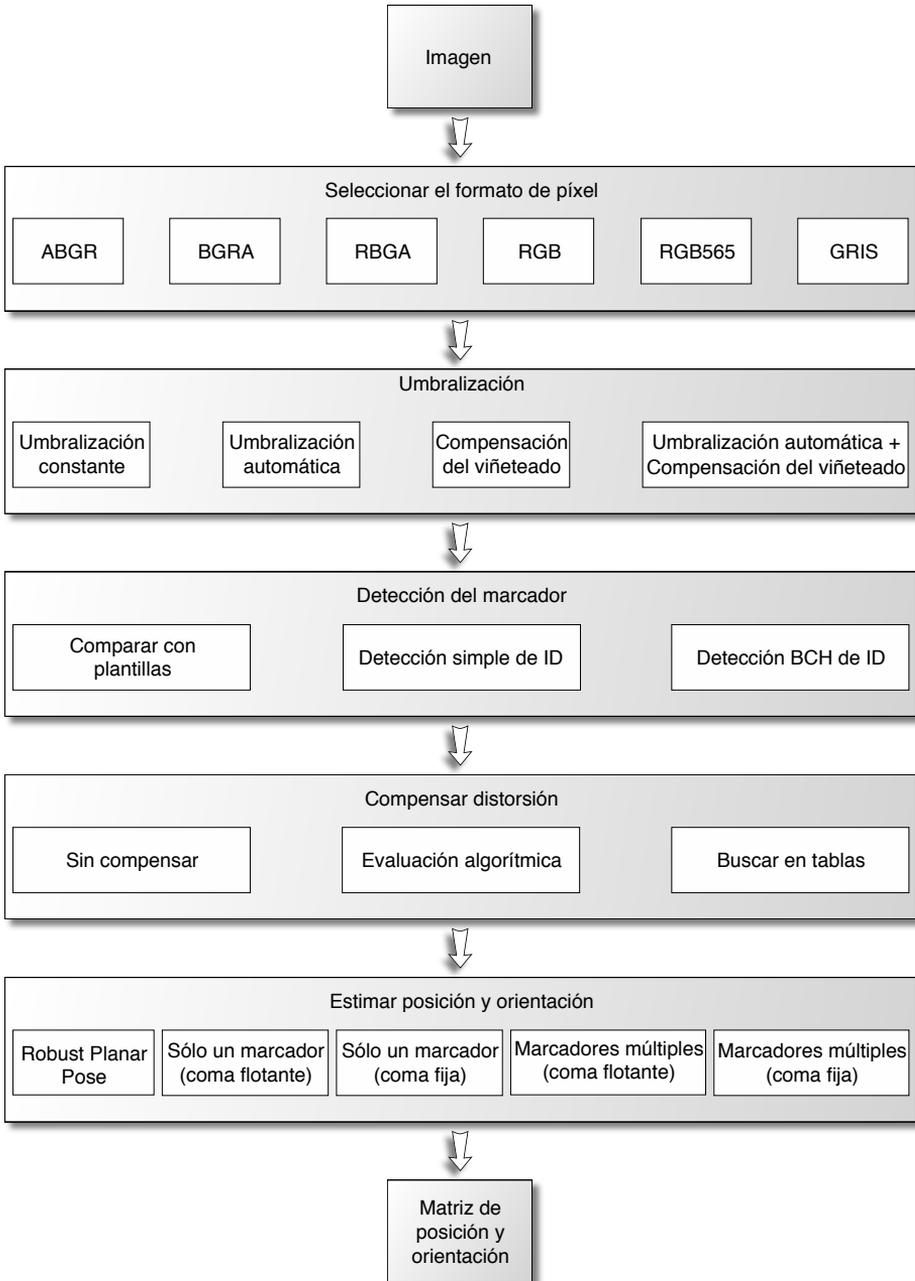


Figura 4.8: Flujo de datos en ARToolKitPlus. En cada bloque se ejecuta un algoritmo.

```
1 // Configuración para iOS
2 #undef AR_BIG_ENDIAN
3 #define AR_LITTLE_ENDIAN
4 #define AR_PIX_FORMAT_RGBA
```

Código 4.8: Modificaciones del archivo de configuración de ARToolkitPlus para utilizarlo en iOS.

- Crear un proyecto en Xcode usando la plantilla de «biblioteca estática Cocoa Touch».
- Añadir al proyecto los directorios *include* y *src* a excepción de los ficheros con extensión *.cxx*.
- Para poder utilizar el algoritmo *Robust Planar*, tiene que estar instalado MATLAB. A continuación, lo que hay que hacer es añadir al proyecto la carpeta *include* que está situada en el directorio *extern* de MATLAB.
- Finalmente, compilar la biblioteca para el dispositivo que se va a utilizar.

Para poder usar la biblioteca de ARToolkitPlus en un proyecto, hay que añadirla a dicho proyecto e incluir el *path* de los ficheros de cabecera de ARToolkitPlus, situados en la carpeta *include*.

En el Código 4.9 se describen los pasos a seguir para inicializar ARToolkitPlus. Como se puede observar, lo primero que hay que hacer es crear el *tracker*. Para crear el *tracker*, se requiere que se le pase como argumentos el ancho y alto de los marcadores, la resolución máxima a la que el marcador será muestreado a partir de la imagen de la cámara, el número máximo de marcadores que se cargarán en el *tracker*, el número máximo de marcadores que se analizarán por imagen y el tamaño de la imagen de la cámara. A continuación, se debe inicializar el *tracker* con el fichero de calibración de la cámara. Además de los ficheros de calibración de ARToolkit, ARToolkitPlus acepta ficheros de calibración de MATLAB. Una vez inicializado, se establecen las distintas opciones del *tracker* para analizar y buscar los marcadores. Finalmente, se cargan los marcadores que se utilizarán en la aplicación. Para encontrar los marcadores, ARToolkitPlus utiliza la función `arDetectMarker`. Esta función trabaja de forma similar a la de ARToolkit (ver Sección 3.2.5).

```
1 // Inicialización de ARToolKitPlus
2 bool función InicializaARTKPlus
3 {
4     // Crear tracker
5     tracker <- NuevoTracker(anchoImagen, altoImagen, maxRes,
6         maxMarcadores, maxMarcadoresImagen, CámaraTam);
7     if !tracker creado
8         return false;
9
10    // Inicializar tracker
11    tracker->Init(ficheroCalib);
12    if !tracker inicializado
13        return false;
14
15    // Establecer opciones del tracker
16    tracker->Configurar1(opcion1)
17    tracker->Configurar2(opcion2)
18    ...
19
20    // Cargar marcadores
21    for (marcadores a cargar)
22    {
23        tracker->AñadirMarcador(ficheroMarcador);
24        if !marcador cargado
25            return false;
26    }
```

Código 4.9: Pseudocódigo para la inicialización del *tracker* de ARToolKitPlus.

4.4.4 Blender

Blender es un conjunto de herramientas multiplataforma y de código abierto libre, para la creación de contenido 3D.

4.4.5 SIO2

SIO2 es un motor de juegos multiplataforma escrito en C. Usa OpenGL-ES 1.1 y puede importar escenas creadas en Blender. SIO2 ofrece, entre otras características, física en tiempo real, tanto de cuerpos dinámicos como de rígidos; detección de colisiones; sistemas de partículas; soporte de multi-texturas, de filtros anisotrópico y de textura, transparencia y semi-transparencia; soporte de acelerómetro y pantalla táctil; luces y sombreado; y soporte de animaciones. La versión de SIO2 utilizada para el desarrollo del juego es la 1.4. A continuación se van a detallar los pasos básicos para la puesta en funcionamiento del motor de juego SIO2 v1.4.

Inicialización

En el Código 4.10 se muestran las funciones necesarias para inicializar SIO2. La función `sio2Init` permite inicializar la variable global de SIO2 que se encarga de gestionar todas las acciones del motor de juego. La función `sio2InitGL` inicializa OpenGL-ES. La función `sio2WindowInit` crea una ventana y `sio2WindowUpdateViewport` actualiza el *viewport* con el tamaño de la ventana.

```
1 // Inicialización de SIO2
2 sio2Init(&tmp_argc, tmp_argv);
3 sio2InitGL();
4 sio2->_SIO2window = sio2WindowInit();
5 sio2WindowUpdateViewport(sio2->_SIO2window, 0, 0,
   windowWidth, windowHeight);
```

Código 4.10: Inicialización de SIO2 v1.4.

Recursos

Los recursos en SIO2 guardan los datos de escenas creadas en Blender. En el Código 4.11 se muestran los pasos a seguir para la inicialización y la carga de una escena creada en Blender. Primero, se inicializa el objeto que guardará los recursos. A continuación, se crea el diccionario que utilizará el *parser* para que

al leer los datos, éstos se envíen a las funciones de carga apropiadas. Luego hay que abrir el fichero que contiene la escena creada en Blender y extraer todos los datos de la escena. Una vez se han extraído todos los datos, se cierra el fichero. Lo siguiente que hay que hacer es enlazar los elementos que se han leído, generar los *Vertex Buffer Objects* (VBOs) y, por último, reiniciar los estados de SIO2.

```
1 // Inicialización de un recurso
2 sio2->_SIO2resource = sio2ResourceInit();

4 //Crear diccionario
5 sio2ResourceCreateDictionary(sio2->_SIO2resource);

7 // Abrir fichero que contiene la escena de Blender
8 sio2ResourceOpen(sio2->_SIO2resource, "my_sio2_file.sio2",
    1);

10 // Extraer la información del fichero
11 unsigned int i = 0;
12 while(i != sio2->_SIO2resource->gi.number_entry)
13 {
14     sio2ResourceExtract(sio2->_SIO2resource, NULL);
15     ++i;
16 }
17 sio2ResourceClose(sio2->_SIO2resource);

19 // Enlazar los datos leídos
20 sio2ResourceBindAllImages(sio2->_SIO2resource);
21 sio2ResourceBindAllInstances(sio2->_SIO2resource);
22 sio2ResourceBindAllMaterials(sio2->_SIO2resource);
23 sio2ResourceBindAllMatrix(sio2->_SIO2resource);

25 // Generar VBOs
26 sio2ResourceGenId(sio2->_SIO2resource);

28 // Reiniciar los estados de SIO2
29 sio2ResourceResetState();
```

Código 4.11: Inicialización de un recurso.

Renderizar

La función `sio2ResourceRender` permite dibujar una escena previamente cargada como recurso. En el Código 4.12 se muestra el uso de dicha función. El tercer argumento de la función hace referencia a la cámara de OpenGL-ES. En este caso es `NULL` debido a que la matriz de transformación la devuelve `ARToolKitPlus`. El último argumento (`flags`) puede ser cualquiera de las opciones que se pueden observar en el comentario del Código 4.12 o una combinación de ellas. Por último, la función `sio2MaterialReset` reinicia los estados de OpenGL-ES.

```
1 void función Dibujar
2 {
3     ...
4
5     //Cargar matrices de transformación
6     ...
7
8     /**
9     * Flags:
10    * SIO2_RENDER_SOLID_OBJECT: Para dibujar todos los
11    * objetos sólidos.
12    *
13    * SIO2_RENDER_ALPHA_OBJECT: Para dibujar los objetos con
14    * transparencia.
15    *
16    * SIO2_RENDER_CLIPPED_OBJECT: Para dibujar los objetos que
17    * no se encuentran dentro del frustrum de la cámara.
18    *
19    * SIO2_RENDER_LAMP: Para dibujar las luces.
20    *
21    * SIO2_RENDER_EMITTER: Para dibujar las partículas.
22    */
23    sio2ResourceRender(sio2->_SIO2resource, sio2->_SIO2window,
24                       NULL, flags);
25    sio2MaterialReset();
26
27    ...
28 }
```

Código 4.12: Dibujar una escena con SIO2.

Acelerómetro y capacidades táctiles

SIO2 proporciona *callbacks* para usar las capacidades táctiles y del acelerómetro. En el Código 4.13 se pueden observar los pasos necesarios para capturar los eventos de la pantalla táctil y del acelerómetro con SIO2. La función `funciónTocar` deberá contener el código que procesará la acción de tocar la pantalla con el dedo (en el Código 4.14 se muestra un ejemplo). De forma similar, las funciones `funciónArrastrar` y `funciónAcelerómetro` contendrán el código necesario para procesar las acciones de arrastrar el dedo y del acelerómetro, respectivamente.

```

1  sio2->_SIO2window->_SIO2windowtap = funciónTocar;
2  sio2->_SIO2window->_SIO2windowtouchmove = funciónArrastrar;
3  sio2->_SIO2window->_SIO2windowaccelerometer = funcionAceleró
    metro;

```

Código 4.13: Capturar eventos táctiles y del acelerómetro con SIO2.

```

2  // Función que detecta la acción
3  // de tocar la pantalla con el dedo
4  void funciónTocar(void *_ptr, unsigned char _state)
5  {
6  // sio2->_SIO2window->n_tap: Detecta el número de dedos
7  // que tocan la pantalla
8  if( _state == SIO2_WINDOW_TAP_DOWN && sio2->_SIO2window->
    n_tap == 1 )
9  {
10     // Implementar
11     ...
12 }
13 }

```

Código 4.14: Ejemplo de evento táctil.

Seleccionar objetos

En el Código 4.15 se muestran los pasos para seleccionar los objetos virtuales con SIO2. Lo primero que se ha de comprobar es que se ha producido un evento táctil, es decir, que el usuario ha tocado la pantalla con el dedo. A continuación, se cargan las matrices de transformación y se limpia el *búffer* de color

de OpenGL-ES. Luego se reinicia el estado de los materiales de SIO2. De esta forma no se dibujaran los materiales ni las texturas asignadas a los objetos 3D. A continuación se dibuja la escena en modo selección. SIO2 ofrece una función especial para ello. Esta función dibuja cada objeto 3D con un color específico y luego comprueba el color del píxel que corresponde a las coordenadas donde se ha tocado la pantalla. Si el color del píxel sobre el que se ha tocado la pantalla coincide con el color de un objeto 3D, la función devuelve el puntero a dicho objeto, sino, devuelve NULL.

```
1 SIO2Object* funciónSeleccionarObjeto
2 {
3     if Evento táctil
4     {
5         // Limpiar el buffer de color
6         ...
7         // Cargar matrices de transformación
8         ...
9         // Reiniciar el estado de los materiales de SIO2
10        ...
11
12        ObjetoSeleccionado ← Dibujar escena en modo selección;
13
14        if ObjetoSeleccionado
15            return ObjetoSeleccionado;
16        // No se ha seleccionado ningún objeto
17        return NULL;
18    }
19
20    // No se ha producido ningún evento táctil
21    return NULL;
22 }
```

Código 4.15: Pseudocódigo para seleccionar un objeto con SIO2.

Finalizar la aplicación

SIO2 proporciona una *callback* para cuando finaliza la aplicación en donde podemos liberar la memoria que está siendo utilizada. En el Código 4.16 se muestran los pasos necesarios para finalizar una aplicación con SIO2. A la función `sio2WindowShutdown` se le pasa como segundo argumento la función que liberará la memoria cuando se cierre la aplicación. Para liberar los recursos usados

por SIO2 hay que llamar a la función `sio2ResourceUnloadAll`. Para destruir la ventana hay que llamar a la función `sio2WindowFree`. Y, finalmente, para salir de la aplicación y liberar la memoria de la variable global de SIO2 hay que ejecutar la función `sio2Shutdown`.

```

1  sio2WindowShutdown(sio2->_SIO2window, funciónLiberarMemoria)
    ;
3  ...
5  void funciónLiberarMemoria
6  {
7      ...
8      sio2ResourceUnloadAll(sio2->_SIO2resource);
9      sio2->_SIO2window = sio2WindowFree(sio2->_SIO2window);
10     sio2 = sio2Shutdown();
11 }

```

Código 4.16: Finalizar una aplicación con SIO2.

Otras funciones de SIO2

A parte de las funciones descritas en los apartados anteriores, SIO2 también proporciona otras funciones útiles para manipular objetos (traslación, rotación y escalado), crear cámaras de OpenGL-ES, manipular los materiales de los objetos 3D o manejar los errores del propio motor de juego.

SIO2 y Blender

SIO2 proporciona un exportador de escenas de Blender llamado *SIO2 Exporter*. Se trata de un script escrito en Python que genera un archivo *.sio2* que contiene los objetos y propiedades de la escena creada con Blender. Este archivo es similar a un fichero *.zip*. Si se descomprime, se pueden ver todos los elementos de la escena que se han guardado. Una vez se ha creado el fichero, se tiene que añadir al proyecto de Xcode para poder ser usado.

Antes de exportar una escena hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones en Blender:

- Convertir los polígonos a triángulos. En caso de que no se conviertan, no se dibujarán por pantalla.

- **Objetos duplicados:** Cualquier objeto con sufijo *.001* o similar será tratado como un duplicado del objeto con el mismo nombre (sin sufijo). Si se quiere que sea un objeto diferente, habrá que cambiarle el nombre. Si lo que se desea es que sea tratado como un duplicado, habrá que asegurarse de enlazar las instancias cuando se cargue la escena (ver Sección 4.4.5).
- Todos los *Vertex Group* de una malla deberán tener vértices que formen triángulos.
- **Texturas:** La imagen que se exporta al fichero *.sio2* es la imagen que está asignada al espacio de textura del objeto en el panel de texturas de Blender. Sin embargo, la posición y la escala de la imagen tendrán que ajustarse por separado. Para ello, seleccionar un objeto y entrar en modo edición. Seleccionar las caras que se deseen, pulsar la tecla *u* y seleccionar la opción *unwrap, project from view* o cualquier otra opción que se desee del menú que aparece en pantalla. En la ventana del *editor UV*, ajustar la textura y aplicar el resultado. Hay que tener en cuenta que las dimensiones de la texturas deben ser múltiplo de 2 y menores de 1024 x 1024 para que funcionen en el iPhone 3GS.
- **Transparencia en texturas:** En Blender, en la pestaña *tab to* situada en el panel de materiales, seleccionar el botón *alpha*. Cambiar el modo de mezcla (*blend mode*) de *mix* a *value*. En la pestaña de *shaders*, también debajo del panel de materiales, poner un valor diferente a 0 en la opción *Tralu*.

4.4.6 Funcionamiento del juego

En este apartado se va a explicar el funcionamiento general del bucle principal del juego. En la Figura 4.9, se muestra un esquema de dicho bucle.

Las tareas a realizar en cada uno de los procesos son las siguientes:

- **Cargar escena:** En esta fase se cargan todos los datos necesarios para cada escena de un continente. Esto incluye el sonido, los modelos 3D, las texturas y otras variables involucradas. En el caso de que no se consigan cargar correctamente todos los datos, la escena termina liberando toda la memoria ocupada por ésta. Si los datos se cargan correctamente, se pasa a la fase de actualización de variables. Además, de forma paralela, se activa la captura de eventos táctiles y del acelerómetro.

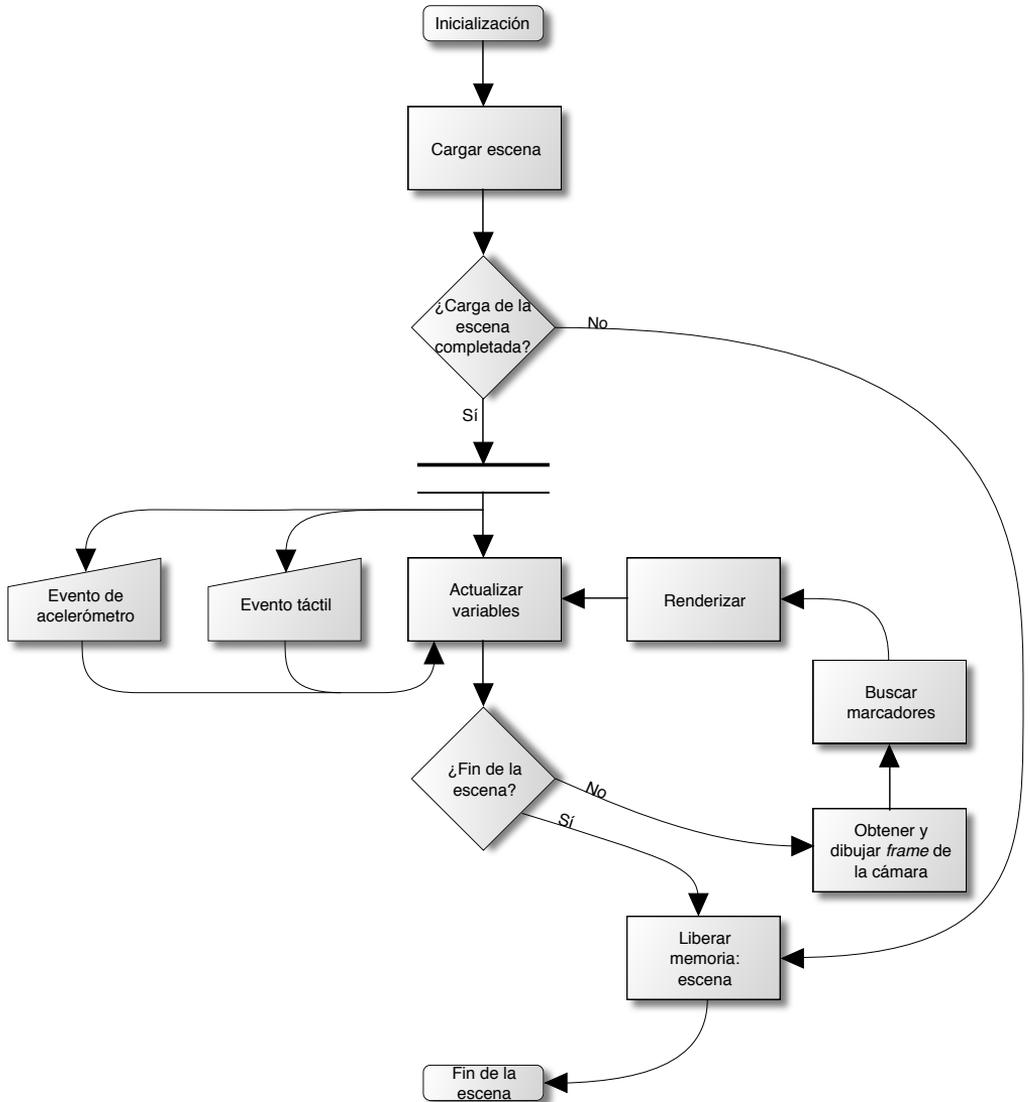


Figura 4.9: Bucle principal del juego.

- **Actualizar variables:** En esta fase se actualizan todas las variables y estados relacionados con el juego. Una vez actualizadas las variables, se decide si la escena actual termina o debe seguir ejecutándose dependiendo de si se cumplen ciertas condiciones (tiempo, puntuación, etc.).
- **Obtener y dibujar *frame* de la cámara:** A esta fase se accede si al actualizar las variables no se cumple ninguna condición para finalizar la escena. Aquí se recogen y manipulan los datos de la imagen obtenidos por la cámara. Finalmente, se dibuja la imagen por pantalla.
- **Buscar marcadores:** Se accede inmediatamente después de que la imagen de la cámara se haya dibujado por pantalla. En esta fase, el juego se encarga de buscar los marcadores a partir de los datos de la cámara obtenidos en la fase anterior. En caso de que se encuentren marcadores, se realiza una comparación entre los que se han encontrado y los marcadores que inicialmente se cargaron en el juego para averiguar qué marcadores son.
- **Renderizar:** En esta fase se realiza el renderizado de los objetos cuyos marcadores está visualizando la cámara.
- **Liberar memoria:** En esta fase se eliminan todos los datos de la escena que no se usarán más.
- **Evento táctil:** Es un proceso asíncrono que puede ser llamado en cualquier instante una vez se ha cargado la escena. Cada vez que el usuario toca la pantalla, registra los datos y los envía para que luego en la fase de actualización se realicen las operaciones correspondientes.
- **Evento de acelerómetro:** Es un proceso asíncrono que puede ser llamado en cualquier instante una vez se ha cargado la escena. Cada vez que el usuario inclina el dispositivo, registra los datos y los envía para que luego en la fase de actualización se realicen las operaciones correspondientes.

4.4.7 Requisitos técnicos

Las características necesarias del iPhone para que el juego funcione correctamente son:

- iPhone 3GS.
- SO iOS 3. La versión del SO del iPhone utilizada es la 3.1.3.

4.5 Descripción del juego

La aplicación desarrollada es un juego para el *smartphone* iPhone 3GS. La temática del juego es multiculturalidad, tolerancia y solidaridad. El conocimiento es un aspecto crucial que está relacionado con la multiculturalidad, la solidaridad y la tolerancia. El juego se centra en transmitir conocimiento sobre los tres continentes más pobres del mundo (África, Asia y América Central y del Sur). Para cubrir el aspecto de la solidaridad, la misión del juego consiste en recolectar comida de estos continentes para distribuirla entre la población. Para cubrir el aspecto de la multiculturalidad, los jugadores aprenden acerca de la comida, animales, monumentos y fenómenos meteorológicos que son típicos de estos continentes. Para cubrir el aspecto de la tolerancia, el juego intenta, de forma indirecta, promover el respeto hacia otras personas de diferentes culturas (como los africanos), ayudándolos con diferentes tareas.

Utilizando RA, los jugadores exploran una habitación en busca de los objetos solicitados por el personaje guía. Para ello, deben enfocar con la cámara del iPhone sobre los diferentes marcadores distribuidos por la habitación. Se usaron 10 marcadores de RA diferentes. Cuando el objeto solicitado es comida, una vez se ha encontrado, el juego transporta al jugador al lugar típico donde se recoge ese tipo de comida utilizando, para ello, un videojuego sin RA. En esta fase del juego, el iPhone proporciona un punto de vista aumentado (cuando el jugador está buscando objetos en la habitación) y también transporta al jugador al lugar donde la comida debe recolectarse. Los videojuegos sin RA, a los que nos referiremos como mini-juegos, usan las capacidades táctiles y el acelerómetro.

Primero, los niños siguen un tutorial para familiarizarse con el juego y las distintas formas de interacción. El tutorial explica cómo buscar los objetos que aparecen sobre los marcadores:

1. Utilizando RA, los jugadores tienen que buscar al personaje guía (conocido como Patty) con un efecto de gafas de visión nocturna, el cual se simula en la pantalla del dispositivo. El personaje guía sólo aparece en uno de los marcadores distribuidos en la habitación. Una vez encontrado, aparece un vídeo en el que éste explica a los niños quién es (ver Figura 4.10a).
2. Cuando han encontrado a Patty, ésta les pide a los niños que realicen varias tareas. Una de estas tareas consiste en abrir una carta que contiene una misión. Para poder ver el mensaje, los niños deben mover cada uno de los fragmentos que forman el sobre tocándolos y arrastrándolos hasta que se pueda ver el trozo de papel que contiene la misión. Para leer dicho

mensaje, los niños tienen que tocarlo. Cuando lo tocan, aparece un mensaje con la misión que tienen que realizar. Para quemar el mensaje y pasar a la siguiente pantalla, los niños tienen que tocarlo otra vez (ver Figura 4.10b).

3. Finalmente, cuando se han completado todas las tareas, el personaje guía les ofrece definiciones de multiculturalidad, solidaridad y tolerancia. Además, también les señala que el juego trata de promover estos valores. Después, Patty presenta la misión principal que se ha confiado a los niños, la cual consiste en «recolectar comida de los tres continentes más pobres para distribuirla entre los habitantes». El tutorial finaliza aquí y se transporta a los niños al primer continente.

Cabe mencionar que, en cada pantalla, Patty explica a los niños cómo realizar las tareas. Mientras juegan, cada diez segundos el propio juego recuerda a los niños la tarea que están realizando. El orden en el que se visitan los continentes es: primero África, luego Asia y finalmente América Central y del Sur. Se creó una carcasa para proteger el iPhone de posibles golpes y caídas (ver Figura 4.10a).

El juego sigue la misma estructura en los tres continentes (ver Figura 4.11):

1. El personaje guía presenta la información sobre el continente que van a visitar. Los jugadores aprenden algunas de las características más importantes del continente como pueden ser animales, comida y monumentos.
2. El personaje guía revela a los jugadores el animal que deberán buscar y les recuerda cómo tienen que hacerlo. En la Figura 4.10c se puede observar que los jugadores han encontrado al caballo. Varios animales están animados y poseen sonidos para proporcionar mayor realismo. Cuando hallan un animal, el personaje guía les ofrece más información acerca de él. Hecho que sucede cada vez que encuentran un animal, comida o monumento. Por ejemplo, cuando los jugadores encuentran el templo de Kukulkán, el personaje guía les revela que fue construido por los mayas. Cuando la explicación se completa, una flecha verde aparece en la esquina inferior derecha de la pantalla del iPhone. Para pasar a la siguiente escena, los jugadores deben pulsar sobre dicha flecha.
3. Una vez se ha encontrado el animal, aparecerá un mapa (Figura 4.10d). El mapa muestra a los jugadores qué es lo que tienen que buscar. Estará disponible hasta que finalicen todas las tareas que tienen que realizar en el continente. Un botón con la imagen del mismo, situado en la esquina

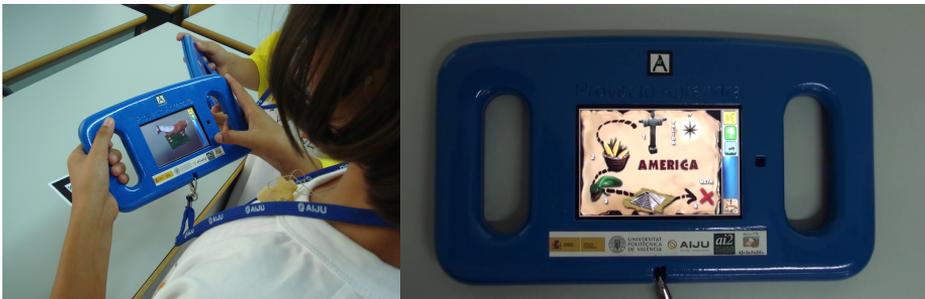


Figura 4.10: Imágenes del juego.

inferior derecha de la pantalla, servirá tanto para abrir como para cerrar de nuevo el mapa.

4. A continuación, Patty explica a los jugadores qué lugar tienen que buscar. Cuando encuentren el lugar, aparecerá un efecto meteorológico. Para eliminarlo, los jugadores tienen que pasar el dedo de izquierda a derecha sobre la pantalla del iPhone.
5. En la siguiente pantalla, los jugadores deberán buscar otro lugar. Cuando lo encuentren, aparece un mini-juego (ver Figura 4.10e).
6. Seguidamente, los jugadores deberán buscar un segundo animal. Cuando lo encuentren, aparecerá otro mini-juego.
7. Los jugadores deberán buscar un último lugar. Cuando lo encuentren, se mostrará un mini-juego (ver Figura 4.10f).
8. Cuando se completa el último mini-juego, el personaje guía felicita a los jugadores por haberle ayudado en la misión. Luego, el juego pasa a otro continente. Si ya se han visitado los tres continentes, el juego finaliza.

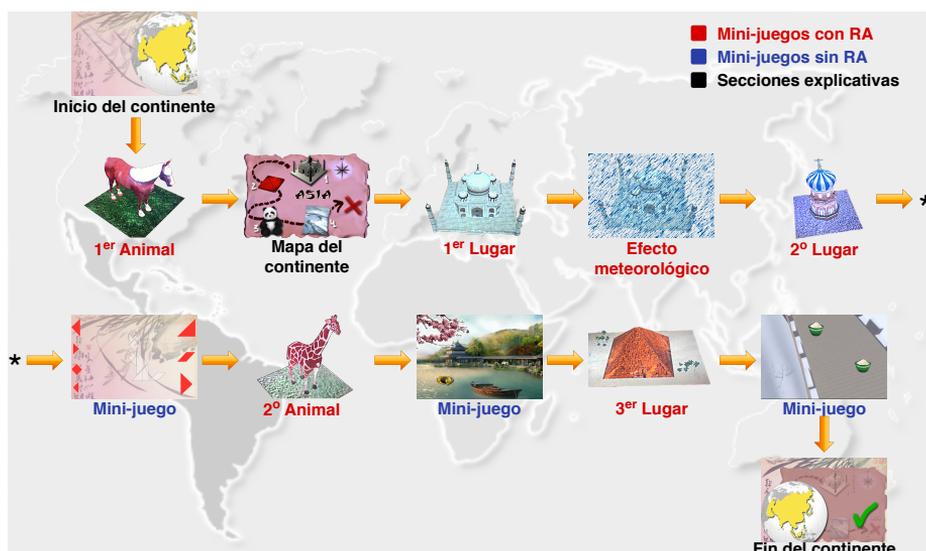


Figura 4.11: Estructura general de los continentes.

En el estudio realizado, dos niños juegan a la vez utilizando distintos dispositivos. Tienen que encontrar el mismo elemento. Cuando uno de los niños encuentra el objeto que estaban buscando, éste tiene que avisar a su compañero. De esta forma, los niños compiten por encontrar primero el objeto requerido y también colaboran ya que tienen que escuchar la información juntos.

A continuación se describe, de forma más detallada, cada uno de los tres continentes:

ÁFRICA

- **Inicio del continente:** Inicio del continente donde el personaje guía explica a los jugadores distintos aspectos acerca de África.
- **1^{er} Animal:** El animal a buscar es un dromedario.
- **1^{er} Lugar + Efecto meteorológico:** El personaje guía solicita a los jugadores que encuentren una pirámide egipcia. Cuando encuentren la pirámide, una tormenta de arena les sorprenderá dificultando su visión. Los jugadores tendrán que eliminar la tormenta para poder pasar a la siguiente fase.
- **2^o Lugar + Mini-juego:** Los jugadores deben encontrar cacahuets. Cuando los encuentren, aparecerá un mini-juego en el que tendrán que recolectarlos, arrastrándolos con el dedo a la máquina de pelar cacahuets. El tiempo en el que un cacahuete estará disponible es de 3 segundos. Pasado este tiempo, el cacahuete desaparecerá. Los cacahuets aparecen de forma aleatoria en la parte superior de la pantalla. Cuando se está arrastrando un cacahuete, el tiempo de vida de éste se detiene, evitando que desaparezca.
- **2^o Animal + Mini-juego:** Los jugadores deben encontrar una jirafa a la que deberán espantar las moscas que se le acerquen. Para ahuyentarlas, deberán tocarlas.
- **3^{er} Lugar + Mini-juego:** Los jugadores deberán buscar un oasis. Cuando lo encuentren, aparecerá un mini-juego que consistirá en recoger dátiles y llevarlo a una cesta. Los dátiles caerán a diferentes velocidades desde la parte superior de la pantalla hasta que desaparezcan por la parte inferior.
- **Fin del continente:** Final del continente donde el personaje guía felicita a los jugadores.

ASIA

- **Inicio del continente:** Inicio del continente donde el personaje guía explica a los jugadores distintos aspectos acerca de Asia.
- **1^{er} Animal:** El animal a buscar es un elefante.
- **1^{er} Lugar + Efecto meteorológico:** El personaje guía solicita a los jugadores que encuentren el Taj Mahal. Cuando lo encuentren, una tormenta del monzón les sorprenderá dificultando su visión. Los jugadores tendrán que eliminar la tormenta para poder pasar a la siguiente fase.
- **2^o Lugar + Mini-juego:** Los jugadores deben encontrar un tangram. Cuando lo encuentren, aparecerá un mini-juego en el que tendrán que formar la figura que les muestra el vídeo de introducción. Para ello, tendrán que arrastrar cada una de las piezas a la posición correcta.
- **2^o Animal + Mini-juego:** Los jugadores deben encontrar un oso panda al que deberán hacerle cosquillas. A continuación, aparecerá un mini-juego donde los jugadores tendrán que coger peces y llevarlos a la barca. Los peces saltan del agua a diferentes alturas y velocidades.
- **3^{er} Lugar + Mini-juego:** Los jugadores deberán buscar la Gran Muralla China. Cuando la encuentren, aparecerá un mini-juego que consistirá en recoger arroz mientras van atravesando la muralla.
- **Fin del continente:** Final del continente donde el personaje guía felicita a los jugadores.

AMÉRICA

- **Inicio del continente:** Inicio del continente donde el personaje guía explica a los jugadores distintos aspectos acerca de América.
- **1^{er} Animal:** El animal a buscar es un caballo.
- **1^{er} Lugar + Efecto meteorológico:** El personaje guía solicita a los jugadores que encuentren el Cristo Redentor. Cuando lo encuentren, una tormenta de nieve les sorprenderá dificultando su visión. Los jugadores tendrán que eliminar la tormenta para poder pasar a la siguiente fase.
- **2^o Lugar + Mini-juego:** Los jugadores deben encontrar maíz. Cuando lo encuentren, aparecerá un mini-juego similar al de los cacahuets de África.

- **2º Animal + Mini-juego:** Los jugadores deben encontrar una serpiente (anaconda) a la que deberán enrollar.
- **3º Lugar + Mini-juego:** Los jugadores deberán buscar el templo de Kukulkán. Cuando lo encuentren, aparecerá un mini-juego. Este mini-juego consiste en un laberinto donde el jugador tiene que recoger patatas, las cuales están distribuidas a lo largo y ancho de éste. Los jugadores, representados por un pelota, tendrán que inclinar el teléfono para mover la pelota a través del laberinto y poder recolectar las patatas.
- **Fin del continente:** Final del continente donde el personaje guía felicita a los jugadores.

4.6 Estudio comparativo entre el juego del iPhone vs. juego tradicional

En esta sección se van a presentar las pruebas realizadas comparando el juego desarrollado para el iPhone con una versión de juegos tradicionales. El objetivo principal de este estudio era determinar si el juego del iPhone ayudaba a los niños en el proceso de aprendizaje y comprobar qué juego (el juego del iPhone o el juego tradicional) influía más sobre los participantes con respecto al aprendizaje adquirido, satisfacción y otros aspectos analizados. La hipótesis a comprobar era que al jugar con el iPhone se obtendrían unos resultados similares a los del juego tradicional y que los niños preferirían el juego del iPhone.

4.6.1 Participantes

Ochenta y cuatro niños de l'«Escola d'Estiu» de la UPV, con edades comprendidas entre 8 y 10 años, participaron en el estudio (el 28 % tenía 8 años; el 50 % tenía 9 y el 22 % tenía 10 años). En la muestra había más niñas (55 %) que niños (45 %). Los padres firmaron un consentimiento para permitir a sus hijos participar en el estudio.

4.6.2 Juego Tradicional

Para comparar el juego del iPhone, se diseñaron diferentes juegos tradicionales con la colaboración de AIJU. Los niños recibían la misma información en ambos juegos. Además, en el juego tradicional siempre había una persona durante el



(a) Elementos usados en el juego tradicional.

(b) Dos niños jugando con el laberinto del juego tradicional.

Figura 4.12: Imágenes del juego tradicional.

juego que se encargaba de explicar todo a los niños, asegurándose que el mensaje siempre les llegaba. Si no entendían algo, podía explicárselo de nuevo. En la Figura 4.12a se puede observar los distintos elementos utilizados en los juegos tradicionales.

Cada mini-juego en el iPhone tenía su equivalente en el método tradicional. Antes y después de encontrar el elemento requerido (animal, comida o monumento), el personaje guía en el iPhone y la persona a cargo de la actividad en el método tradicional daban la misma información. En la Tabla 4.2 se muestra una comparación entre los métodos tradicional y del iPhone con respecto al continente de América Central y del Sur.

Otros ejemplos de mini-juegos tradicionales eran: cosechar el arroz, los niños tenían que buscar cinco granos negros de arroz que estaban mezclados en una taza con arroz blanco; cosechar dátiles, los niños tenían que coger las bolas que estaban pegadas en un árbol colgado sobre la pared; cosechar patatas, los niños tenían que llegar al centro de un laberinto impreso en papel (Figura 4.12b); tangram, los niños tenían que montar una figura con las piezas proporcionadas.

4.6.3 Medidas

En el estudio se usaron dos cuestionarios. El primero (QRA1 o QRT1) puede apreciarse en la Tabla 4.3. Estaba compuesto por 19 preguntas. Las primeras

Mini-Juego	Tradicional	iPhone
Introducción	La persona a cargo de la actividad muestra un mapa impreso con los elementos a encontrar. Esta persona ofrece detalles sobre América Central y del Sur, habla sobre dos tipos de comida típicos del continente, e indica y ofrece información sobre el animal que tienen que buscar.	Un mapa con los elementos a buscar aparece en la pantalla del iPhone. El personaje guía ofrece la misma información que en el juego Tradicional.
Encontrar el caballo	Los niños tienen que encontrar el caballo en un tablero, en el cual aparecen distintos animales.	Los niños tienen que encontrar el caballo con el iPhone haciendo uso de la RA. El personaje guía ofrece la misma información que en el juego tradicional.
Encontrar el Cristo Redentor	Los niños usan el caballo para viajar por el continente. La persona a cargo pide a los niños que busquen el Cristo Redentor en el tablero. Los niños han visto previamente la imagen en el mapa. Después de encontrar el monumento, la persona a cargo ofrece información sobre él.	Los niños tienen que encontrar el monumento haciendo uso de la RA. Los niños han visto previamente la imagen del Cristo Redentor en el mapa. El personaje guía ofrece la misma información que en el juego tradicional.
Cosechar el maíz	Los niños lanzan bolas cubiertas de velcro para que se peguen a una mazorca sujeta a una pared. De la misma forma que en los casos anteriores, la persona a cargo ofrece información sobre el maíz.	Para cosechar el maíz, los niños tienen que arrastrarlo a una cesta utilizando las capacidades táctiles del iPhone.
Encontrar a la serpiente	Los niños tienen que encontrar la serpiente de la misma forma que lo han hecho con el caballo. Luego, la persona a cargo les ofrece la información.	Los niños tienen que encontrar la serpiente de la misma forma que lo han hecho con el caballo. La información que se ofrece es la misma que en el juego tradicional.
Encontrar el templo de Kukulkán y recoger las patatas	Para recoger las patatas, los niños tienen que llegar al centro de un laberinto impreso en papel (Figura 4.12b). Luego, la persona a cargo les ofrece la información.	Para recoger las patatas, los niños tienen que inclinar el dispositivo para mover la pelota que cosecha las patatas dentro un laberinto. La información que se ofrece es la misma que en el juego tradicional.

Tabla 4.2: Comparación de la información transmitida sobre América Central y del Sur en los métodos tradicional y iPhone.

14 se diseñaron para evaluar el grado de conocimiento que tenían los niños después de jugar al juego del iPhone o al juego tradicional. Eran preguntas con 3 ó 4 respuestas de las cuáles sólo una era correcta. Como ejemplo, una de estas preguntas era: *Los dromedarios son animales que suelen vivir en: a) Los desiertos de África, b) Los bosques asiáticos, c) Los campos de maíz de América.* Las últimas 5 preguntas estaban relacionadas con la satisfacción de los niños con el juego. Las 4 primeras preguntas de estas 5 eran preguntas con varias respuestas, entre 3 y 5. Estas 4 preguntas estaban relacionadas con la diversión experimentada, el aprendizaje percibido, si les gustaría visitar alguno de los lugares que habían visto en el juego y si les gustaría volver a jugar para conocer otros lugares. Estas 4 preguntas se usaron para la variable «Satisfacción». La última pregunta era *Puntúa el juego de 1 a 10*, donde 1 era la puntuación más baja y 10 la más alta.

El segundo cuestionario (QRA2 o QTR2), que puede observarse en la Tabla 4.4, estaba enfocado en conocer las preferencias de los niños y su opinión y experiencia con el juego del iPhone. Tenía 12 preguntas. Las primeras 11 era preguntas con entre 3 y 5 posibles respuestas. Como ejemplo, la primera pregunta de este segundo cuestionario era: *¿Con qué frecuencia juegas con consolas o juegos de ordenador? a) Cada día, b) Casi todos los días, c) Algunos días, d) Casi nunca, e) Nunca.* Las preguntas 6 y 8 tenían tres subgrupos con 4 posibles opciones. Por ejemplo, la pregunta 6 era: *Marca lo que te ha gustado de cada continente.* Las tres subgrupos correspondían a África, Asia y América. Cada uno de los cuáles tenía 4 posibilidades. Por ejemplo, para África: *a) La tormenta de arena, b) El mini-juego de los cacahuetes, c) El dromedario y la jirafa, d) El juego de los dátiles.* En la última pregunta, los niños podían puntuar el juego de la misma forma que en el primer cuestionario.

Identificador	Pregunta
P1	¿Cuál es el continente más pobre de los vistos en el juego? a) Asia. b) América. c) África. d) No lo sé, no lo explica en el juego.
P2	La muralla china es uno de los monumentos más característicos del continente asiático. ¿Sabrías decir cuánto mide? a) Muy poco, la muralla china sólo mide 100 metros. b) Mucho, la muralla china mide más de 7 km. c) No sé lo que mide.
P3	Los dromedarios son unos animales que viven normalmente en: a) El desierto de África. b) En las selvas de Asia. c) En los grandes campos de maíz de América.
P4	En América, uno de los alimentos típicos son: a) Las patatas. b) Los cacahuetes. c) El arroz.
P5	Los dátiles surgen de las palmeras que conforman los oasis de: a) Asia. b) América. c) África.
P6	¿Cuál es el continente más grande de los vistos durante el juego? a) América. b) Asia. c) África. d) No lo sé, no lo han dicho.
P7	¿Cuánto tiempo tardó en construirse el Taj Mahal? a) Muy poco, en un año estaba construido. b) Tardaron 24 años en construirlo. c) No sé lo que es el Taj Mahal.
P8	El tangram es un juego muy típico de: a) Asia. b) América. c) África.
P9	Los dátiles surgen de las palmeras que conforman los oasis de: a) Asia. b) América. c) África.
P10	Uno de los fenómenos meteorológicos que podemos ver en África son: a) Las tormentas del monzón. b) Las tormentas de nieve. c) Las tormentas de arena.
P11	Para poder ver el Cristo Redentor habría que ir a: a) Asia. b) África. c) América.
P12	¿Qué monumento has visto en África? a) El templo de Kukulcán. b) Las pirámides de Egipto. c) La torre Eiffel.
P13	En qué continente se utiliza más el maíz: a) Asia. b) África. c) América.
P14	¿En qué continente has visto los caballos? a) Asia. b) África. c) América.
P15	¿Te lo has pasado bien durante el juego? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada
P16	¿Has aprendido cosas nuevas sobre otros lugares del mundo? a) Sí. b) No. c) No lo sé.
P17	¿Te gustaría visitar los lugares que has visto en el juego? a) Sí. b) No. c) No lo sé.
P18	¿Volverías a jugar para conocer otros lugares que no has visto esta vez? a) Sí. b) No. c) No lo sé.
P19	Puntúa el juego de 1 a 10.

Tabla 4.3: Cuestionario QRA1/QTR1.

Identificador	Pregunta
F1	Juegas con alguna consola o con juegos de internet? a) Todos los días. b) Casi todos los días. c) Algún día a la semana. d) Casi nunca. e) Nunca.
F2	¿Qué continente te ha gustado más? a) Asia. b) América. c) África.
F3	¿Qué juego te ha gustado más de los dos? a) El iPhone. b) El juego tradicional, el del tablero. c) Ninguno de los dos.
F4	¿Te ha parecido fácil jugar con el iPhone? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F5	¿Qué te ha gustado más del iPhone? a) La pantalla táctil. b) El movimiento del teléfono. c) Los objetos que aparecían encima de los marcadores. d) No me ha gustado nada. e) Otros.
F6	Marca lo que más te ha gustado de cada continente (iPhone): AMÉRICA: a) La tormenta de hielo. b) El juego de maíz. c) La anaconda y el caballo. d) El laberinto. ÁFRICA: a) La tormenta de arena. b) El juego de los cacahuets. c) El dromedario y la jirafa. d) El juego de los dátiles. ASIA: a) La tormenta del monzón. b) El tangram y los peces. c) El elefante y el oso panda. d) La muralla china.
F7	¿Te ha parecido fácil jugar con el juego tradicional? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F8	Marca lo que más te ha gustado de cada continente (Tradicional): ÁFRICA: a) El juego de los ojos tapados. b) El mono y los cacahuets. c) Buscar los animales. d) La palmera y los dátiles. ASIA: a) El juego de los peces. b) El tangram. c) Buscar los animales. d) El juego de arroz. AMÉRICA: a) Juego de mímica. b) El laberinto. c) Buscar los animales. d) La diana en forma de maíz.
F9	¿Has entendido las normas de los dos juegos? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F10	¿Has aprendido cosas nuevas? a) Muchas. b) Bastantes. c) Regular. d) Algunas. e) Pocas.
F11	¿Te gustaría aprender cosas nuevas en el colegio con RA? a) Sí, mucho. b) Me da igual. c) No, no me interesa.
F12	Puntúa el juego de 1 a 10.

Tabla 4.4: Cuestionario QRA2/QTR2.

4.6.4 Procedimiento

Los niños participaron voluntariamente en el estudio con el consentimiento de sus padres. Los niños fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos siguientes:

- Niños que jugaron con el juego del iPhone primero y luego con el juego tradicional.
- Niños que jugaron con el juego tradicional primero y luego con el juego del iPhone.

Después de jugar al juego del iPhone, los niños del primer grupo rellenaron el cuestionario QRA1 (Tabla 4.3). Luego jugaron al juego tradicional y rellenaron el cuestionario QTR2 (Tabla 4.4). En cuanto al segundo grupo, después de jugar al juego tradicional rellenaron el cuestionario QTR1. Luego, jugaron al juego del iPhone y rellenaron el cuestionario QRA2. En la Figura 4.13 se puede observar el procedimiento. En nuestro estudio, el protocolo de evaluación del contenido fue establecido de forma similar al que se aplica para evaluar el contenido en una clase. En el segundo ciclo de educación primaria, la dinámica habitual es que el profesor imparta la lección y que después evalúe el nivel de aprendizaje de dicho contenido. Los cuestionarios se rellenaban en la misma sala en la que se desarrollaban las actividades.

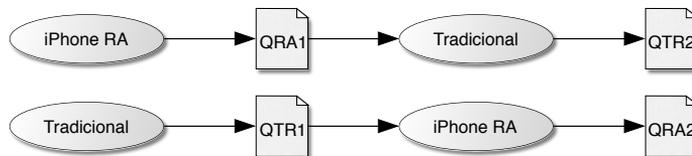


Figura 4.13: Procedimiento del estudio.

4.6.5 Variables

Para el análisis se utilizaron varias variables dependientes:

- Una variable de conocimiento para evaluar el conocimiento adquirido al jugar con cada uno de los juegos. Esta variable estaba compuesta por el número de respuestas correctas de las preguntas 1-14 del cuestionario QRA1 y QTR1.

- Una variable de aprendizaje percibido para ver las diferencias con el aprendizaje real.
- Como se explica en la Sección 4.6.3, se definió una variable satisfacción para medir el grado de satisfacción experimentado durante el juego.
- Una variable de preferencia de juego para saber si los niños preferían el juego del iPhone o el juego tradicional.

En el análisis se consideraron las siguientes variables independientes:

- Género: Chico o chica.
- Grupo: Grupo que experimentó el juego del iPhone primero o el que experimentó el juego tradicional primero.
- Curso: tercero o cuarto.

En los cuestionarios también se recogió la edad, pero se desestimó. Se consideró que, al tener la variable curso, la información que proporcionaba la variable edad era redundante y que la interacción entre los dos factores es conocida a priori.

4.7 Resultados

En esta sección se presentan los resultados del estudio realizado con el juego de multiculturalidad con los niños de l'«Escola d'Estiu» de la UPV.

4.7.1 Aprendizaje

Se realizó una prueba t para determinar si la experiencia con el juego del iPhone o el juego tradicional influía sobre el número de respuestas correctas. El análisis muestra que la diferencia en el número de respuestas correctas entre el juego del iPhone (media de 9.02 ± 2.23) y el tradicional (media de 10 ± 1.75) no fue estadísticamente significativa para un nivel de significación (α) de 0.01 ($t[82] = -2.21$, $p = 0.03$, d de Cohen = 0.48). El valor de p y el tamaño del efecto de la d de Cohen indicó que no había diferencias reales entre los dos grupos. Estos datos permiten concluir que no había diferencias estadísticas significativas en las puntuaciones de aprendizaje entre el grupo que jugó con el iPhone y el que jugó con el juego tradicional.

Como la prueba t sólo tenía en consideración el efecto aislado del factor Grupo, se realizó un análisis ANOVA multifactorial para observar el efecto de varios factores combinados. Este ANOVA tuvo en cuenta el efecto del Grupo, Género y Curso de los niños en los resultados respecto al aprendizaje. Como se observa en la Tabla 4.5, dichos factores no tuvieron efectos estadísticos significativos sobre el número de respuestas correctas. Todos los valores de p son superiores al $\alpha=0.01$, y el tamaño del efecto (η^2 parcial) era muy pequeño para todos los factores. Además, no había interacción entre los factores dado los altos valores de p y el pequeño tamaño del efecto.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Grupo	1	5.43	0.02	0.07
Género	1	2.95	0.09	0.04
Curso	1	<0.01	0.98	<0.01
Grupo:Género	1	0.43	0.51	0.01
Grupo:Curso	1	1.56	0.21	0.02
Género:Curso	1	0.05	0.83	<0.01
Grupo:Género:Curso	1	2.60	0.11	0.03

Tabla 4.5: Resultados del análisis ANOVA multifactorial. Se analizaron tres factores (Grupo, Género y Curso) y sus interacciones para el número de respuestas correctas. $N = 84$.

En el estudio, también se preguntó a los niños acerca del aprendizaje percibido. El 100% de los participantes que jugaron al juego del iPhone pensó que habían aprendido, mientras que el 92.85% de los participantes que jugaron con el juego tradicional pensó que habían aprendido nuevo conceptos. Como era una pregunta con respuestas categóricas, se utilizó el test exacto de Fisher para determinar si las variables independientes tuvieron influencia sobre las respuestas. El test reveló que no había diferencias estadísticas significativas entre el Grupo ($p=0.241$). De esta forma, se puede deducir que pertenecer al grupo del iPhone o al tradicional no supuso ninguna diferencia en el grado de percepción del aprendizaje. Además, el Curso ($p=0.21$) y el Género ($p=0.72$) tampoco influyeron en el aprendizaje percibido.

4.7.2 Otros aspectos considerados

Con respecto a si les gustaría que la tecnología de RA se introdujese en los colegios, el 91 % indicó que, efectivamente, sí que les gustaría utilizar este tipo de tecnología en clase. Sólo un 2 % de los participantes no estaba interesado, mientras que el resto (7 %) permanecía indeciso. Respecto a la preferencia del juego (iPhone o tradicional), se analizaron las respuestas a la pregunta F3 de QRA2/QTR2 con las variables independientes (Grupo, Género y Curso) usando la prueba χ^2 , ya que los datos recogidos eran de tipo categórico. Los resultados indicaron que ni el Grupo ($\chi^2[1]=3.78$, $p=0.05$), ni el Género ($\chi^2[1]=0.17$, $p=0.68$) ni el Curso ($\chi^2[1]=0.36$, $p=0.55$) influyeron en la variable de preferencia. En la Figura 4.14 se observa que las varianzas de las variables son muy pequeñas. Sin embargo, en todos los casos, la gran mayoría prefirió el juego del iPhone (90 % de los niños) sobre el tradicional. Además, el 96 % de los niños indicó que les gustaría volver a jugar con el juego del iPhone.

Se realizó una prueba t para determinar si había diferencias estadísticas significativas en el nivel de satisfacción experimentado por los dos grupos. Las respuestas indicaron que la diferencia en el nivel de diversión entre el grupo del iPhone (media 3.37 ± 0.27) y el tradicional (media 3.33 ± 0.30) no era significativa ($t[82]=0.57$, $p=0.57$, d de Cohen=0.09). De este análisis es posible deducir que la diferencia entre los datos fue debida a la casualidad. También se utilizó un ANOVA multifactorial para analizar el nivel de satisfacción respecto a los factores Grupo, Género y Curso. El resultado se muestra en la Tabla 4.6. En ella se puede observar que no hubo efectos estadísticos significativos, ya que todos los valores de p son muy altos y los tamaños del efecto muy bajos. Tampoco se encontraron interacciones entre las variables independientes.

Respecto a la facilidad de uso, el 49 % de los participantes consideró que era muy fácil jugar y manejar el iPhone; el 37 % lo consideró bastante fácil; mientras que el 11 % valoró que era un poco difícil jugar con el teléfono. Sólo el 3 % consideró que no era nada fácil jugar con el dispositivo.

Respecto al continente preferido, la mayoría de los niños eligieron las actividades de América Central y del Sur (45 %), seguido de las africanas (28 %) y las asiáticas (27 %). Finalmente, respecto a la preferencia del mini-juego, en América Central y del Sur, la mayoría eligió el laberinto (65 %), el único mini-juego que utilizó el acelerómetro.

Finalmente, también se estudiaron las correlaciones entre las tres variables principales (conocimiento, satisfacción y preferencia). Los resultados eran menores que 0.2, indicando que estas variables eran independientes entre sí.

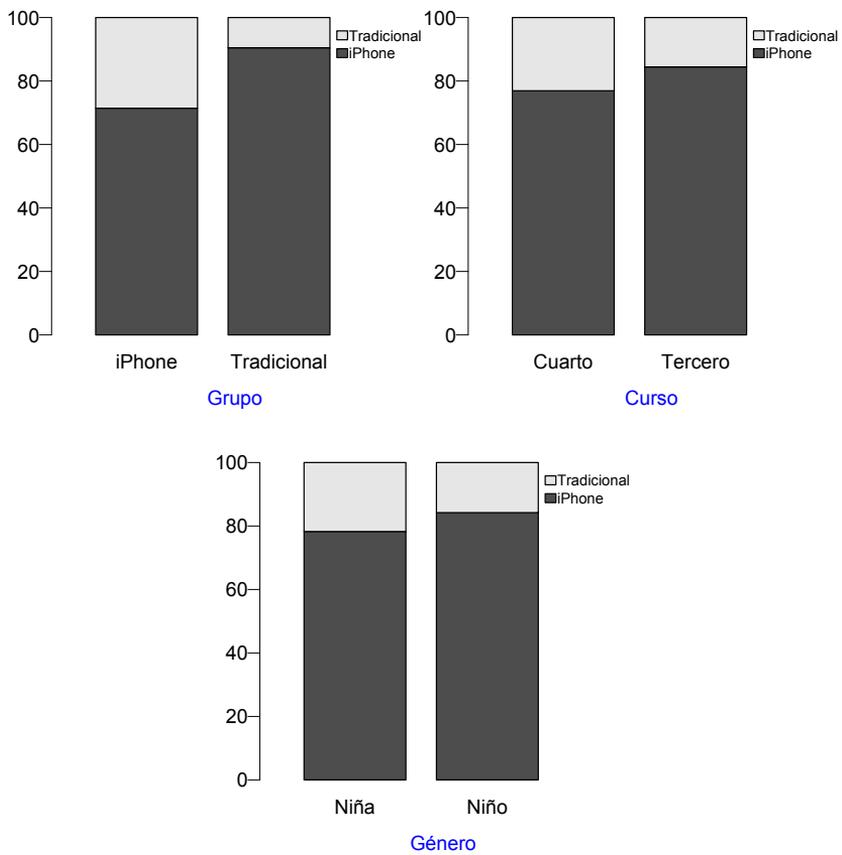


Figura 4.14: Gráficas de la variable dependiente Preferencia respecto a las variables independientes Grupo, Curso y Género.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Grupo	1	0.13	0.72	0.01
Género	1	0.12	0.72	<0.01
Curso	1	0.91	0.35	<0.01
Grupo:Género	1	0.21	0.65	<0.01
Grupo:Curso	1	1.20	0.28	<0.01
Género:Curso	1	0.19	0.67	<0.01
Grupo:Género:Curso	1	0.35	0.56	0.04

Tabla 4.6: Resultados del análisis ANOVA multifactorial. Se analizaron tres factores (Grupo, Género y Curso) y sus interacciones para la variable satisfacción. $N = 84$.

4.7.3 Hojas de observación

También se analizaron las puntuaciones y los comentarios de los profesionales que estaban observando a los niños mientras jugaban. Los resultados fueron similares a los que se obtuvieron con los cuestionarios QRA1 y QTR1. Las Figuras 4.15 y 4.16 muestran las puntuaciones de cada aspecto observado durante los juegos tradicional y del iPhone, respectivamente. Se realizaron varios análisis ANOVA para cada uno de los aspectos observados para comprobar si las percepciones de los profesionales diferían al observar a los niños jugar a las dos modalidades de juego. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los aspectos analizados con respecto al orden de juego. Tampoco se encontraron diferencias estadísticas significativas con respecto al método utilizado (el juego tradicional o el juego del iPhone), con la excepción de la comprensión de los conceptos percibidos en el juego ($F[1,38]=14.53$, $p<0.01$, η^2 parcial=0.28). Los profesionales a cargo de las actividades pensaron que los niños que jugaban al juego tradicional entendieron mejor los conceptos explicados en el juego (8.60 ± 0.85) que los que utilizaron el iPhone para jugar (7.56 ± 0.86). Sin embargo, las puntuaciones fueron bastante altas en ambos casos, y los profesionales comentaron que los niños prestaban atención a las explicaciones ofrecidas por el personaje guía en el iPhone o a la persona que los guiaba en el juego tradicional. Con respecto al comportamiento inicial y la motivación de los niños, los profesionales que estaban a cargo de la actividad indicaron que fue muy positiva (dieron una puntuación media de 8.06 ± 1.11 a los niños que jugaron con el iPhone y de 7.82 ± 1.10 a los niños que jugaron al juego tradicional). Con respecto a la comprensión de las reglas del juego, los profesionales percibieron

que la gran mayoría de éstos no tuvo ningún problema con el juego del iPhone después de la introducción del tutorial. Además, también indicaron que los niños manejaban el iPhone sin problemas. Lo mismo ocurrió con los niños que jugaron al juego tradicional, los cuales no tuvieron ningún problema jugando a los mini-juegos. Estos resultados corroboran los que se obtuvieron para la facilidad de uso con las respuestas de los niños, dónde sólo el 3% de éstos señaló que no era fácil jugar al juego. El comportamiento de los niños durante el juego fue muy bueno. Los profesionales a cargo de la actividad comentaron que los niños estaban concentrados y que estuvieron muy participativos tanto en el juego tradicional como con el iPhone. También percibieron que los niños se divertían en ambos métodos. Estos resultados corroboran los obtenidos con los análisis de la variable satisfacción, en el que se obtuvieron puntuaciones altas (3.37 y 3.33 de un total de 4 para el juego del iPhone y el juego tradicional, respectivamente) y no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el juego del iPhone y el juego tradicional. Con respecto a la cooperación entre los niños, se percibieron diferencias entre el juego tradicional y el del iPhone. Según los profesionales a cargo de la actividad, los niños colaboraron más entre ellos cuando utilizaron el juego del iPhone que cuando usaron el juego tradicional. Los profesionales dieron una puntuación media al juego del iPhone de 8.17 ± 1.04 , mientras que al juego tradicional dieron una puntuación media de 6.82 ± 2.75 . También comentaron que una gran mayoría de los niños colaboraron para encontrar los objetos que pedía el personaje guía durante el juego del iPhone. Sin embargo, durante el juego tradicional, los niños sólo cooperaron en unos pocos mini-juegos.

4.8 Conclusiones y trabajos futuros

En esta sección se presentan las conclusiones obtenidas del estudio realizado.

4.8.1 Estudio Preliminar

Se ha presentado un estudio preliminar acerca de las temáticas preferidas por los profesionales de la educación. Dicho estudio puede ser valioso ya que puede ayudar a otros investigadores a elegir la temática y el tipo de juego. También podría usarse para comparar las preferencias con estudiantes de otros países.

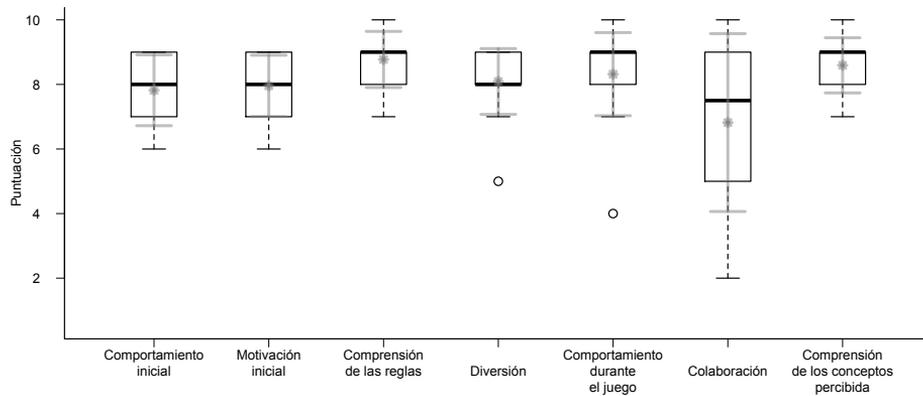


Figura 4.15: Diagrama de cajas de los diferentes aspectos analizados por los profesionales que observaban a los niños durante el juego tradicional. La media y la desviación típica están representadas en gris.

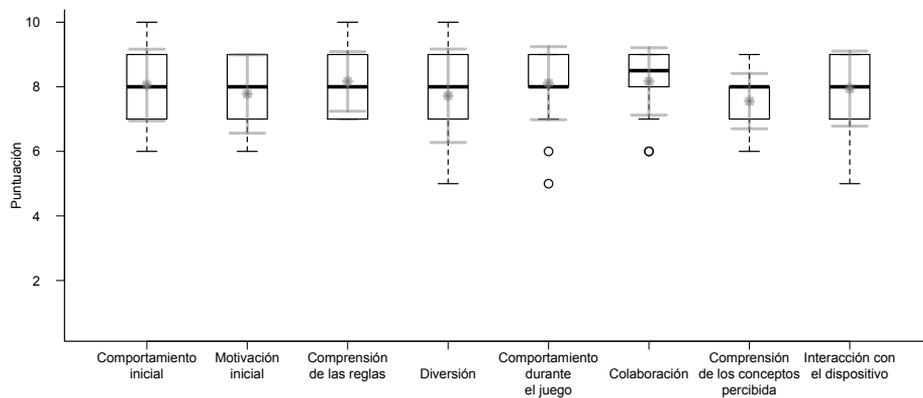


Figura 4.16: Diagrama de cajas de los diferentes aspectos analizados por los profesionales que observaban a los niños durante el juego del iPhone. La media y la desviación típica están representadas en gris.

4.8.2 El juego del iPhone y la RA

Basándonos en los resultados del estudio preliminar, se ha desarrollado un juego en el iPhone para aprender sobre multiculturalidad, tolerancia y solidaridad. El juego incluye RA y distintas formas de interacción (manipulación física, pantalla táctil y acelerómetro). Por lo que sabemos, éste es el primer juego que combina todas estas características. El juego no sólo utiliza RA, sino que la convierte en una parte importante del mismo. De hecho, a la gran mayoría (91 %) les gustaría utilizar RA en clase como herramienta de aprendizaje. Este resultado indica que la tecnología de RA junto con el videojuego motivó a los niños. Otros resultados del estudio que confirman este hecho son: el 96 % de los niños indicó que les gustaría volver a jugar con el juego del iPhone, y el 90 % de los niños prefirió el juego del iPhone sobre el juego tradicional. Además, los profesionales que estaban observando a los niños durante las actividades comentaron que los niños estaban motivados y se divertían mientras jugaban con el iPhone.

Si comparamos estos resultados con investigaciones previas donde no se utilizó RA, se puede observar que, en el estudio llevado a cabo por Ruchter et al. (2010), la aplicación digital no mejoró la motivación. Sin embargo, en estudios como el de Rosas et al. (2003), o el de Yang (2012), se puede observar que se obtuvieron resultados similares a los del estudio aquí presentado, pero no tan altos. Este hecho indicaría que la RA puede haber sido un factor que haya mejorado la motivación y la diversión. Desde nuestro punto de vista, la inclusión de la RA en juegos educativos podría ayudar de varias formas ya que, aparte de motivar a los niños, permite explorar lo que se está aprendiendo desde diferentes perspectivas (Kerawalla et al., 2006). Por supuesto, la RA no se puede utilizar para todo, pero su combinación con otras tecnologías abre nuevas posibilidades.

4.8.3 Aprendizaje

Algunos autores han señalado la falta de investigación que trate el problema de cómo los videojuegos mejoran el aprendizaje (Lee et al., 2010). Según Lee et al. (2010), «el conocimiento y la capacidad no se puede medir de forma directa». Alavi y Leidner (2001) argumentaron que sólo se puede observar y medir la acción y la actuación resultante del aprendizaje. Sharda et al. (2004) establecieron una clasificación para los resultados del aprendizaje en tres grupos: 1) Resultados psicomotores, los cuales incluyen precisión, eficiencia y magnitud de reacción; 2) Resultados cognitivos, los cuales incluyen conocimiento, comprensión, aplicación y análisis; y 3) Resultados afectivos, los cuales incluyen la actitud, la percepción de satisfacción y la apreciación de la experiencia de

aprendizaje.

Se realizó un estudio para determinar si los niños aprendían más jugando con el iPhone o con los juegos tradicionales. No se encontraron diferencias estadísticas significativas. Este resultado corrobora nuestra hipótesis («No habrá diferencias estadísticas significativas entre jugar con el iPhone o con los juegos tradicionales respecto al conocimiento adquirido»). No obstante, los niños tuvieron un alto nivel de aprendizaje (con aproximadamente el 70 % de respuestas correctas) en ambos juegos. Por otra parte, los profesionales que estaban a cargo de las actividades percibieron que los niños entendieron mejor los conceptos cuando estaban utilizando el método tradicional. Aunque, las puntuaciones fueron bastante altas tanto en el juego del iPhone como en el juego tradicional. Una posible explicación para esta percepción es que esta puntuación está intrínsecamente relacionada con su participación en el juego (explicando el juego, transmitiendo el conocimiento, etc., en el método tradicional), así que es posible que estén predispuestos a favor del método tradicional. Sin embargo, los profesionales que estaban a cargo de las actividades comentaron que los niños prestaban atención a las explicaciones dadas por el personaje guía en el juego del iPhone o de la persona guiando el juego tradicional. Teniendo en cuenta todos estos datos, desde nuestro punto de vista, el contexto del juego así como el propio juego pueden haber sido unos potentes transmisores de conocimiento. Los resultados indican que los niños mejoraron el conocimiento de forma similar utilizando tanto un juego autónomo (iPhone) como un juego personalizado y guiado (tradicional). Este resultado es prometedor porque los niños pueden aprender no sólo cuando están en clase, sino que también pueden aprender en cualquier lugar y en cualquier momento sin la necesidad de tener un control total sobre su proceso de aprendizaje.

Si contrastamos este estudio con otros estudios parecidos donde se comparan los nuevos métodos presentados con otros métodos más tradicionales vemos que hay una tendencia similar en la que los videojuegos educativos presentados obtienen resultados semejantes a los que se logran con los métodos tradicionales. Ebner y Holzinger (2007), Telner et al. (2010) y Yang (2012) han demostrado que los participantes que han jugado con videojuegos obtuvieron los mismos resultados que los participantes que han utilizado métodos más tradicionales con respecto al conocimiento adquirido. Si comparamos los resultados del estudio aquí presentado con otros estudios que utilizan juegos educativos en dispositivos móviles, como el de Rosas et al. (2003), también observamos resultados similares ya que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el grupo experimental y el grupo de control con respecto al conocimiento adquirido. A pesar de obtener resultados similares a los obtenidos en nuestro estudio, se debe tener

en consideración que los estudios realizados por otros autores han comparado sus nuevos métodos (videojuegos) con lecciones de clase, mientras que en nuestro estudio se ha comparado el nuevo método (juego del iPhone) con un juego tradicional equivalente. Los juegos (tradicionales o digitales) pueden estimular la motivación de los estudiantes (Papastergiou, 2009) y mejoran la experiencia de aprendizaje de los participantes (Connolly et al., 2007). Normalmente esta motivación no está presente en las lecciones de clase. Además, en otros estudios, los participantes tuvieron una clase inicial donde se explicaron todos los conceptos. Todos los participantes, independientemente de los grupos a los que pertenecían (control o experimental) jugaron en las mismas condiciones. Podían preguntar en las lecciones de clase, pero no durante el juego. En nuestro caso, no había ninguna clase introductoria. Aunque, el personaje guía en el juego del iPhone o la persona a cargo del juego tradicional explicaban los conceptos. Los niños podían preguntar durante el juego tradicional para entender mejor los conceptos explicados. Hecho que no se daba en el juego del iPhone. Mientras que, a priori, estos dos factores podrían favorecer los resultados de aprendizaje del juego tradicional, los resultados mostraron que no había diferencias significativas. Creemos que el hecho de que no hubiese diferencias estadísticas significativas entre los dos métodos fue un resultado positivo porque significa que el uso de la RA ayudó a contrarrestar la ventaja que los niños tenían en el juego tradicional y mejoró su experiencia de aprendizaje.

Con respecto a los resultados afectivos, el 100 % de los niños que jugaron al juego con el iPhone pensó que habían aprendido utilizando el dispositivo. Por otra parte, uno de los aspectos más valiosos de los juegos cuando se compara con otros métodos educativos es la aceptación y la motivación de los estudiantes. La motivación siempre ha sido un factor importante en los métodos educativos. Se han examinado muchos aspectos de la motivación tales como el diagnóstico (De Vicente & Pain, 2002) o la planificación didáctica para incrementar la motivación (Matsubara & Nagamachi, 1996). Price et al. (2003) y Virvou y Katsionis (2008) utilizaron un método similar para evaluar la aceptación. En el juego de Price et al. (2003), un indicio importante sobre la evaluación de la emoción y diversión fue su deseo de continuar interactuando y jugando. En nuestro caso, el 96 % de los niños indicó que les gustaría volver a jugar al juego del iPhone. Con respecto a las preferencias, el 90 % prefirió la experiencia del iPhone a la del método tradicional.

4.8.4 Usabilidad

La usabilidad y la percepción de la facilidad de uso son, también, aspectos importantes a tener en cuenta, ya que pueden afectar a la efectividad de la educación en los juegos (Jones et al., 1999; Mayes & Fowler, 1999; Squires, 1999). Davis (1989) teoriza sobre el modelo de aceptación tecnológica (Technology Acceptance Model o TAM), en el que se consideran dos percepciones (percepción de la utilidad, PU, y percepción de la facilidad de uso, PEOU) para determinar la predisposición de una persona para utilizar una tecnología. Según Davis, elementos como «importante», «relevante», «útil» y «valioso» corresponden a la PU, mientras que elementos tales como «conveniente», «controlable» y «fácil» corresponden a la PEOU. En nuestro estudio, la PU se midió de forma indirecta con los cuestionarios adaptados a la edad de los niños, en los que se preguntó si les gustaría utilizar el sistema de RA en el colegio. Sus respuestas positivas indicaron que estaban entusiasmados con el sistema de RA. La PEOU se midió de forma indirecta en los cuestionarios y también indicó que los niños tenían un alto grado de aceptación con respecto a la tecnología de RA.

Según Sun et al. (2008), los sistemas de aprendizaje que son fáciles de usar ayudan a los estudiantes a centrar su atención en el aprendizaje. Además, este aspecto favorece que estén más motivados para aprender. En nuestro caso, el 97 % de los participantes consideró que el iPhone era fácil de manipular. Además, los profesionales que estaban observando a los niños durante las actividades indicaron que una gran mayoría de niños no tuvo problemas interactuando con el dispositivo. Si consideramos el comentario anterior, el juego del iPhone ayuda a los estudiantes a centrar su atención en el aprendizaje.

4.8.5 Trabajos futuros

Como trabajo futuro, el uso de un mayor número de animaciones o sonidos podría mejorar el juego. En cuanto a aspectos técnicos se refiere, el motor SIO2 en su versión 1.4 usa OpenGL-ES 1.1, por lo que se podría actualizar el código para utilizar la versión 2.0 de OpenGL-ES. Versión que permite el uso de *shaders*, pudiendo mejorar el aspecto gráfico. Para mejorar los tiempos de carga se podría añadir programación multi-hilo. También nos gustaría poder realizar los test desde el propio dispositivo. Dicha funcionalidad sería útil ya que podría proporcionar *feedback* tanto a los estudiantes como a los profesores. También nos gustaría llevar a cabo más evaluaciones cuantitativas y cualitativas en diferentes colegios para obtener más evidencias empíricas. Aunque se desarrolló un juego para la evaluación, debido a las restricciones de tiempo de las sesiones de prueba,

no se pudo utilizar y los niños tuvieron que responder los cuestionarios en papel. Finalmente, sería interesante el desarrollo de más juegos que usen múltiples canales de entrada (reconocimiento de marcadores, pantalla táctil, acelerómetro, etc.) para dispositivos móviles. Como se ha mencionado en la Sección 4.5, el juego se centra en transmitir conocimiento como parte de la multiculturalidad, la solidaridad y la tolerancia. Sin embargo, un trabajo futuro interesante podría ser mejorar el juego tratando aspectos más específicos y evaluándolos, prestando especial atención a si el juego promueve los valores transmitidos. Nuestro estudio está centrado en determinar si los niños adquieren conocimiento a corto plazo, así pues, un posible trabajo futuro sería comprobar el aprendizaje a largo plazo. Otro posible trabajo futuro es comparar la evaluación basada en papel con una evaluación que use la misma herramienta utilizada para aprender (en nuestro caso, el juego del iPhone). Este estudio estaría relacionado con otros trabajos que han comparado evaluaciones basadas en papel con métodos que usan ordenadores (McDonald, 2002). Se podría mejorar en distintos aspectos al propio juego. Por ejemplo, se podrían añadir otros modos de juego como un modo multijugador. Con este modo, se podría jugar de manera colaborativa o competitiva. La rejugabilidad del juego se podría mejorar haciendo el juego menos lineal y predecible. La experiencia también se podría mejorar haciendo el juego más personalizable. Por ejemplo, adaptar la dificultad del juego a los estudiantes con notas bajas, medias o altas. Otro aspecto a considerar sería que los profesores formaran parte del juego. Por ejemplo, permitiéndoles establecer la dificultad del juego teniendo en cuenta el nivel del estudiante. Con la aparición de nuevos dispositivos móviles, se podría usar un dispositivo con una pantalla autoestereoscópica (por ejemplo, una Nintendo 3DS o el teléfono LG Optimus 3D) para compararlo. Finalmente, considerando las continuas mejoras de los dispositivos móviles, se podrían desarrollar juegos educativos para mejorar la efectividad del proceso de aprendizaje.

5 APRENDRA: EL CICLO DEL AGUA

En este capítulo, se describe el proceso llevado a cabo para el diseño, la implementación y el funcionamiento del juego sobre el ciclo del agua para el iPhone. También se detallan dos estudios llevados a cabo y los resultados obtenidos. En primer lugar, se describirán los elementos utilizados para diseñar el juego. Seguidamente, se presentarán todas las herramientas y dispositivos utilizados para el diseño, implementación y ejecución del mismo, así como los requisitos técnicos necesarios para su correcto funcionamiento. A continuación, se realizará una descripción del juego donde se comentará la estructura de éste y se detallarán los diferentes elementos que aparecen en él. Finalmente, se describirán los estudios realizados de forma detallada, incluyendo el procedimiento, las medidas utilizadas, los resultados y las conclusiones de los dos estudios.

Las publicaciones derivadas del presente capítulo son las siguientes:

- Furió, D., González-Gancedo, S., Juan, M.-C., Seguí, I. & Costa, M. (2013a). The effects of the size and weight of a mobile device on an educational game. *Computers & Education*, 64, 24-41. Factor de impacto=2.775 (primer cuartil en la categoría Computer Science, Interdisciplinary Applications).
- Furió, D., Juan, M.-C., Torres, E. & Seguí, I. (nodate). Mobile learning vs. traditional classroom lessons. A comparative study. *Journal of Computer Assisted Learning*. Factor de impacto=1.632 (primer cuartil en la categoría Education & educational research), Aceptado con cambios.
- Furió, D., Juan, M. C., Seguí, I., Vicent, M. J. & Abad, F. (2013c). Comparing touch and tilt interaction using an iPhone game for children. En *International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 2013)* (pp. 389-392). (CORE/ERA A).

5.1 Introducción

El ciclo del agua es el proceso que sigue ésta en la naturaleza. Se trata de un ciclo en el que el agua se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico. La mayor parte de la masa del agua se encuentra en forma líquida, sobre todo en los océanos y mares y, en menor medida, en forma de agua subterránea o de agua superficial (en ríos y arroyos). También podemos encontrar agua acumulada como hielo, sobre todo en los casquetes glaciares antártico y groenlandés. Por

último, una fracción menor está presente en la atmósfera como vapor o, en estado gaseoso, como nubes. Esta fracción atmosférica es, sin embargo, muy importante para el ciclo del agua, ya que permite un suministro permanente a las regiones de la superficie continental alejadas de los depósitos principales¹. El ciclo del agua consta de varias fases. El ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua desde la superficie del océano. A medida que dicho vapor se eleva, el aire humedecido se enfría y se transforma en agua, produciendo la fase de condensación. La precipitación ocurre cuando las gotas, una vez se han juntado y han formado una nube, caen por su propio peso. Si en la atmósfera hace mucho frío, el agua cae como nieve o granizo. Si es más cálida, caerán gotas de lluvia. Una parte del agua que llega a la tierra será aprovechada por los seres vivos, mientras que otra se escurrirá por el terreno hasta llegar a un río, un lago o el océano. Más tarde o más temprano, toda esta agua volverá nuevamente a la atmósfera, debido principalmente a la evaporación.

La ley orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación, en el artículo 3 del real decreto 524/2006 establece el siguiente objetivo en la educación primaria en España: «Conocer y valorar su entorno natural, social y cultural, así como las posibilidades de acción y cuidado del mismo». Además, se indica explícitamente que los niños deben conocer el ciclo del agua y que ésta existe en diferentes estados y se puede cambiar de un estado a otro mediante calentamiento o enfriamiento.

Finalmente, como se muestra en el apartado 4.2, los profesionales de la educación que participaron en el estudio mostraron preferencia sobre la naturaleza y los seres vivos.

Como parte de esta tesis, se ha desarrollado un juego para dispositivos móviles sobre el ciclo del agua para reforzar el conocimiento de los niños respecto al temario que se imparte en los colegios.

5.2 Diseño del juego

El diseño del juego se basa en los mismos principios y teorías detallados en la Sección 4.3. También se ha tenido en cuenta el plan nacional de estudios para el diseño y contenido del mismo. De nuevo, se ha utilizado el ciclo de vida de desarrollo de sistemas (SDLC) para desarrollar el juego del ciclo del agua, que se compone de 6 fases: Planificación del proyecto y Selección, Análisis del Sistema, Diseño del Sistema, Implementación del Sistema, Pruebas, y Evaluación.

¹http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrológico

Durante la fase de Planificación del proyecto y Selección se escogió la temática y el tipo de juego a desarrollar. Se eligió la temática de Naturaleza por dos razones:

1. Fue una de las dos opciones preferidas en el estudio preliminar (ver Sección 4.2).
2. Este tema está incluido en la ley de educación primaria española.

En esta fase también se determinó el tipo de estudio que se iba a realizar (Estudiar el efecto del peso y tamaño de la pantalla en juegos educativos).

Durante la fase de Análisis del Sistema, se determinaron los dispositivos a utilizar, los requisitos iniciales del juego, y la población objetivo. En este caso, se decidió usar un iPhone y un Tablet PC, ya que ambos poseen las características necesarias para desarrollar juegos con RA y diferentes formas de interacción. Finalmente, se identificó la población objetivo basada en el tipo de juego, la temática y el dispositivo utilizado.

En la fase de Diseño del Sistema, se describieron las distintas etapas del juego y las distintas formas de interacción. Durante esta fase también se propusieron los cuestionarios como método de evaluación del juego con niños, así como la forma en que se evaluaría el juego. Al igual que en el diseño anterior, se llevaron a cabo varias iteraciones hasta llegar al diseño final. La Figura 5.1 muestra como ejemplo la evolución en el diseño del mini-juego para recoger objetos contaminantes de un río.

En la fase de Implementación del Sistema, se desarrolló el juego. Durante esta fase, también se probaron los distintos niveles del juego a medida que se iban acabando de implementar. Se utilizaron prototipos verticales para comprobar el correcto funcionamiento de los diferentes niveles del juego.

En la fase de Prueba, se probó el juego completo con varios niños. En la fase de Evaluación, se llevó a cabo un estudio en el que el iPhone se comparó con el Tablet PC. Se utilizaron los cuestionarios descritos en la Sección 5.5.2 para medir el conocimiento adquirido, facilidad de uso, diversión, etc. También se llevó a cabo un segundo estudio donde el iPhone se comparó con una clase tradicional. En este caso, se utilizaron los cuestionarios descritos en la Sección 5.6.2.

5.3 Desarrollo

Tanto las herramientas utilizadas para la implementación y desarrollo, como el proceso de desarrollo y el funcionamiento del juego son similares a los que se

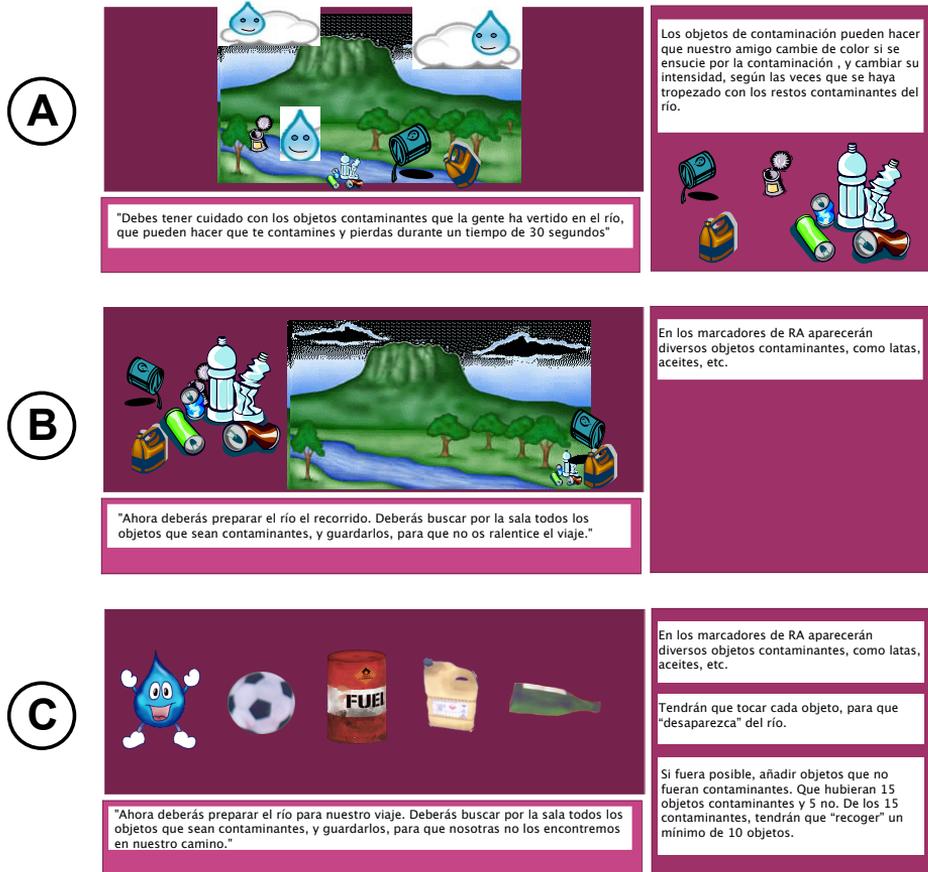


Figura 5.1: Evolución del diseño del mini-juego de recoger objetos contaminantes en el río.

usaron en el juego sobre multiculturalidad, los cuales se pueden consultar en la Sección 4.4.

5.3.1 La cámara en iOS 4

A diferencia de lo que ocurría con iOS 3 (ver Sección 4.4.2), la versión 4 del sistema operativo es la primera versión en ofrecer soporte nativo para la cámara del iPhone con el *framework AVFoundation*.

En la Figura 5.2 se muestran los pasos a seguir para que la cámara empiece a capturar imágenes. Como se puede observar, cuando se quiere empezar a capturar imágenes con la cámara lo primero que se realiza es la inicialización de la misma, reservando la memoria necesaria para poder usarla. Si la reserva no se puede completar se liberará la memoria utilizada. Normalmente, cuando no se puede completar la reserva es porque la cámara está siendo utilizada por otra aplicación. Una vez se ha completado la reserva, se debe inicializar el capturador de salida de la cámara, el cual se encarga de obtener los datos de las imágenes obtenidas por la cámara en el formato que se especifica cuando se establecen las opciones de salida del vídeo. Si no se puede inicializar, se liberará la memoria. Una vez inicializado y establecidas las opciones de salida del vídeo, se debe inicializar una sesión. Una sesión permite coordinar el flujo de datos desde un dispositivo de entrada a la salida establecida. En otras palabras, la sesión permite iniciar la cámara para capturar imágenes y que los datos de dichas imágenes se procesen para obtenerlos en el formato establecido en las opciones de salida del vídeo. A continuación, se obtiene un puntero a la ventana donde se dibujarán automáticamente las imágenes obtenidas por la cámara. Si no se pudiera obtener se liberará la memoria y terminará el intento de inicializar la cámara. Finalmente, sólo hay que empezar a capturar imágenes y guardar los datos para que ARToolKitPlus pueda analizarlos.

5.3.2 Requisitos técnicos

Las características necesarias del iPhone para que funcione correctamente el juego son:

- Un iPhone 3GS.
- El SO iOS 4. La versión del SO del iPhone utilizada es la 4.3.

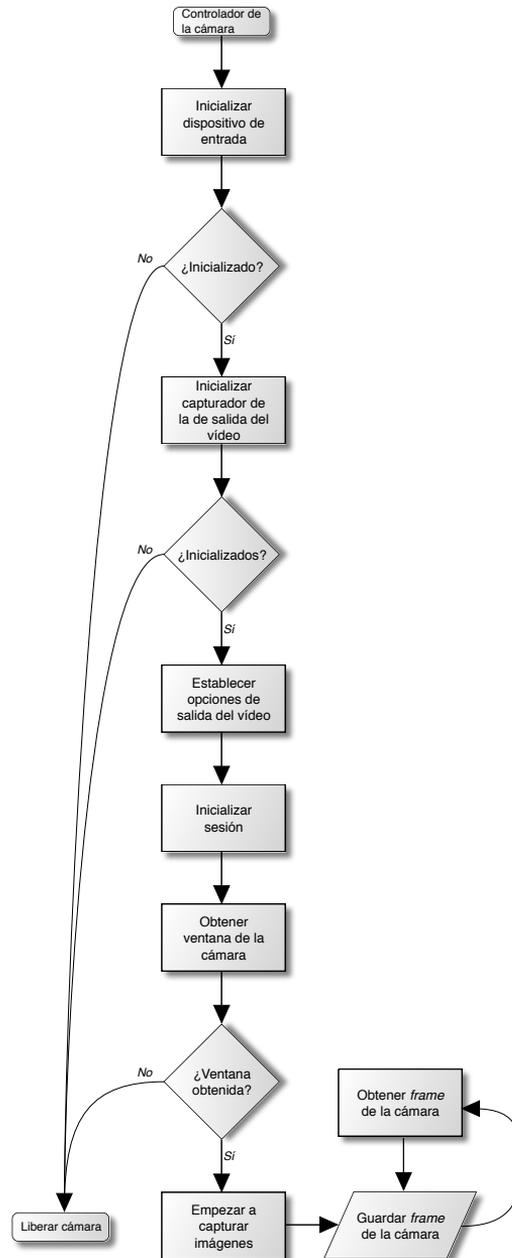


Figura 5.2: Pasos para realizar la captura de imágenes con la cámara en iOS 4.

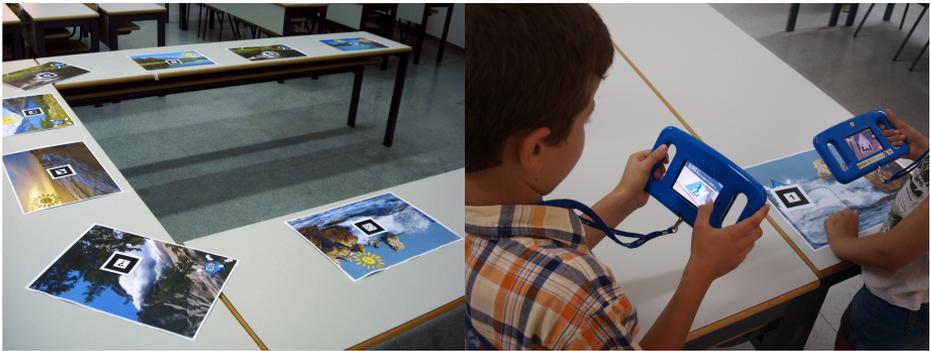
5.4 Descripción del juego

El trabajo realizado es un juego para el *smartphone* iPhone 3GS con sistema operativo iOS 4 que trata sobre el ciclo del agua. El juego va dirigido a reforzar el aprendizaje de los niños. Durante el juego, los niños aprenden el ciclo del agua, la composición del agua y la contaminación de la misma, de forma similar a cómo se estudia en los colegios. Mientras juegan, los niños pueden ver las fases más importantes del ciclo del agua. Empiezan viendo la fase de evaporación, que se produce cuando el sol calienta el agua y la convierte en vapor. Tras esta fase, el vapor sube hacia las nubes. A continuación, se produce la fase de condensación, que ocurre cuando el vapor de agua se enfría y se convierte de nuevo en agua líquida, formando las nubes. En la tercera fase, precipitación, las pequeñas gotas de agua que forman las nubes se enfrían más. Este hecho provoca que las gotas se fusionen entre sí formando gotas más grandes y pesadas que ya no se pueden contener en las nubes. Es entonces cuando el agua cae al suelo en forma de lluvia, nieve, granizo, etc. La última fase del ciclo del agua que se ve en el juego es la infiltración, que ocurre cuando el agua alcanza el suelo y penetra a través de sus poros. Aparte del ciclo del agua, los niños también aprenden acerca de la composición del agua y de los objetos que pueden contaminarla.

Haciendo uso de la RA, los niños tenían que explorar una habitación en busca de los objetos solicitados por el personaje guía, que en este caso se trataba de una gota de agua. Para buscar dichos objetos, los usuarios enfocaban con la cámara del dispositivo a los diferentes marcadores que estaban distribuidos por la sala. Se utilizaron 10 marcadores de RA. Además, como se puede apreciar en la Figura 5.3a, la habitación donde se realizaron las actividades fue decorada con pósteres e imágenes para que los niños tuvieran una experiencia más inmersiva. Cuando los niños seleccionaban un objeto pulsando sobre él, aparecía un mensaje avisándoles de si el objeto que habían cogido era el correcto o si se habían equivocado. Además, cada 10 segundos, el personaje guía recordaba a los niños la tarea que debían realizar. En las Figuras 5.3b y 5.3c se puede ver a dos niños jugando al juego del ciclo del agua.

Entre los mini-juegos que usan RA aparecen otros mini-juegos que no hacen uso de esta tecnología. De esta forma, los dispositivos actúan tanto como dispositivos de RA como dispositivos de videojuegos. Los mini-juegos sin RA, a pesar de que no usan esta tecnología, utilizan las capacidades táctiles y el acelerómetro. Normalmente, los mini-juegos sin RA consisten en tener que recolectar cierta cantidad de objetos para poder pasar al siguiente paso.

Entre cada mini-juego, aparecen videos y audios. Éstos explican las tareas



(a) Decoración de la habitación donde se realizaron las actividades.

(b) Dos niños jugando con el iPhone.



(c) Los niños han encontrado oxígeno.

(d) Mini-juego sin RA con el Tablet PC.

Figura 5.3: Imágenes del juego.

a realizar, describiendo lo que tienen que hacer y qué es lo que tienen que conseguir. Cuando se completa un mini-juego, los vídeos y audios también sirven como recompensa para los niños, mostrándoles lo que han conseguido. De esta forma se pueden enlazar todas las fases de manera que parezca que se está contando una historia.

En la Figura 5.4 se puede observar un esquema de las diferentes pantallas del juego. El juego empieza con un vídeo que sirve como introducción. A continuación, los niños tienen que buscar por la habitación al personaje guía, una gota de agua. Esta actividad sirve como tutorial. En este paso, los niños aprenden cómo enfocar y seleccionar objetos en los mini-juegos con RA. La primera tarea después de encontrar al personaje guía requiere que los niños formen gotas de agua a partir de átomos de oxígeno e hidrógeno, representados, también, como gotas de agua de diferente color y con una letra en la espalda. Los niños deben seleccionar primero dos átomos de hidrógeno seguido del de oxígeno para formar una gota de agua. Una vez han conseguido formar tres, se pasa al primer mini-juego sin RA. En este mini-juego, los niños tienen que recoger 20 soles para poder evaporar las gotas de agua formadas. Este mini-juego corresponde a la fase de evaporación del ciclo del agua. Los soles caen desde la parte superior de la pantalla del dispositivo y los usuarios tienen que mover la gota de agua, situada en la parte inferior de la misma, de izquierda a derecha utilizando las capacidades táctiles del dispositivo. A continuación, aparece el segundo mini-juego sin RA en el que los niños tienen que colocar 10 nubes en el pico de una montaña utilizando las capacidades del acelerómetro. El tercer mini-juego con RA, el cual corresponde a la fase de condensación del ciclo del agua, requiere que los niños encuentren termómetros con baja temperatura (azules). También hay termómetros con altas temperaturas (rojos) mezclados entre los de baja temperatura. De esta forma pueden enfriar las nubes y producir la precipitación. En la fase de infiltración, los usuarios deben recoger gotas de agua que caigan del pico de la montaña. En la Figura 5.3d puede apreciarse esta fase. Para completar la tarea, los niños tienen que recoger 10 gotas de agua tocando sobre ellas. Finalmente, el ciclo del agua se ha completado, pero el personaje guía descubre un nuevo problema, un río lleno de objetos que pueden ser contaminantes. Los niños necesitan encontrar y recolectar los objetos contaminantes usando las capacidades de RA del dispositivo. Es importante mencionar que todos los mini-juegos muestran gráficamente el estado actual de los niños.

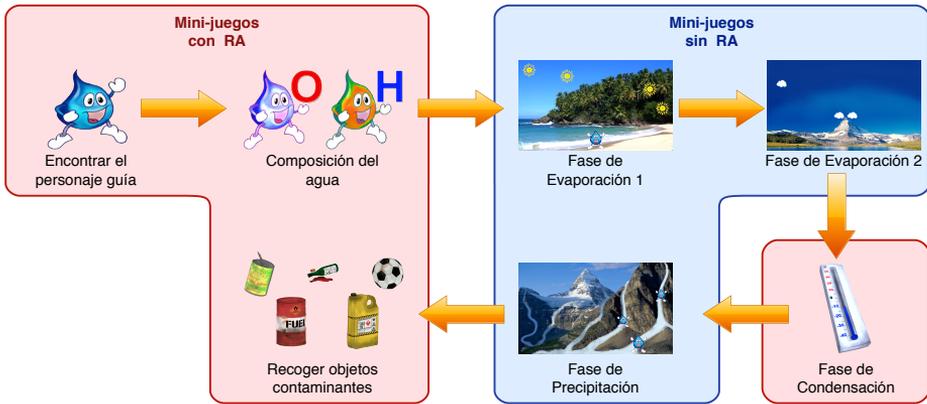


Figura 5.4: Estructura del juego.

5.5 Estudio comparativo entre el juego para el iPhone vs. Tablet PC

En esta sección se van a presentar las pruebas realizadas comparando el juego para aprender el ciclo del agua funcionando en el iPhone y en un Tablet PC.

El objetivo principal de este estudio era determinar si el juego ayudaba a los niños en el proceso de aprendizaje y observar si uno de los dispositivos tenía mayor influencia que el otro en los niños con respecto al conocimiento adquirido. La hipótesis primaria era que habrían diferencias estadísticas significativas entre jugar con un iPhone o jugar con un Tablet PC con respecto al conocimiento adquirido. La hipótesis secundaria era que habrían diferencias estadísticas significativas entre el conocimiento inicial antes de jugar al juego y el conocimiento adquirido al jugar con los dispositivos.

5.5.1 Participantes

En el estudio participaron 79 niños de l'«Escola d'Estiu» de la UPV con edades comprendidas entre 8 y 10 años, donde un 53 % eran niños y un 47 % niñas.

5.5.2 Medidas

En este estudio, centrado en el aprendizaje, se utilizaron dos cuestionarios. El primero, Q1, que puede verse en la Tabla 5.1, estaba compuesto por 6 preguntas, las cuáles fueron diseñadas para evaluar el conocimiento que los niños tenían acerca del ciclo del agua. Las preguntas tenían 4 respuestas donde sólo una era correcta, a excepción de la pregunta E5. En esta pregunta, los niños tenían que seleccionar los elementos que creyesen que eran contaminantes de una lista de 9 objetos. Aparte de las preguntas acerca del conocimiento sobre el ciclo del agua, el cuestionario también recogía datos como el género y la edad de los niños. Las preguntas del cuestionario Q1 se calificaron de la siguiente forma: si las respuestas en las preguntas E1-E4 y E6 eran correctas, obtenían un punto en cada una para un total de 5 puntos. En la pregunta 5, sólo obtenían un punto en caso de que acertasen todos los objetos contaminantes. Si fallaban uno o más, obtenían 0 puntos.

El segundo cuestionario, Q2, contenía las mismas preguntas que Q1. Además, se añadió la siguiente pregunta para analizar el aprendizaje percibido: *¿Crees que has aprendido cosas nuevas? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.*

Identificador	Pregunta
E1	¿Te acuerdas de qué se compone el agua? a) Hidrógeno y oxígeno. b) Potasio y sodio. c) El agua no se compone de nada. d) No lo sé, no me acuerdo.
E2	De los componentes que vas a leer, ¿cuál no pertenece al agua? a) Hidrógeno. b) Potasio. c) Oxígeno. d) No lo sé, no me acuerdo.
E3	¿Te acuerdas qué ayuda a que el agua se evapore? a) Frío. b) Calor. c) Movimiento. d) No lo sé, no me acuerdo.
E4	Y una vez que las gotas están en las nubes, ¿qué necesitan para bajar otra vez a la tierra o al mar? a) Frío. b) Calor. c) Movimiento. d) No lo sé, no me acuerdo.
E5	Marca los objetos que creas que son contaminantes (Una imagen acompañaba a cada objeto). • Lata de aceite • Árbol • Lata de comida • Barril de gasolina • Flor • Botella de vino • Lirio de agua • Pelota deteriorada
E6	¿Sabrías decirnos cómo es el ciclo del agua? a) Primero el agua está líquida, luego se evapora, luego se enfría y luego cae en forma de lluvia o nieve. b) Primero está en las nubes, luego se enfría y luego se vuelve líquida. c) Primero cae en forma de nieve, luego se evapora y luego se va al mar. d) No lo sé, no me acuerdo.

Tabla 5.1: Q1: Preguntas del cuestionario inicial.

5.5.3 Procedimiento

Los niños fueron asignados aleatoriamente a una de los dos grupos siguientes:

- Niños que jugaron con el iPhone.
- Niños que jugaron con el Tablet PC.

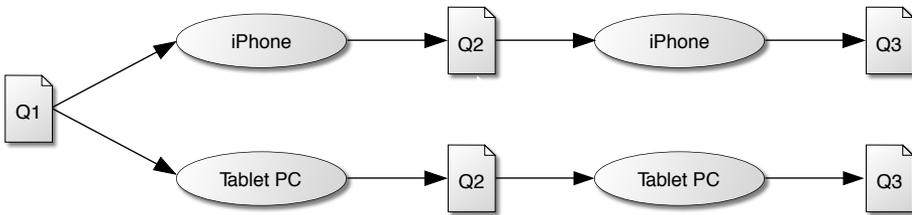


Figura 5.5: Procedimiento del estudio.

Ambos grupos tenían un número similar de niños: 41 niños fueron asignados al primer grupo y 38 al segundo. En la Figura 5.5 se muestra el procedimiento del estudio de forma gráfica. Como puede observarse, antes de jugar a cualquier juego, los niños tenían que contestar las preguntas del cuestionario Q1 (Tabla 5.1). A continuación, se les daban instrucciones sobre cómo se jugaba. Entonces, el primer grupo jugaba con el iPhone. Después de completar el juego, tenían que rellenar el cuestionario Q2. El segundo grupo, jugaba con el Tablet PC. De igual forma, rellenaban el cuestionario Q2 al terminar el juego. En nuestro estudio, el protocolo de evaluación del contenido fue establecido de forma similar al que se aplica para evaluar el contenido en los colegios. En la clase de segundo ciclo de educación primaria, la dinámica habitual es que el profesor imparta la lección y que después evalúe el nivel de aprendizaje de dicho contenido. Los cuestionarios se rellenaban en la misma sala en la que se desarrollaban las actividades. Dos personas permanecían en la sala durante toda la sesión para poder aclarar las dudas que surgiesen. Los niños respondieron a las preguntas sin ningún tipo de presión y no se les informaba sobre si la respuesta que habían dado era correcta o no para evitar que las respuestas de conocimiento del cuestionario Q1 tuviesen alguna influencia en las respuestas de conocimiento del cuestionario Q2. De esta forma, los niños no adquirieron conocimientos nuevos al responder al cuestionario Q1.

5.5.4 Resultados

En esta sección se presentan los resultados de las pruebas realizadas con el juego del ciclo del agua con los niños de l'«Escola d'Estiu» de la UPV.

Aprendizaje

La variable Conocimiento se creó a partir del número de respuestas correctas de las 6 preguntas sobre el ciclo del agua (preguntas E1-E6 en Q1 y Q2). La Figura 5.6 muestra el diagrama de cajas de las puntuaciones, donde se puede observar que el número de respuestas correctas después de jugar al juego (Q2) era mayor que antes de jugarlo (Q1).

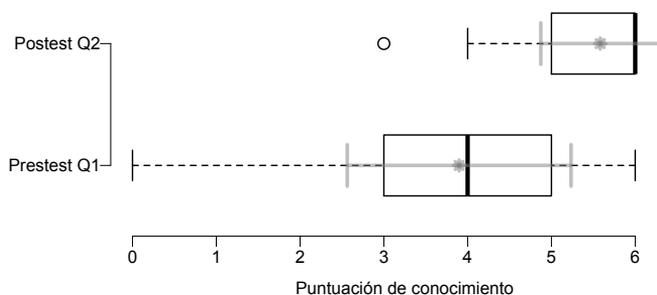


Figura 5.6: Puntuación de las preguntas de conocimiento en los cuestionarios Q1 y Q2. La media y desviación típica están representadas en gris.

Para completar el estudio de la variable Conocimiento se realizaron varios análisis estadísticos. Se estableció el nivel de significación en 0.05 para todos los análisis. Se realizó un t-test para comparar el efecto que tuvo el juego sobre esta variable. El análisis reveló que las puntuaciones en Q2 (5.58 ± 0.70) eran significativamente más altas que en el pre-test (3.90 ± 1.33) ($t[78]=11.21$, $p < 0.01$, d de Cohen=1.26). Este resultado corroboró los datos mostrados en la Figura 5.6. Se realizó otro t-test para determinar las diferencias de conocimiento adquirido entre el juego con el iPhone (5.63 ± 0.65) y con el Tablet PC (5.53 ± 0.75). No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los dos dispositivos ($t[77]=0.67$, $p < 0.50$, d de Cohen=0.15).

También se realizó un ANOVA mixto para múltiples factores de forma simultánea. Los factores de Curso y Género eran entre-sujetos, mientras que el

factor Cuestionario era intra-sujetos ya que contenía medidas repetidas (primero cuando rellenan el cuestionario Q1 y luego cuando rellenan el cuestionario Q2). El factor Dispositivo (iPhone o Tablet PC) también se consideró entre-sujetos debido a que los niños de cada grupo eran diferentes. Se ha utilizado Eta-cuadrado (η^2_G) (Olejnik & Algina, 2003) como tamaño del efecto. Se ha demostrado que eta-cuadrado es adecuado para análisis de diseños ya que tiene en cuenta tanto las medidas repetidas como los factores observados (Bakeman, 2005). El resultado del análisis (Tabla 5.2) muestra que había diferencias estadísticas significativas en los factores de Curso y Cuestionario. Los valores de p en ambos casos estaban por debajo de 0.01 y el tamaño del efecto reveló que el factor con más influencia fue Cuestionario con un tamaño excepcionalmente grande, seguido del factor Curso, con un tamaño pequeño. También se encontraron interacciones entre los factores Curso y Cuestionario con un tamaño del efecto muy pequeño. Cabe destacar que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los dos dispositivos.

Además, el conocimiento adquirido percibido por los niños se ajustaba a los resultados anteriores. En una escala de 1 a 5, la puntuación otorgada a la pregunta: *¿Crees que has aprendido cosas nuevas?* del cuestionario Q2, fue alta tanto después de usar el iPhone (4.42 ± 0.86) como después de utilizar el Tablet PC (4.42 ± 0.78), y no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los dispositivos ($t[76]=0.02$, $p=0.98$, d de Cohen < 0.01).

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Curso	1	7.43	< 0.01	0.06*
Género	1	0.63	0.43	< 0.01
Dispositivo	1	0.70	0.41	< 0.01
Cuestionario	1	124.68	< 0.01	0.38*
Curso:Cuestionario	1	5.15	0.03	0.03*
Otras Interacciones	1	< 1.04	> 0.31	< 0.01

Tabla 5.2: ANOVA mixto para las puntuaciones de la variable Conocimiento. El símbolo * indica diferencias estadísticas significativas. $N = 79$.

Otra forma de estudiar la variable Conocimiento era mediante el uso de la ganancia normalizada de Hake (Hake, 1998). La ganancia normalizada se creó para evaluar la efectividad de un curso basado en pruebas preliminares y finales. La ganancia normalizada permite medir el grado de aprendizaje obtenido a través de un método de enseñanza (Mayo, 2007). Se define como el ratio del

aumento entre una prueba preliminar (pre-test) y una prueba final (post-test) respecto del máximo aumento posible:

$$\langle g \rangle = \frac{\langle \text{Ganancia} \rangle}{\langle \text{Ganancia} \rangle_{max}} = \frac{\% \langle \text{post-test} \rangle - \% \langle \text{pre-test} \rangle}{100 - \% \langle \text{pre-test} \rangle} \quad (5.1)$$

donde $\% \langle \text{pre-test} \rangle$ es el porcentaje de respuestas correctas en las pruebas preliminares (Q1) y $\% \langle \text{post-test} \rangle$ es el porcentaje de respuestas correctas en las pruebas finales (Q2). El valor de $\langle g \rangle$ puede variar desde 0 (no ha habido ninguna ganancia de conocimiento) hasta 1 (máxima ganancia de conocimiento). Hake estableció tres tipos de cursos dependiendo del valor de $\langle g \rangle$:

- Cursos con una «g alta» ($\langle g \rangle \geq 0.7$).
- Cursos con una «g media» ($0.3 \leq \langle g \rangle < 0.7$).
- Cursos con una «g baja» ($\langle g \rangle < 0.3$).

En nuestro caso, teníamos que el $\% \langle \text{pre-test} \rangle = 63.6\%$ y el $\% \langle \text{post-test} \rangle = 92.1\%$, por lo que la ganancia normalizada en nuestro juego fue de $\langle g \rangle = 0.78$. Esta medida es un indicador de la efectividad que nuestro sistema tuvo durante la evaluación.

5.5.5 Conclusiones y trabajos futuros

Basándonos en los resultados del estudio preliminar presentado en la Sección 4.2 donde «naturaleza» fue uno de los temas más votados, se ha desarrollado un juego para el iPhone para aprender sobre el ciclo del agua. El juego incluye RA y distintas formas de interacción (manipulación física, pantalla táctil y acelerómetro).

Varios estudios han probado que los juegos educativos son herramientas de aprendizaje útiles. Los videojuegos producen cambios químicos en el cerebro que promueven el aprendizaje y hay estudios que han demostrado que los videojuegos son mejores que una lección magistral (Mayo, 2007). Los videojuegos también poseen algunas ventajas sobre otras técnicas de aprendizaje o incluso sobre los juegos tradicionales. Los videojuegos tienen un alcance masivo y atraen tanto a niños como a adultos así como a hombres y mujeres. Son paradigmas de aprendizaje efectivos. Se puede obtener información de ellos para mejorar el propio juego o para recoger información sobre los usuarios. A pesar de que hay estudios que han probado empíricamente que los niños aprenden con juegos de ordenador (Fisch, 2005), no hay muchos estudios que lo corroboren con juegos

para dispositivos móviles que utilicen RA. Además, no todos los videojuegos educativos transmiten el conocimiento de forma efectiva. Para maximizar la efectividad del videojuego, se han tenido en cuenta las teorías de aprendizaje de Kolb y Gardner, los objetivos y competencias de la ley para la educación primaria y múltiples sugerencias de diseño de varios autores.

Conocimiento adquirido

Se realizó un estudio para determinar si los niños adquirían nuevos conocimientos después de jugar. Los niños respondieron a las preguntas de los cuestionarios (Q1 y Q2). Los resultados mostraron que había diferencias estadísticas significativas entre antes y después de jugar al juego con respecto al conocimiento adquirido. Este hecho indica que jugar al juego del ciclo del agua afectó de manera positiva los resultados de aprendizaje, independientemente del dispositivo utilizado. Los resultados revelaron un nivel alto de aprendizaje, lo que indicaría que los niños recordaron gran parte del conocimiento transmitido por el juego. Por esta razón, se puede afirmar que el juego del ciclo del agua es efectivo a la hora de transmitir el conocimiento a corto plazo. Este hecho implica que los niños han aprendido nuevos conceptos después de jugar al juego con los dispositivos, lo que significaría que este tipo de juegos se podrían usar para reforzar el conocimiento aprendido en clase con la ventaja de que se pueden utilizar en cualquier lugar y en cualquier momento (Jones & Jo, 2004).

También se estudió si había diferencias entre el conocimiento adquirido con respecto al género, curso y dispositivo utilizado. No se encontraron diferencias estadísticas significativas. Éste fue un resultado inesperado ya que la hipótesis primaria era que habrían diferencias estadísticas significativas entre jugar con un iPhone o jugar con un Tablet PC con respecto al conocimiento adquirido. Aunque inesperado, es un buen resultado ya que significaría que el juego era adecuado para los factores estudiados y que el sistema se puede utilizar en más situaciones sin tantas restricciones.

También se utilizó la ganancia normalizada (Hake, 1998) para medir el grado de aprendizaje obtenido. Nuestro sistema obtuvo un resultado de «g alta», que indica que sistemas interactivos como nuestro juego podrían ser efectivos (Hake, 2002). Si comparamos nuestro estudio con otros como el de Freitas y Campos (Freitas & Campos, 2008), que utilizaron el sistema SMART (ver Sección 2.3.1), vemos que, a pesar de que obtuvieron buenos resultados (62 % de ganancia normalizada), nuestro sistema obtuvo una $\langle g \rangle$ más alta (78 %). Este dato reforzaría la idea de que nuestro juego ha sido capaz de transmitir conocimiento de forma satisfactoria.

Trabajos futuros

Como trabajo futuro, nos gustaría poder realizar los test desde el propio dispositivo. Finalmente, sería interesante el desarrollo de más juegos que usen múltiples canales de entrada (reconocimiento de marcadores, pantalla táctil, acelerómetro, etc.) para dispositivos móviles. Consideramos que los principios y sugerencias de la Sección 4.3 han hecho el juego más efectivo a la hora de transmitir el conocimiento y de motivar a los niños. Debido a que en este estudio no se ha validado esta contribución, un posible estudio futuro sería usar diferentes principios y sugerencias, y analizar los datos que estén directamente relacionados con el diseño.

5.6 Estudio comparativo entre el juego para el iPhone vs. una clase tradicional

En esta sección se va a detallar el estudio realizado comparando el juego del ciclo del agua funcionando en el iPhone con una lección de clase tradicional.

El objetivo principal de este estudio era determinar si el juego ayudaba a los niños en el proceso de aprendizaje y observar si uno de los métodos utilizados (el iPhone o la lección tradicional) tenía mayor influencia que el otro en los niños con respecto al conocimiento adquirido y la satisfacción. La hipótesis era que jugar al juego con el iPhone produciría en los niños, como mínimo, resultados de aprendizaje equivalentes a los de la lección tradicional y que los niños preferirían el juego del iPhone. Una de las razones en la que se basa la hipótesis es el hecho de que la actual generación de niños pertenecen a la *gamer generation* (generación de jugadores de videojuegos) (Beck & Wade, 2006).

Las razones por las que se llevó a cabo este estudio fueron las siguientes:

- Hay poca experiencia con el aprendizaje basado en juegos para dispositivos móviles (Lavin-Mera et al., 2008).
- No se ha aprovechado todo el potencial de la RA en dispositivos móviles.
- Estudios anteriores se han centrado más en aspectos de motivación que en resultados de aprendizaje (Papastergiou, 2009).
- La tecnología móvil o los videojuegos educativos prácticamente no se han utilizado en los colegios (Klopfer et al., 2012).

5.6.1 Participantes

En el estudio participaron 38 niños pertenecientes al colegio «Engeba» de Valencia con edades comprendidas entre 8 y 10 años, donde un 53 % eran niños y un 47 % niñas.

5.6.2 Medidas

En el estudio se utilizaron cinco cuestionarios: un pre-test, dos cuestionarios (uno para cada método) después de completar el primer método, y dos cuestionarios más (también uno para cada método) después de completar el segundo método.

1. El pre-test (Q1) era el mismo que se utilizó en el «Estudio comparativo entre el juego para el iPhone vs. Tablet PC» (Sección 5.5, Tabla 5.1).
2. El primer cuestionario post-juego (Q2-iPhone) se componía de 19 preguntas. Las primeras 6 eran las mismas que rellenaban en el cuestionario Q1. De esta forma, podíamos observar el aprendizaje que se producía después de jugar con los dispositivos. El resto de preguntas eran acerca de la satisfacción de los niños. Estas preguntas seguían una estructura similar a las cuestiones anteriores. Se trataba de preguntas que contenían entre 2 y 5 respuestas. Las preguntas P9 y P10 hacían referencia a la parte de RA del juego. La última pregunta solicitaba a los niños que puntuasen el juego en una escala de 1 a 10, donde 1 era la menor puntuación y 10 la más alta (Tabla 5.4).
3. El primer cuestionario post-lección (Q2-TR) se componía de 10 preguntas. Contenía las mismas preguntas que Q2-iPhone con la excepción de aquellas que estaban relacionadas específicamente con el dispositivo. En la Tabla 5.3 se pueden observar las preguntas que componían el cuestionario Q2-TR.
4. El segundo cuestionario post-juego (Q3-iPhone) se componía de 16 preguntas. En la Tabla 5.5 se pueden observar las preguntas que formaban el cuestionario Q3-iPhone.
5. El segundo cuestionario post-lección (Q3-TR) se componía de 7 preguntas, las cuales se muestran en la Tabla 5.6.

Identificador	Pregunta
P1	¿Te acuerdas de qué se compone el agua? a) Hidrógeno y oxígeno. b) Potasio y sodio. c) El agua no se compone de nada. d) No lo sé, no me acuerdo.
P2	De los componentes que vas a leer, ¿cuál no pertenece al agua? a) Hidrógeno. b) Potasio. c) Oxígeno. d) No lo sé, no me acuerdo.
P3	¿Te acuerdas qué ayuda a que el agua se evapore? a) Frío. b) Calor. c) Movimiento. d) No lo sé, no me acuerdo.
P4	Y una vez que las gotas están en las nubes, ¿qué necesitan para bajar otra vez a la tierra o al mar? a) Frío. b) Calor. c) Movimiento. d) No lo sé, no me acuerdo.
P5	Marca los objetos que creas que son contaminantes (Una imagen acompañaba a cada objeto). ● Lata de aceite ● Árbol ● Lata de comida ● Barril de gasolina ● Flor ● Botella de vino ● Lirio de agua ● Balón deteriorado
P6	¿Sabrías decirnos cómo es el ciclo del agua? a) Primero el agua está líquida, luego se evapora, luego se enfría y luego cae en forma de lluvia o nieve. b) Primero está en las nubes, luego se enfría y luego se vuelve líquida. c) Primero cae en forma de nieve, luego se evapora y luego se va al mar. d) No lo sé, no me acuerdo.
P7	¿Lo has pasado bien jugando? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P8	¿Crees que has aprendido cosas nuevas? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P9	¿Te ha parecido fácil aprender el ciclo del agua en clase? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P10	Por favor, puntúa de 1 a 10 la actividad de clase.

Tabla 5.3: Q2-TR: Preguntas del cuestionario después de asistir a la lección de clase.

Ident.	Pregunta
P1	¿Te acuerdas de qué se compone el agua? a) Hidrógeno y oxígeno. b) Potasio y sodio. c) El agua no se compone de nada. d) No lo sé, no me acuerdo.
P2	De los componentes que vas a leer, ¿cuál no pertenece al agua? a) Hidrógeno. b) Potasio. c) Oxígeno. d) No lo sé, no me acuerdo.
P3	¿Te acuerdas qué ayuda a que el agua se evapore? a) Frío. b) Calor. c) Movimiento. d) No lo sé, no me acuerdo.
P4	Y una vez que las gotas están en las nubes, ¿qué necesitan para bajar otra vez a la tierra o al mar? a) Frío. b) Calor. c) Movimiento. d) No lo sé, no me acuerdo.
P5	Marca los objetos que creas que son contaminantes (Una imagen acompañaba a cada objeto). • Lata de aceite • Árbol • Lata de comida • Barril de gasolina • Flor • Botella de vino • Lirio de agua • Balón deteriorado
P6	¿Sabrías decirnos cómo es el ciclo del agua? a) Primero el agua está líquida, luego se evapora, luego se enfría y luego cae en forma de lluvia o nieve. b) Primero está en las nubes, luego se enfría y luego se vuelve líquida. c) Primero cae en forma de nieve, luego se evapora y luego se va al mar. d) No lo sé, no me acuerdo.
P7	¿Lo has pasado bien jugando? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P8	¿Te ha gustado que la gota guía te introduzca el juego y te haya guiado durante el mismo? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P9	¿Te ha gustado ver cómo aparecían objetos encima de los recuadros negros? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P10	¿Te ha gustado jugar con juegos que utilizan lo que has encontrado en los recuadros negros? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P11	¿Qué te ha gustado más? a) Seleccionar objetos tocando la pantalla. b) Colocar objetos girando el dispositivo. c) Buscar objetos sobre los recuadros negros. d) No me ha gustado nada. e) Otra cosa: (A rellenar por el niño).
P12	¿Crees que has aprendido cosas nuevas? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P13	¿Volverías a jugar para aprender otros temas, como, por ejemplo, la Tierra? a) Sí. b) No. c) No lo sé.
P14	¿Te ha parecido fácil encontrar objetos sobre los recuadros negros? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P15	¿Qué te ha parecido más fácil? a) Seleccionar objetos tocando la pantalla. b) Colocar objetos girando el dispositivo.
P16	En general, ¿te ha parecido fácil jugar? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P17	¿Has entendido las normas del juego? a) Todo. b) Bastante. c) Regular. d) Pocas. e) Nada.
P18	¿Te gustaría aprender cosas nuevas en el colegio usando este sistema? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
P19	Por favor, puntúa el juego de 1 a 10.

Tabla 5.4: Q2-iPhone: Preguntas del cuestionario de después de jugar al primer juego.

Identificador	Pregunta
F1	¿Lo has pasado bien jugando? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F2	¿Te ha gustado que la gota guía te introduzca el juego y te haya guiado durante el mismo? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F3	¿Te ha gustado ver cómo aparecían objetos encima de los recuadros negros? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F4	¿Te ha gustado jugar con juegos que utilizan lo que has encontrado en los recuadros negros? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F5	¿Qué te ha gustado más? a) Seleccionar objetos tocando la pantalla. b) Colocar objetos girando el dispositivo. c) Buscar objetos sobre los recuadros negros. d) No me ha gustado nada. e) Otra cosa: (A rellenar por el niño).
F6	¿Crees que has aprendido cosas nuevas? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F7	¿Volverías a jugar para aprender otros temas, como, por ejemplo, la Tierra? a) Sí. b) No. c) No lo sé.
F8	¿Te ha parecido fácil encontrar objetos sobre los recuadros negros? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F9	¿Qué te ha parecido más fácil? a) Seleccionar objetos tocando la pantalla. b) Colocar objetos girando el dispositivo.
F10	En general, ¿te ha parecido fácil jugar? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F11	¿Has entendido las normas del juego? a) Todo. b) Bastante. c) Regular. d) Pocas. e) Nada.
F12	¿Te gustaría aprender cosas nuevas en el colegio usando este sistema? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F13	Por favor, puntúa el juego de 1 a 10.
F14	¿Qué forma de aprender te ha gustado más? a) iPhone. b) Clase tradicional.
F15	¿Por qué?
F16	¿Qué te ha gustado más de toda la experiencia?

Tabla 5.5: Q3-iPhone: Preguntas del cuestionario final para el iPhone.

Identificador	Pregunta
F1	¿Lo has pasado bien jugando? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F2	¿Crees que has aprendido cosas nuevas? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F3	¿Te ha parecido fácil aprender el ciclo del agua en clase? a) Mucho. b) Bastante. c) Regular. d) Poco. e) Nada.
F4	Por favor, puntúa de 1 a 10 la actividad de clase.
F5	¿Qué forma de aprender te ha gustado más? a) iPhone. b) Clase tradicional.
F6	¿Por qué?
F7	¿Qué te ha gustado más de toda la experiencia?

Tabla 5.6: Q3-TR: Preguntas del cuestionario final para la lección de clase tradicional.

5.6.3 Procedimiento

Los niños fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos siguientes:

- Grupo A: Niños que jugaron en primer lugar con el iPhone y luego asistieron a la clase tradicional.
- Grupo B: Niños que asistieron en primer lugar a la clase tradicional y luego jugaron con el iPhone.

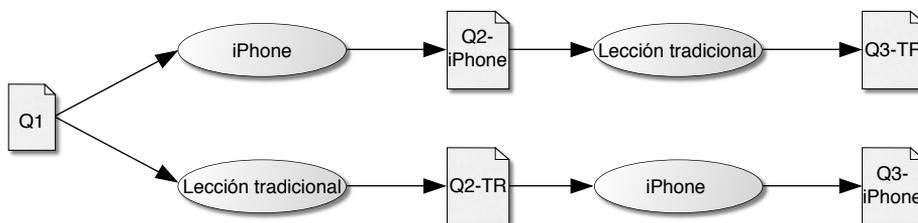


Figura 5.7: Procedimiento del estudio.

Ambos grupos tenían el mismo número de niños: 19 niños fueron asignados al grupo A y otros 19 al grupo B. En la Figura 5.7 se muestra el procedimiento del estudio de forma gráfica. Como puede observarse, antes de utilizar cualquier

método, los niños tenían que contestar las preguntas del cuestionario Q1. Además, a los niños del grupo A se les daban instrucciones sobre cómo se jugaba. A continuación, jugaban con el iPhone. Después de completar el juego, tenían que rellenar el cuestionario Q2-iPhone. Luego, los niños de este grupo asistían a la clase tradicional y rellenaban el cuestionario Q3-TR cuando ésta había finalizado. En cambio, el grupo B, debía asistir a clase en primer lugar. Una vez ésta terminaba, rellenaban el cuestionario Q2-TR. Después, los niños jugaban con el iPhone y, al finalizar el juego, rellenaban el último cuestionario, Q3-iPhone. En este estudio, el protocolo de evaluación fue establecido de forma similar al que se aplica para evaluar lo aprendido en una clase. En la clase de segundo ciclo de educación primaria, la dinámica habitual es que el profesor imparta la lección y que después evalúe el nivel de aprendizaje de dicho contenido. Los cuestionarios se rellenaban en la misma sala en la que se desarrollaban las actividades. Para poder jugar con el iPhone se habilitó una clase diferente a dónde se impartían las lecciones tradicionales. Dicha clase tenía dos áreas de juego idénticas en las que dos niños podían jugar de forma simultánea e individual. Las dos áreas tenían los mismos marcadores situados en las mismas posiciones. No había ningún tipo de interacción entre los dos niños que estaban jugando. Dos personas permanecían en la sala durante toda la sesión para poder aclarar las dudas que surgiesen. Los niños respondieron a las preguntas sin ningún tipo de presión y no se les informaba sobre si la respuesta que habían dado era correcta o no para evitar que las respuestas de conocimiento del cuestionario Q1 tuviesen alguna influencia en las respuestas de conocimiento del cuestionario Q2. De esta forma, los niños no adquirieron conocimientos nuevos al responder al cuestionario Q1.

5.6.4 Resultados

En esta sección se presentan los resultados de las pruebas realizadas con los niños del colegio Engeba utilizando el juego del ciclo del agua para el iPhone y asistiendo a las lecciones de clase.

Aprendizaje

La variable Conocimiento se creó a partir del número de respuestas correctas de las 6 preguntas sobre el ciclo del agua (preguntas E1-E6 en Q1 y P1-P6 en Q2-iPhone y Q2-TR). Para estudiar la variable Conocimiento se realizaron varios análisis estadísticos. Se realizó un t-test para comparar el efecto de los métodos sobre esta variable. El análisis reveló que las puntuaciones en los post-tests, Q2-iPhone y Q2-TR (4.82 ± 1.20), eran significativamente más altas que

en el pre-test (4.05 ± 1.04) ($t[37]=3.94$, $p < 0.01$). También se realizó un ANOVA mixto para considerar múltiples factores de forma simultánea. Los factores Curso y Género eran entre-sujetos, mientras que el factor Cuestionario era intra-sujeto, ya que contenía medidas repetidas (primero cuando rellenan el cuestionario Q1 y luego cuando rellenan el cuestionario Q2-iPhone o Q2-TR). El resultado del análisis (Tabla 5.7) muestra que había diferencias estadísticas significativas en el factor Cuestionario. El valor de p estaba por debajo de 0.01. La Figura 5.8 muestra los diagramas de cajas de los resultados de la variable Conocimiento, en la que se puede observar que los resultados eran más altos después de los métodos que antes de utilizarlos.

Factor	gl.	F	p	η^2_{paral}
Curso	1	3.06	0.09	0.06
Género	1	0.47	0.50	0.01
Cuestionario	1	15.06	<0.01	0.12*
Interacciones	1	<2.98	>0.09	<0.06

Tabla 5.7: ANOVA mixto para las puntuaciones de la variable Conocimiento en Q1 y Q2-iPhone/Q2-TR. El símbolo * indica diferencias estadísticas significativas. $N = 38$.

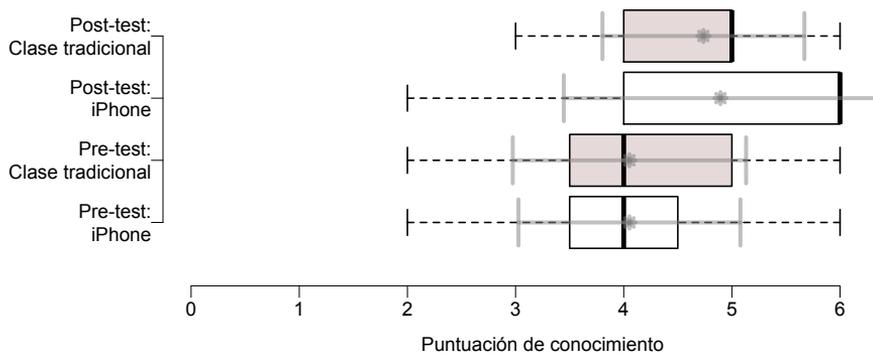


Figura 5.8: Puntuación de las preguntas de conocimiento en el pre-test (Q1) y en el post-test (Q2-iPhone y Q2-TR). La media y desviación típica están representadas en gris.

Se realizó otro t-test para determinar las diferencias de conocimiento adquirido entre el juego con el iPhone (4.89 ± 1.45) y la clase tradicional (4.74 ± 0.93). No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los dos métodos ($t[36]=0.40$, $p < 0.69$). Se realizó un ANOVA multifactorial para comparar ambos métodos considerando múltiples factores de forma simultánea. El resultado del análisis (Tabla 5.8) confirmó los resultados del t-test, en el que no se encontraron diferencias estadísticas significativas. La Figura 5.8 muestra los diagramas de cajas de los resultados de la variable Conocimiento. En ella se puede observar que los resultados eran similares entre los métodos.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Curso	1	0.47	0.50	0.02
Género	1	0.16	0.69	0.01
Método	1	0.17	0.68	0.01
Interacciones	1	<0.71	>0.58	<0.01

Tabla 5.8: ANOVA multifactorial para las puntuaciones de la variable Conocimiento entre el iPhone y la clase tradicional. $N = 38$.

Además, el conocimiento percibido por los niños se ajustaba a los resultados anteriores. En una escala de 1 a 5, la puntuación otorgada a la pregunta: *¿Crees que has aprendido cosas nuevas?* (P12 del cuestionario Q2-iPhone y P8 del cuestionario Q2-TR) fue alta tanto después de usar el iPhone (4.79 ± 0.54) como después de asistir a la lección de clase (4.47 ± 0.61), y no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los métodos ($t[36]=1.69$, $p=0.10$, d de Cohen=0.55).

Otros aspectos considerados

Aparte de la variable Conocimiento, se creó una variable Satisfacción en la que se combinaban las respuestas de varias preguntas (las medias de las preguntas P7, P12, P16, y P19 de Q2-iPhone y las correspondientes P7-P10 de Q2-TR), la cual daba una medida del grado de diversión que los niños experimentaron con el juego. La puntuación global fue muy alta (4.69 ± 0.35), lo que indicaba la satisfacción de los niños con el juego y la lección de clase. Se usó un ANOVA multifactorial para analizar la variable Satisfacción. Los resultados del análisis (Tabla 5.9) muestran que había diferencias estadísticas significativas en el factor Método. El valor de p era 0.01. La Figura 5.9 muestra los diagramas de cajas de

las puntuaciones de la variable Satisfacción para cada método. En ella se pueden observar resultados más altos después de jugar con el iPhone. De este resultado se puede deducir que utilizar el juego aumentó la motivación para aprender.

Factor	gl.	F	p	η^2 parcial
Curso	1	1.18	0.22	0.02
Género	1	1.54	0.22	0.02
Método	1	8.01	0.01	0.11*
Interacciones	1	<3.07	>0.08	<0.04

Tabla 5.9: ANOVA multifactorial para la variable Satisfacción. El símbolo * indica diferencias estadísticas significativas. N = 38.

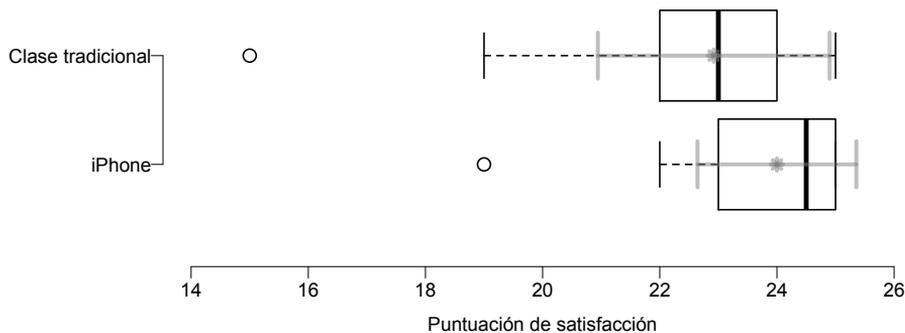


Figura 5.9: Puntuación de las preguntas de satisfacción con respecto a los métodos del iPhone y la clase tradicional. La media y desviación típica están representadas en gris.

También se analizaron las preguntas P7, P12, P16 y P19 de Q2-iPhone y P7-P10 de Q2-TR de forma individual. Se realizaron t-test para observar si existían diferencias estadísticas significativas entre los métodos estudiados. Como se muestra en la Tabla 5.10, el iPhone obtuvo resultados marginalmente superiores en todas las preguntas de satisfacción. Además, se encontraron diferencias estadísticas significativas en la pregunta P19 de Q2-iPhone y P10 de Q2-TR. En ella se puede observar que los niños otorgaron una puntuación significativamente más alta al método del iPhone que a la clase tradicional.

Pregunta (Q2-iPhone/Q2-TR)	P7/P7	P12/P8	P16/P9	P19/P10
iPhone (media±desv.típ.)	4.84±0.37	4.79±0.54	4.58±0.61	9.95±0.23
Tablet PC (media±desv.típ.)	4.58±0.51	4.47±0.61	4.21±0.92	9.32±0.89
t	1.82	1.69	1.46	3.01
p	0.08	0.10	0.15	<0.01*
d de Cohen	0.59	0.55	0.47	0.98

Tabla 5.10: T-tests de las preguntas P7, P12, P16, P19 de Q2-iPhone y P7-P10 de Q2-TR. El símbolo * indica diferencias estadísticas significativas; N = 38.

Otro indicio que denota si el juego fue satisfactorio es el deseo de continuar jugando (pregunta P13 de Q2-iPhone). Independientemente del grupo al que fueron asignados los niños, a todos les gustaría volver a jugar al juego para aprender sobre nuevos temas.

Con respecto a la diversión utilizando RA en el juego (preguntas P9 y P10 de Q2-iPhone), la puntuación global fue muy alta (4.58 ± 0.61 y 4.74 ± 0.45 para P9 y P10, respectivamente). También se analizó la pregunta P14 de Q2-iPhone para determinar si era fácil o no utilizar RA. La puntuación global también fue alta (4.26 ± 0.76), lo que significa que los niños encontraron los mini-juegos de RA fáciles de usar. También se estudió si el orden de juego afectó a la experiencia con RA. Se realizó un t-test con cada una de las tres preguntas relacionadas con RA. Los resultados mostraron que no había diferencias estadísticas significativas en la pregunta P9 ($t[36]=1.00$, $p=0.32$, d de Cohen= 0.32), en la P10 ($t[36]=1.68$, $p=0.10$, d de Cohen= 0.55), ni en la P14 ($t[36]=0.85$, $p=0.04$, d de Cohen= 0.28).

Para la pregunta F14 de Q2-iPhone y F5 de Q2-TR se realizó un test Chi cuadrado que reveló que la preferencia del iPhone o de la clase tradicional no era significativamente diferente entre los niños de los grupos A y B ($\chi^2[1, N=76]=1.45$, $p=0.23$, V de Cramer= 0.29). En la Figura 5.10 se puede observar gráficamente que el 100 % de los niños del grupo A y el 84.21 % de los niños del grupo B eligieron el iPhone. De este hecho se puede concluir que la gran mayoría de los niños prefirió el iPhone a la clase tradicional, independientemente del orden en que se utilizaron los métodos.

Con respecto a la interacción con el dispositivo, los niños pensaron que era más fácil tocar la pantalla (57.89 %) que usar el acelerómetro (42.11 %) (P15 de

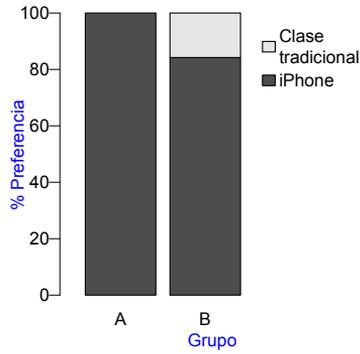


Figura 5.10: Preferencias del método en los grupos A y B.

Q2-iPhone).

La pregunta P11 evaluaba las preferencias de los distintos tipos de tecnología utilizados en los mini-juegos: RA, pantalla táctil y acelerómetro. Como se puede observar en la Figura 5.11, la RA fue la preferida, con una gran diferencia con respecto al resto de tecnologías.

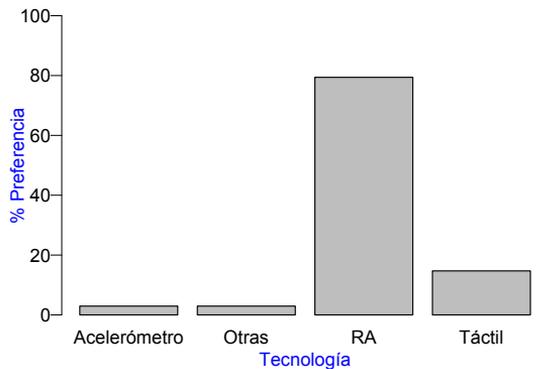


Figura 5.11: Preferencia del tipo de tecnología utilizado en los mini-juegos.

5.6.5 Conclusiones y trabajos futuros

Los mismos argumentos introductorios que se han expuesto en la Sección 5.5.5 son pertinentes en esta sección.

Conocimiento adquirido

Se realizó un estudio para determinar si los niños aprendían más después de jugar con el iPhone que asistiendo a la lección de clase. Los niños respondieron a las preguntas de los cuestionarios (Q1 y Q2-iPhone/Q2-TR). Los resultados mostraron que había diferencias estadísticas significativas entre antes y después de utilizar ambos métodos con respecto al conocimiento adquirido. Este hecho indica que los niños recordaron gran parte del conocimiento transmitido por el juego. Por esta razón, se puede afirmar que el juego del ciclo del agua es efectivo a la hora de transmitir el conocimiento a corto plazo. El juego del iPhone también obtuvo resultados más altos que los de la clase tradicional. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ambos métodos. En otras palabras, los niños obtuvieron un nivel similar de conocimientos independientemente del método utilizado. Este resultado corrobora la hipótesis: «Al jugar con el iPhone, éste produciría en los niños, como mínimo, resultados de aprendizaje equivalentes a los de la lección tradicional». Dicho resultado implica que los niños han adquirido conocimientos similares utilizando un método autónomo (juego del iPhone) así como con un método guiado (clase tradicional). Éste es un buen resultado, ya que significa que los niños pueden aprender en cualquier lugar y en cualquier momento fuera de un entorno formal de aprendizaje, sin requerir la presencia de una persona que los supervise. Cuando comparamos los resultados obtenidos con los de otros estudios en los que se han comparado videojuegos con métodos tradicionales, se pueden observar que hay una tendencia similar: no hay diferencias estadísticas significativas cuando se compara el grupo de control con el experimental, pero sí que existen diferencias estadísticas antes y después de utilizar el método de aprendizaje (Sandberg et al., 2011; Tuzun et al., 2009; Papastergiou, 2009; Hsu et al., 2008).

También se estudió si había diferencias estadísticas entre el conocimiento adquirido con respecto al género y curso. No se encontraron diferencias estadísticas significativas. Este resultado es parecido al obtenido por Papastergiou (Papastergiou, 2009), donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas con respecto al conocimiento adquirido entre los niños y las niñas. Éste es un buen resultado ya que significa que el juego es adecuado para los factores analizados, lo que permite que se pueda utilizar en más situaciones sin muchas

restricciones.

Motivación

Uno de los puntos fuertes de los juegos cuando se comparan con otros métodos educativos es la motivación que provoca en los estudiantes. La motivación, que siempre ha sido un tema importante en los métodos educativos, está asociada con el deseo de volver a participar en las actividades (Vernadakis et al., 2012). En este estudio, todos los niños indicaron que les gustaría volver a jugar con el iPhone. Con respecto a las preferencias, el 92.11 % de los niños prefirió la experiencia con el juego del iPhone a la lección de clase.

También se estudió si había diferencias estadísticas en la satisfacción con respecto al género, curso, y método. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los métodos a favor del juego del iPhone. Las razones por las que el juego del iPhone incrementó la motivación de los niños podrían deberse a: 1) En el juego, el personaje guía ofrece la información básica, la cual es necesaria para poder completar las tareas y avanzar en la aventura (Sykes, 2006); 2) el contenido del juego estaba relacionado con el plan de estudios por lo que los niños son capaces de aplicar lo que han aprendido en clase (Oblinger, 2004; Vernadakis et al., 2012); 3) el juego utiliza múltiples tecnologías que apoyan el aprendizaje experimental (Kiili, 2005; Vernadakis et al., 2012). La tecnología de RA también es un factor que podría haber mejorado la motivación y la diversión de los niños. La RA permite a los niños explorar lo que estudian desde diferentes perspectivas (Kerawalla et al., 2006), mejorando su experiencia de aprendizaje. A pesar de ser un buen resultado, se deberían llevar a cabo más estudios para determinar los beneficios y problemas de este tipo de tecnología.

Usabilidad

La usabilidad o la percepción de facilidad de uso se considera un factor importante que afecta a la efectividad del proceso educativo (Jones et al., 1999; Mayes & Fowler, 1999; Squires, 1999). Un sistema de aprendizaje con buena usabilidad ayuda a centrar la atención en el contenido (Sun et al., 2008). En este estudio, los niños consideraron el iPhone fácil de manejar, lo que implicaría que el juego del iPhone podría ayudar a los estudiantes a centrarse en su contenido.

Trabajos futuros

Este capítulo se centra en el desarrollo y validación de un juego para aprender el ciclo del agua para iPhone. Los trabajos futuros incluidos en el primer estu-

dio comparativo, Sección [5.5.5](#), son totalmente extrapolables para este segundo estudio.



6 CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones generales y las extraídas de cada uno de los estudios llevados a cabo en esta tesis. Además, se presentan los posibles trabajos futuros y publicaciones derivadas de la misma.

6.1 Conclusiones

En esta tesis se han desarrollado juegos que combinan RA y no-RA, y distintas formas de interacción (tangible, pantalla táctil y acelerómetro). Dichos juegos han utilizado diferentes dispositivos móviles (Nokia N95 8Gb, iPhone) y se han comparado con otros métodos o dispositivos (juegos tradicionales, Tablet PC). La Tabla 6.1 muestra un resumen de los estudios realizados y sus características más relevantes. Se ha desarrollado un juego de RA individual con sus versiones colaborativa y competitiva en el teléfono móvil, Nokia N95 8Gb, para concienciar a los usuarios acerca del problema del cambio climático y de cómo las personas pueden reducir su impacto ambiental mediante el reciclaje. En el estudio de «ARGreenet vs. BasicGreenet» se han comparado dos métodos distintos, el videojuego de reciclaje con RA y el mismo videojuego sin RA. En «ARGreenet vs. TeamARGreenet» se ha comparado una versión individual con una colaborativa. En el estudio de «Básico vs. Colaborativo vs. Competitivo» se ha comparado una versión individual del juego de reciclaje con una colaborativa (diferente de TeamARGreenet) y otra competitiva. También se ha desarrollado un juego para el iPhone sobre multiculturalidad para aprender sobre los monumentos, alimentos, y animales típicos de los continentes más pobres del mundo. En este estudio se ha comparado dicho juego con una versión equivalente con juegos tradicionales. Por último, se ha desarrollado, también para el iPhone, otro juego sobre el ciclo del agua para reforzar el conocimiento adquirido sobre este tema en clase. En este estudio se ha comparado el mismo juego ejecutado en dos dispositivos diferentes (iPhone vs. Tablet PC). También se ha comparado el juego del iPhone con una clase tradicional.

Hasta el momento, las experiencias para el aprendizaje basado en juegos con dispositivos móviles han sido limitadas (Lavin-Mera et al., 2008). Los estudios previos realizados por otros autores se han centrado más en aspectos de motivación que en resultados de aprendizaje (Papastergiou, 2009). Además, suelen centrarse en adultos o adolescentes. La tecnología móvil, los videojuegos educativos, y la RA no se utilizan de forma generalizada en los colegios (Klopfer et

Estudios	Individual	Colaborativo	Competitivo	Distintos dispositivos	Distintos métodos
ARGreenet vs. BasicGreenet	x				x
ARGreenet vs. TeamARGreenet	x	x			x
Individual vs. Colaborativo vs. Competitivo	x	x	x		x
Multiculturalidad (iPhone vs. juegos tradicionales)		x			x
Ciclo del agua (iPhone vs. Tablet PC)	x			x	
Ciclo del agua (iPhone vs. clase tradicional)	x				x

Tabla 6.1: Resumen de los distintos estudios realizados.

al., 2012).

Se han cumplido todos los objetivos. Se han desarrollado y validado los juegos propuestos. Mediante los estudios realizados, se ha comprobado que los niños han aprendido sobre las temáticas seleccionadas. Además, los juegos han influido de forma positiva sobre el comportamiento de los niños. Se han utilizado varios dispositivos y métodos. Se ha conseguido que todos los juegos funcionen a una velocidad en la que no se perciban retrasos visuales.

A continuación, se detallan las principales conclusiones de cada estudio:

- **ARGreenet:** De los tres estudios realizados con ARGreenet podemos concluir que el uso de la RA en los juegos no sólo no dificulta la experiencia de los niños, sino que facilita la interacción. El uso de la RA también mantiene motivados a los niños. Esto se debe a que la RA es una tecnología relativamente nueva para ellos, lo que hace que se sorprendan al ver y utilizar aplicaciones que hagan uso de ella. A pesar del hecho de que con ARGreenet y BasicGreenet se han utilizado diferentes tecnologías, ambos juegos han demostrado su potencial en los aspectos analizados. Respecto a las diferentes versiones utilizadas (colaborativas y competitivas), se ha comprobado que las tres versiones del juego han influido de forma similar. A pesar de estos resultados, la versión competitiva ha sido la preferida (71.43 %). Aunque no ha habido diferencias estadísticas significativas, los niños pensaron que esta versión era más divertida y que el enfrentarse a

otros niños les exigía más a la hora de jugar.

- **Multiculturalidad:** Tanto el juego desarrollado para el iPhone como los juegos tradicionales han transmitido la misma información a los niños. Del estudio se puede concluir que el juego desarrollado ha demostrado ser igual de válido que los juegos tradicionales con respecto al aprendizaje adquirido. Del estudio también podemos concluir que los sistemas autónomos como el juego del iPhone son válidos ya que los niños pueden adquirir conocimientos de forma similar a como lo harían en clase. El juego ha conseguido motivar y divertir a los niños. En nuestra opinión, la RA ha podido ser un factor que ha mejorado la motivación y la diversión. Además, el juego ha sido fácil de usar. Al iPhone se le acopló una carcasa exterior que ha demostrado ser de ayuda para los niños, dado que les ha facilitado manejar el dispositivo a la hora de enfocar con la cámara.
- **Ciclo del agua:** Se han realizado dos estudios en los que se ha comparado el juego con distintos dispositivos (Tablet PC vs. iPhone) y con distintos métodos (iPhone vs. clase tradicional). Del primer estudio (Tablet PC vs. iPhone) se puede concluir que el uso de dispositivos con diferentes características (tamaño de la pantalla y peso) no ha afectado el aprendizaje adquirido. Los niños aprendieron nuevos conocimientos después de utilizar el juego. Estas conclusiones nos permiten afirmar que la experiencia con el juego ha sido similar con los dos dispositivos. Del segundo estudio se puede concluir que el juego ha demostrado ser igual de válido que una lección de clase tradicional con respecto al aprendizaje adquirido, con la diferencia de que ha conseguido motivar más a los niños.

De los estudios realizados se pueden extraer las siguientes conclusiones generales:

- Los juegos educativos que combinan RA y no-RA, y distintas formas de interacción, han demostrado ser una herramienta fiable y eficaz a la hora de transmitir conocimientos y motivar a los niños. Además, permiten aprender sin requerir la presencia de una persona que los supervise.
- La inclusión de RA en el juego permite a los niños explorar lo que se está aprendiendo desde diferentes perspectivas (Kerawalla et al., 2006) de manera fácil e intuitiva. Además de ser un elemento motivador, ya que a la mayoría de los niños les gustaría utilizar RA en clase como herramienta de aprendizaje.

- Los dispositivos móviles poseen características únicas (cámara, pantalla táctil, acelerómetro, GPS). Además, permiten a los niños aprender en cualquier lugar y en cualquier momento. Su menor precio con respecto a los ordenadores y otros dispositivos, junto con las características mencionadas, convierte a los dispositivos móviles en serios candidatos a convertirse en herramientas que permitan ayudar a los profesores con sus clases.
- El uso de dispositivos móviles con diferentes características físicas no influye significativamente en el aprendizaje adquirido.
- Los modos de juego individual, colaborativo, o competitivo no influyen en el aprendizaje percibido, ni en la motivación de los niños de forma significativa.
- Los juegos desarrollados y los dispositivos utilizados han demostrado ser igual de eficaces tanto para niños como para niñas.

6.2 Trabajos futuros

Para cada uno de los desarrollos presentados en esta tesis (Secciones 3.7, 4.8, 5.5.5), se han mencionado posibles trabajos futuros. A continuación, únicamente se incluyen posibles trabajos futuros generales para dichos desarrollos:

- Utilizar el propio dispositivo para comprobar los conocimientos adquiridos.
- Para las preguntas subjetivas, rellenar los cuestionarios *on-line*.
- Añadir un modo multijugador para comparar la jugabilidad y el aprendizaje entre los diferentes modos.
- Añadir adaptabilidad a los juegos, permitiendo que el juego se adapte al nivel de conocimientos del estudiante.
- Otra posibilidad relacionada con la personalización es que el profesor sea quien establezca la dificultad del juego.
- Los estudios realizados se centran en determinar si los niños adquieren conocimiento a corto plazo. Un posible trabajo sería comprobar el aprendizaje a largo plazo.

- En las evaluaciones realizadas, los niños son conscientes de que participan en un estudio y, por tanto, es posible que estén realizando esfuerzos especiales para realizar la tarea lo mejor posible. Este hecho se conoce como el efecto *Hawthorne* (Franke & Kaul, 1978), el cual consiste en la posible alteración del comportamiento de los participantes cuando éstos saben que van a ser evaluados. Por lo tanto, un posible trabajo futuro sería realizar una validación en donde los sujetos no sepan que están participando en un estudio.
- Los juegos se han validado con niños, pero se podrían adaptar los contenidos para adolescentes o adultos, y llevar a cabo distintas validaciones.

6.3 Publicaciones

A pesar de que las publicaciones derivadas de esta tesis ya han sido enumeradas y citadas en los capítulos correspondientes, en esta sección se presenta una lista completa según su relevancia.

Publicaciones en revistas indexadas JCR:

- Furió, D., González-Gancedo, S., Juan, M.-C., Seguí, I. & Rando, N. (2013b). Evaluation of learning outcomes using an educational iPhone game vs. traditional game. *Computers & Education*, 64, 1-23. Factor de impacto=2.775 (primer cuartil en la categoría Computer Science, Interdisciplinary Applications).
- Furió, D., González-Gancedo, S., Juan, M.-C., Seguí, I. & Costa, M. (2013a). The effects of the size and weight of a mobile device on an educational game. *Computers & Education*, 64, 24-41. Factor de impacto=2.775 (primer cuartil en la categoría Computer Science, Interdisciplinary Applications).
- Furió, D., Juan, M.-C., Torres, E. & Seguí, I. (-). Mobile learning vs. traditional classroom lessons. A comparative study. *Journal of Computer Assisted Learning*. Factor de impacto=1.632 (primer cuartil en la categoría Education & educational research). Aceptado con cambios.

Publicaciones en conferencias indexadas en CORE/ERA:

- Furió, D., Juan, M. C., Seguí, I., Vicent, M. J. & Abad, F. (2013c). Comparing touch and tilt interaction using an iPhone game for children. En

International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 2013) (pp. 389-392). (CORE/ERA A).

- Juan, M. C., Furió, D., Alem, L., Ashworth, P. & Cano, J. (2011b). AR-Greenet and BasicGreenet: Two mobile games for learning how to recycle. En *19th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2011 (WSCG 2011)* (pp. 25-32). (CORE/ERA B).

Capítulos de libro:

- Juan, M. C., Furió, D., Alem, L., Ashworth, P. & Giménez, M. (2011c). An Augmented Reality Library for Mobile Phones and its Application for Recycling. En *Open Source Mobile Learning : Mobile Linux Applications* (Cap. 9, pp. 124-139). IGI Global.
- Alem, L., Furió, D., Juan, M. C. & Ashworth, P. (2011). Effect of collaboration and competition in an augmented reality mobile game. En *Recent trends of mobile collaborative augmented reality systems* (pp. 109-116). Springer.

Conferencias no indexadas:

- Furió, D., Juan, M. C., Seguí, I., Rando, N. & Cano, J. (2011). Lessons learnt from an experience with an augmented reality iPhone learning game. En *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2011)* (Vol. 52, pp. 1-8).
- Juan, M. C., Furió, D., Giménez, M., Mollá, R., Vicent, M. J. & Vivó, R. (2008c). Edutainment games included as activities in the Summer School of the Technical University of Valencia. En *GAME-ON 2008 – 9th International Conference on Intelligent Games and Simulation* (pp. 147-151).
- Juan, M. C., Furió, D., Cano, J., Abad, F. & LLuch, J. (2010a). Aprender con seis juegos de realidad aumentada. En *XX Congreso Español de Informática Gráfica (CEIG'2010)* (pp. 265-268).
- Furió, D., Juan, M. C., Alem, L., Ashworth, P. & Cano, J. (2012). Evaluating three versions of an augmented reality mobile game about recycling. En *XXII Congreso Español de Informática Gráfica (CEIG'2012)* (pp. 157-157).



6B CONCLUSIONS (ENGLISH VERSION)

In this chapter, we present both the general conclusions and the specific ones from each study carried out in this thesis. Furthermore, we also present future works.

6B.1 Conclusions

In this thesis, we have developed games that combine AR and non-AR, and different forms of interaction (tangible, tactile screen, and tilting). These games used different mobile devices (Nokia N95 8Gb, iPhone) and were compared to other methods or devices (traditional games, Tablet PC). Table 6B.1 shows a summary of the studies carried out and their more relevant features. An individual AR game was developed with its collaborative and competitive versions for the Nokia N95 8Gb. The game tried to make people aware of the climate change problem and how they can reduce their footprint by recycling. In the “ARGreenet vs. BasicGreenet” study, we compared two different methods: a recycling game with AR and a version of the same game without AR. In the “ARGreenet vs. TeamARGreenet” study, we compared an individual version with a collaborative version. In the “Basic vs. Collaborative vs. Competitive” study, we compared an individual version, a collaborative version (different form TeamARGreenet), and a competitive version with each other. We also developed a game about multiculturalism for the iPhone in order to help the children learn about the monuments, food, and typical animals from the poorest continents of the world. In this study, we compared the iPhone game to an equivalent version with traditional games. Last, we developed another iPhone game about the water cycle in order to reinforce the acquired knowledge about this subject in classrooms. In this study, we compared the same game running on two different devices (iPhone vs Tablet PC). We also compared the iPhone with a traditional classroom lesson.

Until now, the experiences for game-based learning with mobile devices have been limited (Lavin-Mera et al., 2008). The previous studies carried out by other authors have been more focused on aspects like motivation than on learning outcomes (Papastergiou, 2009). Moreover, they are usually tested on adults or adolescents. Mobile technology, educational games, and AR are not in common usage in schools (Klopfer et al., 2012).

We have achieved all the objectives. We have developed and validated the

Studies	Individual	Collaborative	Competitive	Different devices	Different methods
ARGreenet vs. BasicGreenet	x				x
ARGreenet vs. TeamARGreenet	x	x			x
Individual vs. Collaborative vs. Competitive	x	x	x		x
Multiculturalism (iPhone vs. traditional games)		x			x
Water cycle (iPhone vs. Tablet PC)	x			x	
Water cycle (iPhone vs. traditional classroom)	x				x

Table 6B.1: Summary of the studies carried out.

proposed games. From the studies carried out, we have verified that the children have learned about the chosen subjects. In addition, the games have influenced the behavior of the children in a positive way. We have used different devices and methods. All the games have run at a speed at which no visual delays are perceived.

Below, we detail the main conclusion obtained from each study:

- ARGreenet:** From the three studies carried out with ARGreenet, we can conclude that the use of AR in the games does not complicate the experience, but it does makes the interaction easier. The use of AR also keeps children motivated. Since the AR technology is fairly new to them, the children get surprised when they see or use applications that utilize AR. Despite the fact that ARGreenet and BasicGreenet use different technologies, both games have proven their potential for the aspects analyzed. With regard to the different versions used (collaborative and competitive), we have proven that the three versions of the game influenced the children in a similar way. Despite these results, the children clearly preferred the competitive version (71.43%). Even though there were no significant statistical differences, the children thought that this version was the most fun. They also thought that competing with other children brought out the best in them when they were playing.

- **Multiculturalism:** The iPhone game as well as the traditional games transmitted the same information to the children. From the study, we can conclude that the game developed has proven to be just as effective as the traditional games with respect to the acquired knowledge. We can also conclude that autonomous systems like the iPhone game are good for learning since children can acquire knowledge in a way similar to the way they do in classrooms. The game managed to motivate and engage the children. In our opinion, AR could have been a factor that improved the motivation and engagement. Moreover, the game was easy to use. An external case was attached to the iPhone. This case helped the children, since they could handle the device better when they were focusing the markers with the iPhone camera.
- **Water cycle:** Two studies were performed in which we compared the game with different devices (Tablet PC vs. iPhone) and with different methods (iPhone vs. traditional classroom). From the first study (Tablet PC vs. iPhone), we can conclude that the use of devices with different features (size of the screen and weight) does not affect the acquired knowledge. The children did acquire new knowledge after playing the game. With these conclusions, we can affirm that the experience with the game was similar with the two devices. From the second study we can conclude that the game has proven to be just as good for acquiring knowledge as a traditional classroom, with the difference that the iPhone game motivates the children more.

From the studies carried out, we can extract the following general conclusions:

- The educational games that combine AR and non-AR mini-games, and the different forms of interaction, have proven to be a reliable and effective tool when transmitting knowledge and motivating children. In addition, with these kind of games, children can learn without requiring the presence of a person to supervise them.
- The inclusion of AR in a game allows children to explore what they are learning from different perspectives (Kerawalla et al., 2006) in an easy and intuitive way. In addition, it is a motivating element since most of the children would like to use AR in classroom as a learning tool.
- Since mobile devices have unique features (camera, tactile screen, accelerometer, GPS), children can learn anywhere and at any time with these

devices. Their lower price with respect to computers and other devices (together with the aforementioned features) makes these mobile devices serious candidates for becoming tools that could help teachers with their lessons.

- The use of mobile devices with different physical characteristics does not influence the acquired knowledge in a significant way.
- The individual, collaborative, and competitive modes do not influence the children's perceived knowledge or their motivation in a significant way.
- The games developed and the devices used have proven to be equally effective for both boys and girls.

6B.2 Future work

For each of the works presented in this thesis (Sections 3.7, 4.8, 5.5.5), we have mentioned possible future lines of research. Below, we present more general suggestions for future works:

- Use the device itself to check the acquired knowledge.
- For the subjective questions, fill out the questionnaires on-line.
- Add a multiplayer mode to compare the gameplay and the learning between the different modes.
- Add adaptability to the games, making the game adapt to the level of knowledge of the child.
- Another possibility that is related to customization is that the teacher be the one to establish the game difficulty.
- The studies carried out are focused on determining whether the children acquire knowledge in the short-term. A possible future work would be to evaluate learning in the long-term.
- In the evaluation done, the children were aware that they were participating in a study, and it is possible that they were making special efforts to carry out the task in the best possible way. This is known as the Hawthorne effect (Franke & Kaul, 1978), which consists in the possible

alteration of the participants' behavior when they know they are going to be evaluated. Thus, a possible future work would be to carry out a validation in which the subjects do not know they are being studied.

- The games have been validated with children, but the contents could be adapted for adolescents or adults. Thus, other validations could be performed.

6B.3 Publications

Even though we have cited the publications related to this thesis in the corresponding chapters, in this section, we present a complete list according to their relevance:

Publications in JCR-indexed journals:

- Furió, D., González-Gancedo, S., Juan, M.-C., Seguí, I. & Rando, N. (2013b). Evaluation of learning outcomes using an educational iPhone game vs. traditional game. *Computers & Education*, 64, 1-23. Impact factor=2.775 (first quartile in the category of Computer Science, Interdisciplinary Applications).
- Furió, D., González-Gancedo, S., Juan, M.-C., Seguí, I. & Costa, M. (2013a). The effects of the size and weight of a mobile device on an educational game. *Computers & Education*, 64, 24-41. Impact factor=2.775 (first quartile in the category of Computer Science, Interdisciplinary Applications).
- Furió, D., Juan, M.-C., Torres, E. & Seguí, I. (-). Mobile learning vs. traditional classroom lessons. A comparative study. *Journal of Computer Assisted Learning*. Impact factor=1.632 (first quartile in the category of Education & educational research). Accepted with changes.

Publications in CORE/ERA-indexed conferences:

- Furió, D., Juan, M. C., Seguí, I., Vicent, M. J. & Abad, F. (2013c). Comparing touch and tilt interaction using an iPhone game for children. In *International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 2013)* (pp. 389-392). (CORE/ERA A).

- Juan, M. C., Furió, D., Alem, L., Ashworth, P. & Cano, J. (2011b). AR-Greenet and BasicGreenet: Two mobile games for learning how to recycle. In *19th International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2011 (WSCG 2011)* (pp. 25-32). (CORE/ERA B).

Book chapters:

- Juan, M. C., Furió, D., Alem, L., Ashworth, P. & Giménez, M. (2011c). An Augmented Reality Library for Mobile Phones and its Application for Recycling. In *Open Source Mobile Learning : Mobile Linux Applications* (Cap. 9, pp. 124-139). IGI Global.
- Alem, L., Furió, D., Juan, M. C. & Ashworth, P. (2011). Effect of collaboration and competition in an augmented reality mobile game. In *Recent trends of mobile collaborative augmented reality systems* (pp. 109-116). Springer.

Non-indexed conferences:

- Furió, D., Juan, M. C., Seguí, I., Rando, N. & Cano, J. (2011). Lessons learnt from an experience with an augmented reality iPhone learning game. In *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2011)* (Vol. 52, pp. 1-8).
- Juan, M. C., Furió, D., Giménez, M., Mollá, R., Vicent, M. J. & Vivó, R. (2008c). Edutainment games included as activities in the Summer School of the Technical University of Valencia. En *GAME-ON 2008 – 9th International Conference on Intelligent Games and Simulation* (pp. 147-151).
- Juan, M. C., Furió, D., Cano, J., Abad, F. & LLuch, J. (2010a). Aprender con seis juegos de realidad aumentada. En *XX Congreso Español de Informática Gráfica (CEIG'2010)* (pp. 265-268).
- Furió, D., Juan, M. C., Alem, L., Ashworth, P. & Cano, J. (2012). Evaluating three versions of an augmented reality mobile game about recycling. En *XXII Congreso Español de Informática Gráfica (CEIG'2012)* (pp. 157-157).



BIBLIOGRAFÍA

- Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behaviour. *Organisational Behaviour and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211. (Citado en página 52).
- Ajzen, I. (2010). Constructing a theory of planned behavior questionnaire. *Bio-feedback and selfregulation*, 17(3), 1-7. (Citado en página 52).
- Ajzen, I. & Fishbein, M. (1980). Understanding attitudes and predicting social behavior. *EnglewoodCliffs NY Prentice Hall*, 278. (Citado en página 52).
- Alavi, M. & Leidner, D. E. (2001). Research commentary: Technology-mediated learning - A call for greater depth and breadth of research. *Information Systems Research*, 12(1), 1-10. (Citado en página 132).
- Albert, D. & Mori, T. (2001). Contributions of Cognitive Psychology to the Future of e-Learning. *Bulletin of the Graduate School of Education Hiroshima University Part I Learning and Curriculum Development*, 50, 25-34. (Citado en página 1).
- Ardito, C., Costabile, M. F., Lanzilotti, R. & Pederson, T. (2007). Making dead history come alive through mobile game-play. *CHI 07 extended abstracts on Human factors in computing systems*, 2249. (Citado en páginas 4, 60).
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Media*, 6(4), 355-385. (Citado en página 8).
- Bakeman, R. (2005). Recommended effect size statistics for repeated measures designs. *Behavior Research Methods*, 37(3), 379-384. (Citado en página 150).
- Balog, A., Pribeanu, C. & Iordache, D. (2007). Augmented Reality in Schools: Preliminary Evaluation Results from a Summer School. *International Journal of Human and Social Sciences*, 2(3), 114-117. (Citado en página 12).
- Beck, J. C. & Wade, M. (2004). *Got Game: How the Gamer Generation Is Reshaping Business Forever*. Harvard Business Press. (Citado en página 1).
- Beck, J. C. & Wade, M. (2006). *The Kids are Alright: How the Gamer Generation is Changing the Workplace*. Harvard Business Review Press; 1 edition. (Citado en páginas 1, 153).
- Bekebrede, G., Warmelink, H. J. G. & Mayer, I. S. (2011). Reviewing the need for gaming in education to accommodate the net generation. *Computers & Education*, 57(2), 1521-1529. (Citado en página 1).
- Billinghurst, M. (2002). Augmented Reality in Education. *Environments*, 9(1), 339-342. (Citado en página 4).

- Billinghamurst, M., Kato, H. & Poupyrev, I. (2001). The MagicBook: Moving Seamlessly between Reality and Virtuality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(3), 6-8. (Citado en páginas 4, 60).
- Blecic, I., Cecchini, A., Rizzi, P. & Trunfio, G. A. (2002). Playing with Automata. An Innovative Perspective for Gaming Simulation. *Proceedings of the 5th International Conference on Cellular Automata for Research and Industry*, 337-348. (Citado en página 1).
- Bobick, A. F., Intille, S. S., Davis, J. W., Baird, F., Pinhanez, C. S., Campbell, L. W., Ivanov, Y. A., Schutte, A. & Wilson, A. (1999). The KidsRoom: A Perceptually-Based Interactive and Immersive Story Environment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(4), 369-393. (Citado en página 24).
- Chang, C.-W., Lee, J.-H., Wang, C.-Y. & Chen, G.-D. (2010). Improving the authentic learning experience by integrating robots into the mixed-reality environment. *Computers & Education*, 55(4), 1572-1578. (Citado en página 13).
- Chen, Y.-C. (2006). A study of comparing the use of augmented reality and physical models in chemistry education. En *Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications* (pp. 369-372). (Citado en páginas 11, 12).
- Connolly, T. M., Stansfield, M. & Hainey, T. (2007). An application of games-based learning within software engineering. *British Journal of Educational Technology*, 38(3), 416-428. (Citado en páginas 2, 134).
- Connolly, T. M., Stansfield, M. & Hainey, T. (2011). An alternate reality game for language learning: ARGuing for multilingual motivation. *Computers & Education*, 57(1), 1389-1415. (Citado en página 14).
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*. Lecture Notes in Computer Science, 13(3), 319-340. (Citado en página 135).
- De Freitas, S. (2006). Learning in Immersive worlds: A review of game-based learning. JISC e-Learning Programme. Fecha de último acceso: 10-03-2013, http://www.jisc.ac.uk/media/documents/programmes/elearninginnovation/gamingreport%5C_v3.pdf. (Citado en página 2)
- De Vicente, A. & Pain, H. (2002). Informing the Detection of the Students' Motivational State: an Empirical Study. En *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 933-943). (Citado en página 134).
- Díaz, A., Merino, P. & Rivas, F. J. (2005). Análisis de Symbian OS para desarrollar aplicaciones distribuidas sobre terminales GPRS. En *Actas de las XIII*

- Jornadas de Concurrencia y Sistemas Distribuidos* (pp. 259-269). (Citado en páginas 31, 32).
- Dickey, M. D. (2005). Engaging by design: How engagement strategies in popular computer and video games can inform instructional design. *Educational Technology Research & Development*, 53(2), 67-83. (Citado en página 90).
- Earnshaw, R. (2011). From E-Learning to M-Learning - the use of Mixed Reality Games as a new Educational Paradigm. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 5(2), 17-25. (Citado en página 3).
- Ebner, M. & Holzinger, A. (2007). Successful implementation of user-centered game based learning in higher education: An example from civil engineering. *Computers & Education*, 49(3), 873-890. (Citado en páginas 18, 133).
- Facer, K., Joiner, R., Stanton, D., Reid, J., Hull, R. & Kirk, D. (2004). Savannah: mobile gaming and learning? *Journal of Computer Assisted Learning*, 20(6), 399-409. (Citado en página 3).
- Fassbender, E., Richards, D., Bilgin, A., Thompson, W. F. & Heiden, W. (2012). VirSchool: The effect of background music and immersive display systems on memory for facts learned in an educational virtual environment. *Computers & Education*, 58(1), 490-500. (Citado en páginas 16, 17).
- Fisch, S. M. (2005). Making educational computer games “educational”. En *Proceeding of the 2005 conference on Interaction Design and Children (IDC 05)* (1, pp. 56-61). (Citado en páginas 2, 151).
- Fowers, B. J. & Davidov, B. J. (2006). The virtue of multiculturalism: personal transformation, character, and openness to the other. *American Psychologist*, 61(6), 581-594. (Citado en página 81).
- Franke, R. H. & Kaul, J. D. (1978). The Hawthorne Experiments: First Statistical Interpretation. *American Sociological Review*, 43(5), 623-643. (Citado en páginas 173, 178).
- Freitas, R. & Campos, P. (2008). SMART: a System of Augmented Reality for Teaching 2nd grade students. En *Proceedings of the 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers Culture Creativity Interaction* (Vol. 2, pp. 27-30). (Citado en páginas 12, 13, 152).
- Fruend, J., Matysczok, C. & Radkowski, R. (2002). AR-based product design in automobile industry. *The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit*, 2. (Citado en página 26).
- Furmanski, C., Azuma, R. T. & Daily, M. (2002). Augmented-Reality Visualizations Guided by Cognition: Perceptual Heuristics for Combining Visible and Obscured Information. En *Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (p. 215). (Citado en página 23).

- Gardner, H. E. (1983). *Frames Of Mind: The Theory Of Multiple Intelligences*. New York: Basic Books. (Citado en página 88).
- Gardner, J. & Ashworth, P. (2008). Towards the intelligent grid: A review of the literature. En *Urban energy transition from fossil fuels to renewable power* (Cap. 12, pp. 283-307). (Citado en páginas 60, 67).
- Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. *Computers in Entertainment*, 1(1), 20-20. (Citado en página 1).
- Georgiev, T., Georgieva, E. & Smrikarov, A. (2004). M-Learning - a New Stage of E-Learning. En *Proceedings of the 5th international conference on Computer systems and technologies (CompSysTech '04)* (pp. 1-5). (Citado en página 3).
- Godwin, L. & Kaplan, S. (2008). Designing ee-Learning Environments: Lessons from an Online Workshop. *Innovate*, 4(4), n4. (Citado en página 88).
- Hainey, T., Connolly, T. M., Stansfield, M. & Boyle, E. A. (2011). Evaluation of a game to teach requirements collection and analysis in software engineering at tertiary education level. *Computers & Education*, 56(1), 21-35. (Citado en página 20).
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74. (Citado en páginas 150, 152).
- Hake, R. R. (2002). Lessons from the physics education reform effort. *Conservation Ecology*, 5(2), 28. (Citado en página 152).
- Hamidi, F., Kharamideh, Z. M. & Ghorbandordinejad, F. (2011). Comparison of the training effects of interactive multimedia (CDs) and non-interactive media (films) on increasing learning speed, accuracy and memorization in biological science course. *Procedia Computer Science*, 3, 144-148. (Citado en página 16).
- Hanratty, B. & Taggart, D. (2005). The Pushkin Trust: Experiential Learning and Children with Special Educational Needs. An Investigation. *Irish Educational Studies*, 24(2-3), 243-252. (Citado en páginas 88, 89).
- Healey, M. & Jenkins, A. (2000). Kolb's Experiential Learning Theory and Its Application in Geography in Higher Education. *Journal of Geography*, 99(5), 185-195. (Citado en página 89).
- Hedley, N. R., Billinghamurst, M., Postner, L., May, R. & Kato, H. (2002). Explorations in the use of augmented reality for geographic visualization. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(2), 119-133. (Citado en página 23).

- Henderson, S. J. & Feiner, S. K. (2007). Augmented Reality for Maintenance and Repair (ARMAR). Fecha de último acceso: 02-2012, <http://graphics.cs.columbia.edu/projects/armar/>. (Citado en página 28)
- Henrysson, A. & Billinghurst, M. (2007). Using a mobile phone for 6 DOF mesh editing. En *Proceedings of the 8th ACM SIGCHI New Zealand chapter's international conference on Computer-human interaction: design centered HCI (CHINZ '07)*. (pp. 9-16). (Citado en página 89).
- Herrington, A. (2009). Design principles for mobile learning. *Design*, 129-138. (Citado en página 89).
- Hicks, J., Systems, C., Flanagan, R. & Village, I. (2003). Eyekon: Distributed Augmented Reality for Soldier Teams. En *International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS'03)* (Vol. 0082, pp. 1-14). (Citado en página 26).
- Hollerer, T., Feiner, S. & Pavlik, J. (1999). Situated documentaries: embedding multimedia presentations in the real world. En *Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC '99)* (pp. 79-86). (Citado en página 23).
- Hsiao, K.-F. (2010). Can we combine learning with augmented reality physical activity. *Journal of CyberTherapy Rehabilitation*, 3(1), 51-62. (Citado en páginas 13, 14).
- Hsu, S.-H., Wu, P.-H. & Huang, Y.-M. (2008). Dog Detective - An Experience of Game-Based Ubiquitous Learning in Elementary School Science Experiment Class. En *Fifth IEEE International Conference on Wireless, Mobile, and Ubiquitous Technology in Education (WMUTE '08)* (pp. 231-233). (Citado en página 165).
- Huang, Y.-M., Lin, Y.-T. & Cheng, S.-C. (2010). Effectiveness of a Mobile Plant Learning System in a science curriculum in Taiwanese elementary education. *Computers & Education*, 54(1), 47-58. (Citado en página 11).
- Johnson, D. W. & Johnson, R. T. (1981). Effects of cooperative and individualistic learning experiences on interethnic interaction. *Journal of Educational Psychology*, 73(3), 444-449. (Citado en página 11).
- Jones, A., Scanlon, E., Tosunoglu, C., Morris, E., Ross, S., Butcher, P. & Greenberg, J. (1999). Contexts for evaluating educational software. *Interacting with Computers*, 11(5), 499-516. (Citado en páginas 60, 135, 166).
- Jones, L. C. (2006). Effects of Collaboration and Multimedia Annotations on Vocabulary Learning and Listening Comprehension. *CALICO Journal*, 24(1), 33-58. (Citado en página 11).
- Jones, V. & Jo, J. H. (2004). Ubiquitous learning environment: An adaptive teaching system using ubiquitous technology. En *Beyond the comfort zone:*

- Proceedings of the 21st ASCILITE Conference* (pp. 468-474). (Citado en páginas 3, 152).
- Juan, M. C., Alcañiz, M., Monserrat, C., Botella, C., Baños, R. M. & Guerrero, B. (2005). Using augmented reality to treat phobias. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(6), 31-37. (Citado en página 24).
- Juan, M. C., Baños, R., Botella, C., Pérez, D., Alcañiz, M. & Monserrat, C. (2006). An augmented reality system for the treatment of acrophobia: The sense of presence using immersive photography. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 15(4), 315-318. (Citado en páginas 24, 26).
- Juan, M. C., Beatrice, F. & Cano, J. (2008a). An Augmented Reality System for Learning the Interior of the Human Body. En *2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 186-188). (Citado en página 15).
- Juan, M. C. & Calatrava, J. (2011). An augmented reality system for the treatment of phobia to small animals viewed via an optical see-through HMD. Comparison with a similar system viewed via a video see-through. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 27(5), 436-449. (Citado en página 24).
- Juan, M. C., Canu, R. & Giménez, M. (2008b). Augmented Reality Interactive Storytelling Systems Using Tangible Cubes for Edutainment. En *2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 233-235). (Citado en página 15).
- Juan, M. C., Carrizo, M., Abad, F. & Giménez, M. (2011a). Using an Augmented Reality game to find matching pairs. En *The 19th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG'11)* (pp. 59-66). (Citado en página 21).
- Juan, M. C. & Joele, D. (2011). A comparative study of the sense of presence and anxiety in an invisible marker versus a marker augmented reality system for the treatment of phobia towards small animals. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(6), 440-453. (Citado en página 24).
- Juan, M. C., Llop, E., Abad, F. & Lluch, J. (2010b). Learning Words Using Augmented Reality. En *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT '10)* (pp. 422-426). (Citado en página 18).
- Juan, M. C. & Pérez, D. (2010). Using augmented and virtual reality for the development of acrophobic scenarios. Comparison of the levels of presence and anxiety. *Computers & Graphics*, 34(6), 756-766. (Citado en páginas 24, 26).

- Juan, M. C., Toffetti, G., Abad, F. & Cano, J. (2010c). Tangible Cubes Used as the User Interface in an Augmented Reality Game for Edutainment. En *Proceedings of the 2010 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT '10)* (pp. 599-603). (Citado en página 19).
- Kato, H. & Billinghurst, M. (1999). Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System. En *Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR '99)* (pp. 85-94). (Citado en página 35).
- Kato, H., Billinghurst, M., Poupyrev, I., Tetsutani, N. & Tachibana, K. (2001). Tangible Augmented Reality for Human Computer Interaction. En *The 17th Nicograph* (pp. 39-44). (Citado en página 90).
- Kebritchi, M. & Hirumi, A. (2008). Examining the pedagogical foundations of modern educational computer games. *Computers & Education*, 51(4), 1729-1743. (Citado en página 1).
- Kerawalla, L., Luckin, R., Seljeflot, S. & Woolard, A. (2006). Making it real: exploring the potential of Augmented Reality for teaching primary school science. *Virtual Reality*, 10(3-4), 163-174. (Citado en páginas 4, 132, 166, 171, 177).
- Ketamo, H. (2003a). An Adaptive Geometry Game for Handheld Devices. *Educational Technology & Society*, 6(1), 83-95. (Citado en páginas 10, 11).
- Ketamo, H. (2003b). xTask - an adaptable learning environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19(3), 360-370. (Citado en páginas 14, 15).
- Kezar, A. (2001). Theory of Multiple Intelligences: Implications for Higher Education. *Innovative Higher Education*, 26(2), 141-54. (Citado en página 88).
- Kiili, K. (2005). Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model. *The Internet and Higher Education*, 8(1), 13-24. (Citado en página 166).
- Klatzky, R. L., Wu, B., Shelton, D. & Stetten, G. (2008). Effectiveness of augmented-reality visualization versus cognitive mediation for learning actions in near space. *ACM Transactions on Applied Perception*, 5(1), 1-23. (Citado en página 15).
- Klopfer, E., Sheldon, J., Perry, J. & Chen, V. H.-H. (2012). Ubiquitous games for learning (UbiqGames): Weatherlings, a worked example. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(5), 465-476. (Citado en páginas 153, 169, 175).
- Koh, R. K. C., Duh, H. B. L. & Gu, J. G. J. (2010). An integrated design flow in user interface and interaction for enhancing mobile AR gaming experiences. En *Mixed and Augmented Reality - Arts, Media, and Humanities (ISMAR-AMH)* (pp. 47-52). (Citado en página 89).

- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. (Citado en página 88).
- Lavin-Mera, P., Moreno-Ger, P. & Fernandez-Manjon, B. (2008). Development of Educational Videogames in m-Learning Contexts. En *Proceedings of the 2008 Second IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning (DIGITEL '08)* (pp. 44-51). (Citado en páginas 153, 169, 175).
- Lee, E. A.-L., Wong, K. W. & Fung, C. C. (2010). How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach. *Computers & Education*, 55(4), 1424-1442. (Citado en página 132).
- Leemkuil, H. H. (2006). Is it all in the game? Learner support in an educational knowledge management simulation game. Ph.D. thesis, University of Twente. Fecha de último acceso: 08-01-2012, http://doc.utwente.nl/56172/1/thesis%5C_Leemkuil.pdf. (Citado en páginas 2, 18)
- Lewin, C. (1997). "Test driving" CARS: addressing the issues in the evaluation of computer-assisted reading software. *Journal of Computing in Childhood Education*, 8(2-3), 111-132. (Citado en página 2).
- Matsubara, Y. & Nagamachi, M. (1996). Motivation System and Human Model for Intelligent Tutoring. En *Proceedings of the Third International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS '96)* (pp. 139-147). (Citado en página 134).
- Mayes, J. T. & Fowler, C. J. (1999). Learning technology and usability: a framework for understanding courseware. *Interacting with Computers*, 11(5), 485-497. (Citado en páginas 60, 135, 166).
- Mayo, M. J. (2007). Games for science and engineering education. *Communications of the ACM*, 50(7), 30-35. (Citado en páginas 150, 151).
- Mcconatha, D., Praul, M., Chester, W. & Lynch, M. J. (2008). Mobile Learning in higher education: an empirical assessment of a new educational tool. *Educational Technology*, 7(3), 15-21. (Citado en página 3).
- McDonald, A. S. (2002). The impact of individual differences on the equivalence of computer-based and paper-and-pencil educational assessments. *Computers & Education*, 39(3), 299-312. (Citado en página 136).
- Merel, T. (2011). Global Video Games Investment Review. Fecha de último acceso: 02-2012, http://copenhagenentertainment.dk/fileadmin/user%5C_upload/Pdf/DigiCapital-Global-Video-Games-Investment-Review%5C_1%5C_%7B%7D.pdf. (Citado en página 3)

- Milgram, P. & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, *E77-D*(12), 1-15. (Citado en página 7).
- Oblinger, D. (2004). The next generation of educational engagement. *Journal of Interactive Media in Education*, *8*(8), 1-18. (Citado en página 166).
- Olejnik, S. & Algina, J. (2003). Generalized eta and omega squared statistics: measures of effect size for some common research designs. *Psychological Methods*, *8*(4), 434-447. (Citado en página 150).
- O'Neil, H., Wainess, R. & Baker, E. (2005). Classification of learning outcomes: evidence from the computer games literature. *Curriculum Journal*, *16*(4), 455-474. (Citado en página 2).
- Pan, Z. (2006). Editorial: Special issue on edutainment (E-learning and game). *Computers & Graphics*, *30*(1), 1-2. (Citado en página 2).
- Papagiannakis, G., Schertenleib, S., O'Kennedy, B., Arevalo-Poizat, M., Magnenat-Thalmann, N., Stoddart, A. & Thalmann, D. (2005). Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii. *Computer Animation And Virtual Worlds*, *16*(1), 11-24. (Citado en página 23).
- Papastergiou, M. (2009). Digital Game-Based Learning in high school Computer Science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers & Education*, *52*(1), 1-12. (Citado en páginas 134, 153, 165, 169, 175).
- Piekarski, W., Thomas, B. & Uake, A. R. Q. (2002). ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system. *Communications of the ACM*, *45*(1), 36-38. (Citado en página 24).
- Portalés, C. (2008). Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de València. Fecha de último acceso: 22-01-2012, <http://riunet.upv.es/handle/10251/3402>. (Citado en página 9)
- Price, S., Rogers, Y., Scaife, M., Stanton, D. & Neale, H. (2003). Using 'Tangibles' to promote novel forms of playful learning. *Interacting with Computers*, *15*(2), 169-185. (Citado en páginas 60, 134).
- Rapeepisarn, K., Wong, K. W., Fung, C. C. & Depickere, A. (2006). Similarities and differences between "learn to play" and "edutainment". En *Proceedings of the 3rd Australasian conference on Interactive Entertainment (IE '06)* (pp. 28-32). (Citado en página 1).
- Rigas, D. & Ayad, K. (2010). Using edutainment in e-learning application: an empirical study. *International Journal of Computers*, *4*(1), 1-8. (Citado en página 2).

- Rosas, R., Nussbaum, M., Cumsille, P., Marianov, V., Correa, M., Flores, P., Grau, V., Lagos, F., López, X., López, V., Rodriguez, P. & Salinas, M. (2003). Beyond Nintendo: design and assessment of educational video games for first and second grade students. *Computers & Education*, 40(1), 71-94. (Citado en páginas 132, 133).
- Ruchter, M., Klar, B. & Geiger, W. (2010). Comparing the effects of mobile computers and traditional approaches in environmental education. *Computers & Education*, 54(4), 1054-1067. (Citado en página 132).
- Sandberg, J., Maris, M. & De Geus, K. (2011). Mobile English learning: An evidence-based study with fifth graders. *Computers & Education*, 57(1), 1334-1347. (Citado en página 165).
- Sandor, C. & Klinker, G. (2005). A rapid prototyping software infrastructure for user interfaces in ubiquitous augmented reality. *Personal and Ubiquitous Computing*, 9(3), 169-185. (Citado en página 1).
- Shaffer, D. W., Squire, K. R., Halverson, R. & Gee, J. P. (2005). Video games and the future of learning. *Phi Delta Kappan*, 87(2), 104-111. (Citado en páginas 2, 10).
- Sharda, R., Romano, N. C., Lucca, J. A., Weiser, M., Scheets, G., Chung, J. M. & Slezzer, C. M. (2004). Foundation for the Study of Computer-Supported Collaborative Learning Requiring Immersive Presence. *Journal of Management Information Systems*, 20(4), 31-63. (Citado en página 132).
- Sharples, M., Corlett, D. & Westmancott, O. (2002). The Design and Implementation of a Mobile Learning Resource. *Personal and Ubiquitous Computing*, 6(3), 220-234. (Citado en página 2).
- Shelton, B. E. & Hedley, N. R. (2002). Using augmented reality for teaching Earth-Sun relationships to undergraduate geography students. En *The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit* (p. 8). (Citado en páginas 2, 4).
- Shelton, B. E. & Hedley, N. R. (2004). Exploring a Cognitive Basis for Learning Spatial Relationships with Augmented Reality. *Technology Instruction Cognition and Learning*, 1(4), 323-357. (Citado en página 4).
- Sielhorst, T., Obst, T., Burgkart, R., Riener, R. & Navab, N. (2004). An Augmented Reality Delivery Simulator for Medical Training. *Nature Medicine*, 7(6), 11-20. (Citado en página 24).
- Slater, M. & Usoh, M. (1994). Depth of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 3, 130-144. (Citado en página 59).

- Squire, K. (2002). Cultural framing of computer/video games, game studies. *The International Journal of Computer Game Research*, 1(2), 1-13. (Citado en página 2).
- Squire, K., Barnett, M., Grant, J. M. & Higginbotham, T. (2004). Electromagnetism supercharged!: learning physics with digital simulation games. En *Proceedings of the 6th international conference on Learning sciences* (pp. 513-520). (Citado en página 1).
- Squires, D. (1999). Usability and Educational Software Design: Special Issue of Interacting with Computers. *Interacting with Computers*, 11(5), 463-466. (Citado en páginas 60, 135, 166).
- Sun, P., Tsai, R., Finger, G., Chen, Y.-C. & Yeh, D. (2008). What drives a successful e-Learning? An empirical investigation of the critical factors influencing learner satisfaction. *Computers & Education*, 50(4), 1183-1202. (Citado en páginas 60, 135, 166).
- Sykes, J. (2006). Affective Gaming: Advancing the Argument for Game-Based Learning. En *Affective and Emotional Aspects of Human-Computer Interaction: Game-based and Innovative Learning Approaches: The Future of Learning* (pp. 3-7). (Citado en página 166).
- Tan, K. T. W., Lewis, E. M., Avis, N. J. & Withers, P. J. (2008). Using augmented reality to promote an understanding of materials science to school children. En *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 educators programme (SIGGRAPH Asia '08)* (pp. 1-8). (Citado en páginas 1, 3, 60).
- Taran, C. (2005). Motivation techniques in eLearning. En *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT '05)* (pp. 617-619). (Citado en página 1).
- Telner, D., Bujas-Bobanovic, M., Chan, D., Chester, B., Marlow, B., Meuser, J., Rothman, A. & Harvey, B. (2010). Game-based versus traditional case-based learning: comparing effectiveness in stroke continuing medical education. *Canadian family physician*, 56(9), 345-351. (Citado en página 133).
- Thornton, P. & Houser, C. (2005). Using mobile phones in English education in Japan. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21(3), 217-228. (Citado en página 3).
- Turgeon, W. (2005). Multiculturalism: Politics of Difference, Education and Philosophy for Children. *Analytic Teaching*, 24(2), 96-109. (Citado en página 81).
- Tuzun, H., Yilmazsoyly, M., Karakus, T., Inal, Y. & Kizilkaya, G. (2009). The effects of computer games on primary school students' achievement and motivation in geography learning. *Computers & Education*, 52(1), 68-77. (Citado en página 165).

- Unidas, N. (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Fecha de último acceso: 10-03-2013, <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>. (Citado en página 30)
- van Krevelen, D. W. F. & Poelman, R. (2010). A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1-20. (Citado en páginas 8, 10).
- Veenema, S. & Gardner, H. (1996). Multimedia and Multiple Intelligences. Fecha de último acceso: 10-03-2013, <http://howardgardner01.files.wordpress.com/2012/06/multimedia-and-multiple-intelligences2.pdf>. (Citado en página 1)
- Verkuyten, M. (2007). Social Psychology and Multiculturalism. *Social and Personality Psychology Compass*, 1(1), 280-297. (Citado en página 81).
- Vernadakis, N., Gioftsidou, A., Antoniou, P., Ioannidis, D. & Giannousi, M. (2012). The impact of Nintendo Wii to physical education students' balance compared to the traditional approaches. *Computers & Education*, 59(2), 196-205. (Citado en página 166).
- Virvou, M. & Katsionis, G. (2008). On the usability and likeability of virtual reality games for education: The case of VR-ENGAGE. *Computers & Education*, 50(1), 154-178. (Citado en página 134).
- Vitzthum, A. (2006). SSIML/AR: A Visual Language for the Abstract Specification of Augmented Reality User Interfaces. En *3D User Interfaces (3DUI06)* (pp. 135-142). (Citado en página 90).
- Wagner, D. & Schmalstieg, D. (2007). ARToolkitPlus for pose tracking on mobile devices. En *Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop* (pp. 139-146). (Citado en páginas 98, 99).
- Wichert, R. (2002). A Mobile Augmented Reality Environment for Collaborative Learning and Training. En *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education* (pp. 2386-2389). (Citado en página 24).
- Yang, Y.-T. C. (2012). Building virtual cities, inspiring intelligent citizens: Digital games for developing students' problem solving and learning motivation. *Computers & Education*, 59(2), 365-377. (Citado en páginas 21, 132, 133).

Apéndices

ARToolKit

En este apéndice se describe de forma detallada el proceso de *tracking* en tiempo real que utiliza ARToolKit para calcular la posición y orientación de la cámara. También se explica la creación de marcadores para ARToolKit.

A.1 Tracking

El proceso de *tracking* de ARToolKit funciona de la siguiente forma:

1. La cámara captura el mundo real y envía la información al dispositivo.
2. ARToolKit busca cuadrados negros en cada *frame* del vídeo.
3. Si se encuentra un cuadrado, ARToolKit utiliza algoritmos matemáticos para calcular la posición y orientación de la cámara en relación a los cuadrados negros.
4. Se aplican las transformaciones al objeto virtual.
5. El objeto se dibuja encima del vídeo y aparece sobre el marcador.
6. El resultado final se muestra por pantalla.

La Figura [A.1](#) muestra gráficamente los pasos realizados durante el *tracking*. ARToolKit realiza estas operaciones en tiempo real, lo que permite que los objetos virtuales aparezcan siempre sobre los marcadores.

A.2 Búsqueda de marcadores: Cálculo de la matriz de transformación

En este punto se describe el proceso mediante el cual la biblioteca ARToolKit es capaz de obtener el punto de vista del usuario mediante el cálculo de la matriz de transformación.

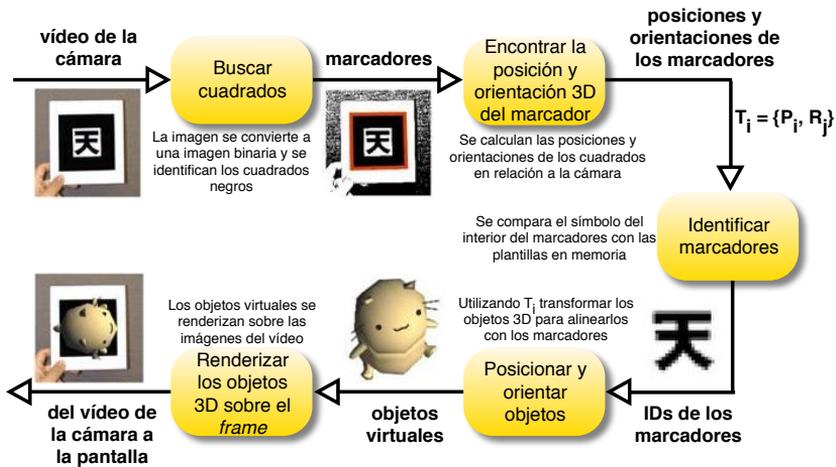


Figura A.1: Operaciones realizadas durante el *tracking* de ARToolKit.

Una de las labores más complicadas en el desarrollo de una aplicación de RA es, precisamente, el cálculo del punto de vista del usuario en tiempo real a la vez que los objetos virtuales aparecen perfectamente alineados con los objetos reales del mundo (figura A.2).

Al estar utilizando una cámara, se debe tener en cuenta el factor de distorsión producido por la lente de ésta y corregirlo (Figura A.3). ARToolKit ofrece, por defecto, un fichero de calibración de la cámara o bien un programa para obtener nuestra propia calibración. Mediante esta calibración realiza las operaciones para la corrección de dicha distorsión y obtener las coordenadas de la matriz para la cámara virtual, consiguiendo así dibujar los objetos correctamente alineados.

En los dispositivos móviles en los que la cámara está integrada, es muy probable que el programa que ofrece ARToolKit no detecte la cámara. Por lo tanto, si se quiere minimizar la distorsión se deberá realizar la calibración de forma manual.

A continuación, se explica el proceso que sigue la biblioteca para la estimación de la matriz de transformación. ARToolKit utiliza el tamaño que se introduce mediante el fichero de los marcadores previamente almacenados junto con la orientación y posición en la que se encuentran en la imagen, y calcula la matriz de transformación adecuada.

Mediante el análisis de la imagen se obtiene la matriz de transformación representada en (Ecuación A.1) para pasar de las coordenadas del patrón a las

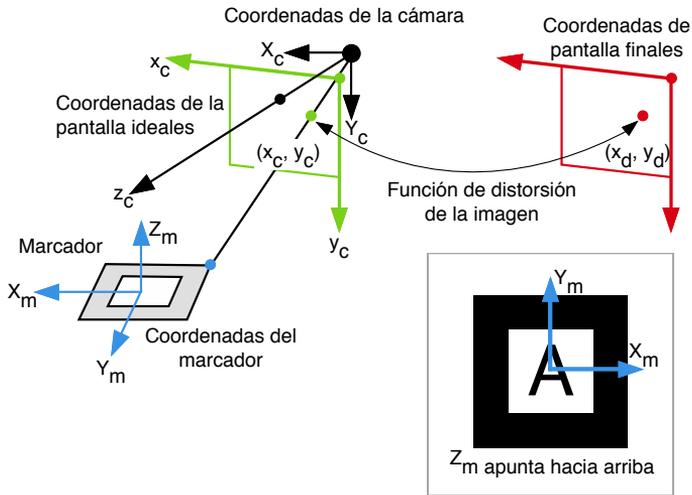


Figura A.2: Cálculo de la matriz de coordenadas de la cámara a partir de las coordenadas del patrón.

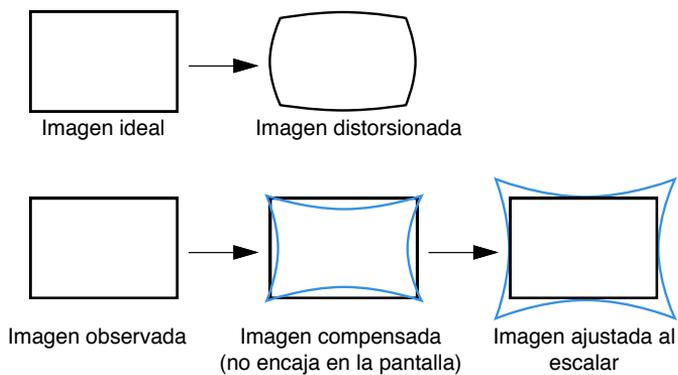


Figura A.3: Distorsión producida por la lente de la cámara y corrección de esta distorsión.

coordenadas de la cámara, T_{cm} (ver Figura A.4).

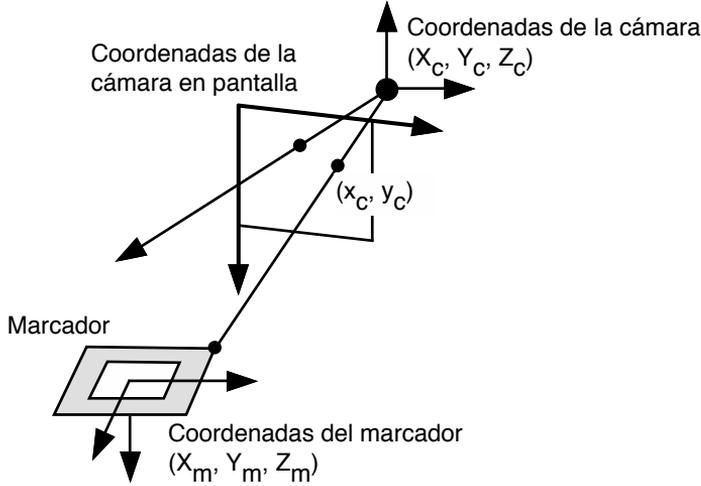


Figura A.4: Relación existente entre las coordenadas del patrón y las coordenadas de la cámara.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & W_x \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & W_x \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} & W_x \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{3x3} & W_{3x1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} = T_{cm} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} \tag{A.1}$$

Una vez realizado el proceso de umbralizado, se extraen las regiones cuyo contorno concuerda con cuatro segmentos. Las regiones se normalizan para ser comparadas con las plantillas almacenadas. Para este proceso de normalización se usa la transformación perspectiva (Ecuación A.2). Todas las variables de la matriz de transformación se determinan por substitución de las coordenadas de la pantalla y las coordenadas de los cuatro vértices del patrón encontrado por (x_c, y_c) y (X_m, Y_m) , respectivamente. Después, ya se puede realizar el proceso de normalización mediante esta matriz de transformación.

$$\begin{bmatrix} hX_c \\ hY_c \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & N_{13} \\ N_{21} & N_{22} & N_{23} \\ N_{31} & N_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ 1 \end{bmatrix} \tag{A.2}$$

Cuando se proyectan dos lados paralelos del cuadrado del patrón en la imagen, se obtienen las Ecuaciones A.3 y A.4 para esos segmentos en las coordenadas de la cámara en pantalla:

$$a_1x + b_1y + c_1 = 0 \tag{A.3}$$

$$a_2x + b_2y + c_2 = 0 \tag{A.4}$$

Para cada uno de los marcadores, se obtienen estos valores. Dados estos segmentos y la matriz de proyección perspectiva P (Ecuación A.5) que se consigue a partir de la calibración de la cámara, se obtiene mediante sustitución los planos que incluyen estos dos lados del marcador (Ecuaciones A.6 y A.7).

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} hX_c \\ hY_c \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \tag{A.5}$$

$$a_1P_{11}X_c + (a_1P_{12} + b_1P_{22})Y_c + (a_1 *_{13} + b_1P_{23} + c_1)Z_c = 0 \tag{A.6}$$

$$a_2P_{11}X_c + (a_2P_{12} + b_2P_{22})Y_c + (a_2 *_{13} + b_2P_{23} + c_2)Z_c = 0 \tag{A.7}$$

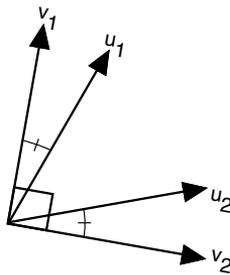


Figura A.5: Planos de los que se obtiene la dirección del vector intersección.

Dados estos dos planos, se obtiene la dirección del vector intersección formado por ambos mediante el producto de sus normales (ver figura A.5). Una vez calculados los dos vectores unitarios de dirección, se obtiene la componente de

rotación $V_{3 \times 3}$ en la matriz de transformación que quedaría especificada como $[V_1^t V_2^t V_3^t]$.

Una vez obtenidos estos valores, existen en realidad 8 ecuaciones, de las cuales se obtiene el valor que falta para la componente de traslación $W_{3 \times 1}$ $[W_x W_y W_z]$. Y por tanto, ARToolKit ya es capaz de obtener la matriz de transformación.

A.3 Calibración de la cámara

Hay dos posibilidades: mediante ARToolKit o de forma manual.

- **ARToolKit**

Las lentes de las cámaras introducen una distorsión que provoca una deformación en la imagen. Por este motivo se debe llevar a cabo un proceso de calibración de la cámara. Mediante este proceso se intenta corregir la distorsión introducida por la cámara. Para ello, ARToolKit proporciona un fichero denominado *camera_para.dat* que contiene los parámetros por defecto de la calibración. Estos parámetros son válidos para un amplio rango de cámaras. Sin embargo, si no se desea utilizar este fichero se puede generar un fichero de calibración mediante el programa *calib_camera2*. Para generar un fichero de calibración se necesita un patrón con 24 puntos, dispuestos en 6 columnas y 4 filas, separados 40 milímetros entre sí (Figura A.6). Una vez que se dispone de este patrón lo que se trata es de ir marcando los puntos con el ratón de izquierda a derecha y de arriba abajo, siguiendo siempre este orden (Figura A.7). Se repite esta operación desde distintos ángulos (al menos 10 capturas) para obtener así un mejor resultado. Es aconsejable que las condiciones lumínicas sean las mismas o parecidas a las que se usarán con la aplicación.

- **Manual**

En el caso de que el programa proporcionado por ARToolKit no detecte la cámara se deberá calibrar manualmente. Para ello, hay programas que permiten el calibrado manual de una cámara. La forma de calibrar la cámara es estos programas suele ser bastante parecida a la de ARToolKit: Se necesita un patrón sobre el que hay que ir señalando los puntos con el ratón de izquierda a derecha y de arriba abajo, siguiendo siempre este orden. Se repite esta operación desde distintos ángulos para obtener así un mejor resultado. Es aconsejable que las condiciones lumínicas sean las mismas o parecidas a las que se usarán con la aplicación.

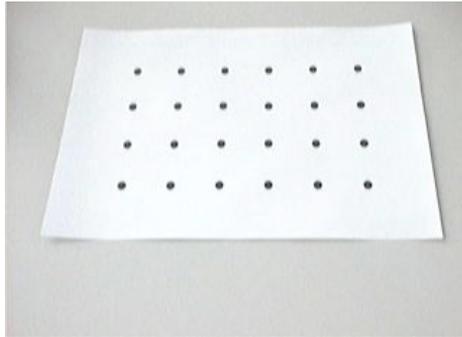


Figura A.6: Patrón de calibración.

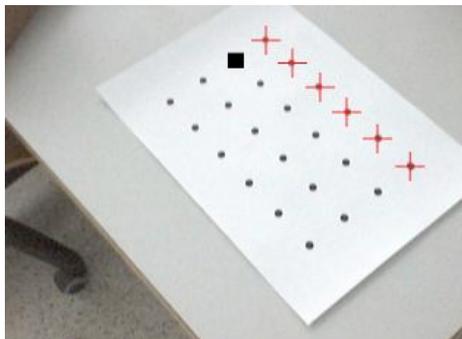


Figura A.7: Proceso de calibración.

A.4 Creación de marcadores

Los marcadores constituyen una parte fundamental en el desarrollo de aplicaciones de RA. Los marcadores permiten situar un objeto virtual en una determinada posición de la escena. Los hay de muchos tipos y todos ellos han de poder ser reconocidos por la aplicación. Para ello, primero se deben crear para posteriormente realizar un entrenamiento con los mismos.

Para crear una nueva plantilla de reconocimiento basta con usar el marcador en blanco que proporciona ARToolKit; situar en su interior los símbolos que se deseen; e imprimirlo para pasar al posterior entrenamiento mediante el programa denominado *mk_patt*. A la hora de elegir los patrones, los mejores son aquellos que sean asimétricos y que no tengan muchos detalles. De esta forma la aplicación podrá distinguir fácilmente la orientación del marcador y lo hará lo más rápido posible.

Para entrenar el marcador nuevo, el programa *mk_patt* solicita, inicialmente, la introducción por teclado del nombre del fichero que contiene los parámetros de la cámara. Si no se escribe ninguno toma por defecto el fichero *camera_para.dat*. Seguidamente, se abrirá una ventana que muestra la imagen que capta la cámara. Para realizar el entrenamiento se debe colocar el marcador sobre una superficie plana e intentar mantener unas condiciones de iluminación similares a las que existirán cuando la aplicación se esté ejecutando. Entonces se debe coger la cámara, colocarla sobre el marcador apuntando directamente sobre él y girarla hasta que aparezca un cuadrado rojo y verde a su alrededor. Esto indica que el programa de reconocimiento ha encontrado el cuadrado alrededor del marcador. Una vez que el cuadrado ha sido encontrado y orientado correctamente se debe pulsar el botón izquierdo del ratón. Será entonces cuando se introduzca por teclado el nombre del fichero donde se almacenará el marcador. El fichero creado almacena mapas de bits del marcador que utilizará ARToolKit para identificar los marcadores en tiempo de ejecución. Tras haber entrenado uno de ellos, otros pueden ser entrenados apuntándolos con la cámara y repitiendo el proceso antes descrito, o pulsar el botón derecho del ratón y abandonar la aplicación.

Un aspecto a tener en cuenta es el tamaño de los marcadores. No es lo mismo reconocer un patrón de 4 centímetros que uno de 8 a una distancia fija de 30 centímetros. Esto se debe a que existen unas distancias máximas para las que ARToolKit puede reconocer el patrón en función de su tamaño. Por lo tanto, cuánto más grande sea el marcador mayor podrá ser la distancia a la que se podrá situar la cámara para poder identificarlo. En este mismo sentido también influye la complejidad del patrón, puesto que cuánto más complejo sea más

difícil será de reconocer. Así pues, los mejores patrones son aquellos que son simples, asimétricos y tienen grandes regiones de color blanco y negro.