

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid

GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA
2016-2017

Trabajo Fin de Grado

TRANSFORMACIÓN DIGITAL
PARA LA MEJORA DEL
APRENDIZAJE EN EL ÁREA DE LA
GEOMETRÍA

Álvaro Gamboa Rosado

Tutor: Jorge Ruiz Magaña





TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA LA MEJORA DEL
APRENDIZAJE EN EL ÁREA DE LA GEOMETRÍA



Índice General

Índice de Ilustraciones	5
1 Introducción y Objetivos	7
1.1 Introducción	7
1.2 Problema	8
1.3 Solución	12
1.4 Beneficios	13
1.5 Objetivos	13
1.6 Estructura del Proyecto	14
2 Planteamiento del Problema	16
2.1 Estado del Arte	16
2.1.1 Soluciones similares	16
2.1.2 Realidad Aumentada	16
2.1.3 Historia de la Realidad Aumentada	17
2.1.4 Dispositivos necesarios	19
2.1.5 Niveles de Realidad Aumentada	20
2.1.5.2 Nivel 1 – Realidad aumentada basada en marcadores	21
2.1.5.3 Nivel 2 – Realidad aumentada <i>markerless</i>	22
2.1.5.4 Nivel 3 – Visión Aumentada	23
2.1.6 Realidad Aumentada en Educación	24
2.1.6.1 Aprendizaje basado en el descubrimiento	24
2.1.6.2 Juegos con Realidad Aumentada	25
2.1.6.3 Libros con Realidad Aumentada	26
2.2 Marco Regulador	27
2.3 Entorno Socio-económico	28
2.3.1 Impacto socio-económico	28
2.3.2 Presupuesto del Proyecto	29
3 Análisis de la Solución	31
4 Diseño y desarrollo de la Solución Técnica	37
4.1 Modelos 3D	37
4.1.1 Estado del Arte	38



4.1.2 Conclusión	38
4.2 Modelado 3D	39
4.2.1 Estado del Arte	39
4.2.2 Conclusión	40
4.2.3 Procedimiento.....	41
4.3 Librería de Realidad Aumentada	45
4.3.1 Estado del Arte	45
4.3.2 Conclusión	46
4.3.3 Procedimiento.....	46
4.3.4 Fase de testeo.....	47
4.4 Marcadores de Realidad Aumentada.....	50
4.5 Plataforma de desarrollo y motor gráfico.....	51
4.5.1 Procedimiento.....	52
5 Evaluación y Resultados	59
5.1 Evaluación	59
5.1.1 Etapa de Pruebas	59
5.2 Resultados.....	70
6 Planificación.....	86
7 Conclusiones y Futuros Trabajos	87
7.1 Conclusiones.....	87
7.1.1 Reflexiones Personales.....	88
7.2 Futuros Trabajos.....	89
7.2.1 Ampliación a otras asignaturas.....	89
7.2.2 Aplicación multiplataforma.....	89
7.2.3 Accesibilidad a la aplicación.....	89
7.2.4 Marcadores personalizados	90
7.2.5 Información adicional en escenas	90
Bibliografía.....	91
Abstract	93



Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 Problema de los 6 palillos</i>	10
<i>Ilustración 2 Milgram-Virtuality Continuum</i>	17
<i>Ilustración 3 HMD (Head-mounted Display)</i>	18
<i>Ilustración 4 ARToolkit</i>	18
<i>Ilustración 5 Realidad Aumentada en videojuego Pokemon Go</i>	19
<i>Ilustración 6 Activadores de Realidad Aumentada</i>	20
<i>Ilustración 7 Código QR correspondiente a https://www.google.es</i>	21
<i>Ilustración 8 Marcador utilizado en este proyecto</i>	21
<i>Ilustración 9 Aura de Robert Burns en Aurasma</i>	22
<i>Ilustración 10 Smartglasses</i>	23
<i>Ilustración 11 Lentes biónicas</i>	23
<i>Ilustración 12 Captura de pantalla de Historypin</i>	25
<i>Ilustración 13 Libro Curso para la Mejora de la Capacidad Espacial con Realidad Aumentada</i>	26
<i>Ilustración 14 Boceto: Principal, about y profesor</i>	33
<i>Ilustración 15 Boceto: Gestiones del profesor, mensajes y gestión de clases</i>	34
<i>Ilustración 16 Boceto: Profesor, calificaciones y exámenes</i>	35
<i>Ilustración 17 Boceto: Padre/Madre y Alumno</i>	36
<i>Ilustración 18 Ejemplos de modelos 3D en www.turbosquid.com</i>	38
<i>Ilustración 19 Blender, K-3D, SketchUp y 3DSlash</i>	40
<i>Ilustración 20 Formas rectangulares y cuadrado en SketchUp</i>	41
<i>Ilustración 21 Push/Pull y cubo en SketchUp</i>	42
<i>Ilustración 22 Líneas y cuadrado en SketchUp</i>	43
<i>Ilustración 23 Borrador y dos tetraedros en SketchUp</i>	43
<i>Ilustración 24 Dos tetraedros coloreados en SketchUp</i>	44
<i>Ilustración 25 Intersección de caras y Octaedro en SketchUp</i>	44
<i>Ilustración 26 Image targets en Unity</i>	47
<i>Ilustración 27 Ejemplo Vuforia Image Targets con marcador impreso</i>	48
<i>Ilustración 28 Marcador de prueba</i>	48
<i>Ilustración 29 Aplicación en funcionamiento con marcadores de prueba impresos, sobre los objetos de ejemplo</i>	49
<i>Ilustración 30 Escena final de pruebas</i>	50
<i>Ilustración 31 Marcador utilizado en el proyecto</i>	51
<i>Ilustración 32 Captura de pantalla Octaedro en Unity</i>	53
<i>Ilustración 33 Captura de pantalla rotación en Unity</i>	53
<i>Ilustración 34 Captura de pantalla enunciado de ejercicio 1 en Unity</i>	54
<i>Ilustración 35 Captura de pantalla enunciado de ejercicio 2 en Unity</i>	54
<i>Ilustración 36 Captura de pantalla solución de ejercicio 2 en Unity</i>	55
<i>Ilustración 37 Captura de pantalla enunciado de ejercicio 3 en Unity</i>	55
<i>Ilustración 38 Captura de pantalla solución de ejercicio 3 en Unity</i>	55
<i>Ilustración 39 Captura de pantalla de script botón en Visual Studio</i>	56
<i>Ilustración 40 Captura de pantalla script DefaultTrackableEventHandler en Visual Studio</i>	57
<i>Ilustración 41 Captura de pantalla vista desde arriba en Unity</i>	58
<i>Ilustración 42 Captura de pantalla vista en perspectiva en Unity</i>	58
<i>Ilustración 43 Fotografía 1 de uso en el aula</i>	60



<i>Ilustración 44 Demografía de la clase</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 45 Conocimiento previo de realidad aumentada.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 46 Calificaciones del examen realizado en el aula.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 47 Fotografía 2 de uso en el aula.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 48 Experiencia anterior con realidad aumentada.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 49 Fotografía 3 de uso en el aula.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 50 Grado de satisfacción</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 51 Ventajas y desventajas de la aplicación en la enseñanza</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 52 ¿Volverías a utilizar la realidad aumentada?</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 53 Fotografía 4 uso en el aula</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 54 Sugerencias de mejoras para la aplicación móvil</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 55 Futuras líneas de ampliación</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 56 Fotografía 5 uso en el aula</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 57 Portada de bienvenida de la plataforma educativa.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 58 Apartado del Octaedro, explicación teórica</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 59 Captura de pantalla explicación teórica del octaedro en aplicación móvil.....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 60 Captura de pantalla examen del octaedro en aplicación</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 61 Captura de pantalla enunciado ejercicio 1 en aplicación móvil.....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 62 Captura de pantalla resultado enunciado ejercicio 1 en aplicación móvil.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 63 Captura de pantalla enunciado ejercicio 2 en aplicación móvil.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 64 Captura de pantalla solución ejercicio 2 en aplicación móvil</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 65 Captura de pantalla enunciado ejercicio 3 en aplicación móvil.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 66 Capturas de pantalla solución ejercicio 3 con animaciones en aplicación móvil</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 67 Profesor en plataforma educativa</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 68 Gestión de usuario en plataforma educativa.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 69 Añadir/eliminar alumno en plataforma educativa</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 70 Añadir tema en plataforma educativa.....</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 71 Añadir examen en plataforma educativa</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 72 Añadir apartados de unidades didácticas en plataforma educativa</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 73 Alumno en plataforma educativa</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 74 Padre/Madre en plataforma educativa</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 75 Diagrama de Gantt del Proyecto</i>	<i>86</i>



Capítulo 1

Introducción y Objetivos

1.1 Introducción

Los estudiantes, en el ámbito de la geometría, necesitan imaginar objetos tridimensionales en diferentes orientaciones y reconstruir mentalmente dibujos de dos a tres dimensiones en papel o en programas de diseño.

Para ello, la capacidad espacial es la habilidad necesaria para que los estudiantes aborden con éxito los contenidos geométricos y es en el rango de edad de 9 a 14 años donde se presentan las mayores dificultades.

Debido a que los libros de texto académicos explican la geometría desligada del sentido espacial sobre el que se debe organizar su enseñanza, una de las maneras de suplir esta carencia es la introducción de la realidad aumentada en dicho ámbito y en el día a día del estudiante.

Por todo ello, el objetivo principal del proyecto es la implementación y validación de una plataforma educativa basada en el estudio de la geometría mediante Realidad Aumentada. Asimismo, también se valora su implantación y beneficios para un nivel de primer y segundo curso de E.S.O. (Educación Secundaria Obligatoria) mediante dispositivos móviles, tales como *smartphones* y *tablets*. Esto se hace a través de una fase de pruebas de la aplicación en un entorno real, como es una clase de un instituto de la Comunidad de Madrid.

Otro objetivo del proyecto es la realización de un estudio del estado del arte de la situación de la realidad aumentada en la actualidad. En él se valora tanto los principales hitos científicos, como las aplicaciones y librerías de desarrollo que dominan en estos sistemas.

Dicha plataforma se ha implementado y validado en un ordenador y en un dispositivo móvil. Respecto al dispositivo móvil, se ha escogido el *OnePlus 3*, de



la compañía china *OnePlus*. A la fecha de realización del proyecto, este Smartphone es uno de los más potentes que existen en el mercado. Gracias a ello, nos ofrece un entorno ideal donde, usando las herramientas más utilizadas en el mundo de la programación para dispositivos móviles, se realiza el diseño de la plataforma educativa de una manera profesional.

1.2 Problema

En el ámbito de la geometría, los estudiantes necesitan imaginar objetos en diferentes orientaciones, manipular modelos tridimensionales y reconstruir mentalmente dibujos de dos a tres dimensiones, en papel o en programas de diseño asistido.

La capacidad espacial es la habilidad visual para representar en la mente formas, dimensiones, coordenadas, proporciones y movimiento. También incluye la destreza para imaginarse un objeto rotando en el espacio, orientarse en un lugar que presenta múltiples obstáculos y observar las cosas en una perspectiva tridimensional.

En las escuelas de las pasadas generaciones, para explicar la geometría tradicional, se utilizaban modelos tridimensionales de madera para la apreciación de las medidas y los modelos. Dicha figura era pasada de mano en mano de los alumnos para apreciar su forma y su representación espacial. El maestro era el encargado de glosar y explicar sus cualidades espaciales. En dichas épocas, la enseñanza era focalizada mayoritariamente en el conocimiento de las figuras geométricas y su observación por parte del alumno, en detrimento de la posible resolución de problemas relacionados.

En la actualidad, es en el rango de edad de 9 a 14 años donde se presentan las mayores dificultades en la resolución de problemas geométricos. Dado que la geometría es una disciplina eminentemente visual, algunas de las dificultades son las referidas a la discriminación y a la percepción visual. Por ello surge la necesidad de entender cómo los estudiantes representan mentalmente el mundo matemático, ya que el pensamiento espacial es esencial para el pensamiento científico.



Los estudios en educación matemática demuestran que la capacidad de visualización espacial es muy importante para el futuro desarrollo intelectual del alumno. Sostienen además que esto se hace notar sobre todo en los campos de los futuros ingenieros, arquitectos, topógrafos, etc., y en las denominadas profesiones liberales como dibujantes, escultores, y pintores.

El desarrollo de la aptitud numérica, en el campo matemático, es muy importante, pero no menos importante es la capacidad espacial y visual, así como la capacidad de razonamiento en cuanto al volumen se refiere. El desarrollo de dicha aptitud numérica para el alumno no se puede poner en entredicho, tampoco el razonamiento lógico y la geometría en plano, pero se debe valorar la capacidad de comprensión volumétrica y su implantación de manera definitiva en los centros de enseñanza.

En los años 50, 60 y 70 del pasado siglo, la enseñanza de las matemáticas para alumnos de edad correspondiente al primer ciclo de E.S.O. actual, se encaminaba hacia la aritmética, el álgebra elemental y la geometría básica y la inclusión de volúmenes era considerada como mera visualización de los objetos, nunca como resolución de problemas. Ésta era incluida en enseñanzas superiores y universidades.

En el caso concreto de España, es a partir de los programas renovados de 1985 cuando la capacidad espacial vuelve a adquirir una importancia análoga al resto de las capacidades, al incluirse los conceptos propios de una geometría más intuitiva y práctica.

Hay que destacar que a partir de la década de los 90 con la llegada de los videojuegos (concretamente el conocido Tetris), la mayor influencia de la TV, los ordenadores, máquinas electrónicas, etc., se puede observar una mejora en la aptitud espacial de los alumnos, y por tanto una mejora en la resolución de problemas de índole volumétrica.

Estudios relevantes en educación matemática (Guay y McDaniel, 1977; Tartre, 1990) discriminan, además, entre dos conceptos muy útiles para el tratamiento del problema aplicado a la geometría:

- Visualización: Aptitud para manipular objetos mentalmente, es decir, el objeto es manipulado por el sujeto.
- Orientación espacial: Aptitud para imaginar un objeto desde otra perspectiva, es decir, el sujeto es el que cambia de posición ante el objeto.

Según el *Modelo de Van Hiele para la didáctica de la Geometría*, dicha didáctica se ha de llevar a cabo en varios niveles:

En un primer nivel se encuentra la observación de las figuras y los objetos, así como de las partes de los mismos; en segundo nivel, las implicaciones y las partes de las figuras; en tercer lugar, la ordenación, clasificación y relación de las figuras y en cuarto lugar, la deducción de teoremas, problemas y sistemas axiomáticos.

Así mismo, cabe destacar la necesidad de relacionar la capacidad espacial con la enseñanza de la geometría volumétrica para los alumnos, dado que hay que distinguir entre aptitud, habilidad y capacidad espacial. La aptitud espacial se puede definir como algo innato que tenemos para visualizar la realidad, sin embargo, la habilidad espacial se adquiere con la enseñanza y el entrenamiento. En último lugar, la capacidad espacial aúna la habilidad espacial, la aptitud para adquirir conocimientos y la destreza para desarrollarlos.

Los seres humanos nacemos con cierta aptitud para hablar, pensar o caminar, lo cual contrasta con la habilidad espacial, la cual adquirimos con el aprendizaje. En última instancia, si añadimos la destreza y el conocimiento, el conjunto resultante es lo que se denomina como capacidad espacial.

Un caso curioso es el denominado problema de los triángulos adyacentes, el cual, para llegar a su solución, requiere la utilización de una cierta capacidad espacial. Consiste en proporcionar al alumno 6 palillos para que construya con el uso de los mismos, 4 triángulos equiláteros y adyacentes. Por lo tanto, si se hace en un mismo plano, el problema no tiene solución. Sin embargo, si se piensa de manera espacial, se resuelve haciendo un tetraedro con los 6 palillos.

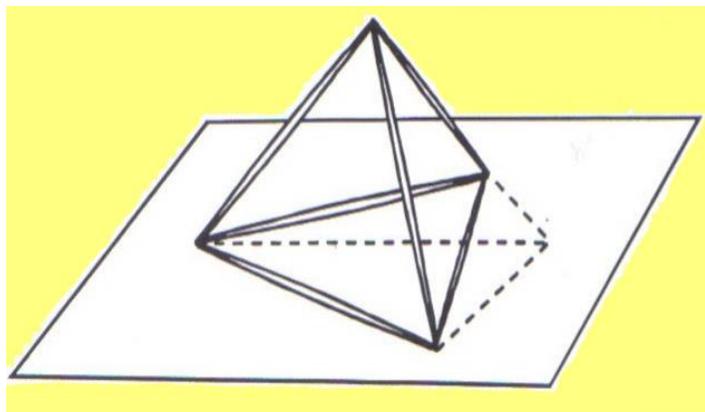


Ilustración 1 Problema de los 6 palillos



Es de importancia tener en cuenta que el principal problema con el que se encuentran los alumnos (y por tanto los profesores para tratar de solucionarlo), es la visualización espacial de los objetos a tratar, en cuanto a la enseñanza de geometría volumétrica se refiere. Esto se debe a que su explicación se ve dificultada cuando se trata de hacerla en una forma plana, ya sea en una hoja o en una pantalla. Por lo tanto, se debe tener en cuenta su volumen para una percepción óptima.

Además, existe una escasez de contenidos de geometría en los currículos de enseñanza primaria e incluso secundaria, la cual se agrava en lo que se refiere a los contenidos de geometría espacial. Teniendo en cuenta la relación que tiene el conocimiento de los contenidos de geometría volumétrica con el desarrollo de habilidades de razonamiento matemático, razonamiento visual y razonamiento deductivo, se pone de manifiesto la necesidad de encontrar una solución.

La capacidad espacial se puede considerar, también, como un modelo fundamental en el desarrollo intelectual del alumno. Referente a la disyuntiva de determinar si esa capacidad está formada por varias subcapacidades, una de las clasificaciones más importantes al respecto es la realizada por *Linn y Petersen* en 1986, la cual se basa en tres categorías:

1. *“Percepción espacial: Habilidad de determinar relaciones espaciales a pesar de la existencia de otras informaciones que pueden distraer al sujeto.*
2. *Visión Espacial: Habilidad de manipular información visual compleja, cuando para producir una solución correcta se necesitan varias etapas.*
3. *Rotación Espacial: Habilidad de rotar en nuestra imaginación, rápida y acertadamente figuras de dos o tres dimensiones.”*

La capacidad espacial es, por tanto, una habilidad necesaria para que los estudiantes aborden con éxito los contenidos geométricos y la resolución de problemas relacionados. Además, la no utilización de otros recursos que amplíen los conceptos geométricos del estudiante es la mayor fuente de obstáculos en la enseñanza. Por tanto, el problema a resolver es la carencia de dichos recursos complementarios, debido a que los libros de texto académicos explican la geometría desligada del sentido espacial sobre el que se debe organizar su enseñanza.



1.3 Solución

Una de las maneras de solucionar este problema es la introducción de la realidad aumentada en el ámbito de la educación matemática y en el día a día del estudiante.

Dicha tecnología, combinada con la movilidad que ofrecen dispositivos como *smartphones* y *tablets*, hacen de esta solución un método muy versátil, ya que se puede aplicar no solo a las clases, sino también en el estudio de la geometría fuera de ellas.

La **solución propuesta para este problema** es el desarrollo de una plataforma educativa, basada en el estudio y la enseñanza de las matemáticas, focalizándose en la realidad aumentada como base para la visualización de los contenidos geométricos.

Dicha plataforma deberá tener una base de datos de usuarios, en la que se diferencien por rol, dependiendo del usuario que acceda, distinguiendo entre profesor, alumno y padre/madre de alumno. Desde el punto de vista de la accesibilidad, tendrá que ser accesible tanto desde la web como desde una aplicación móvil.

El profesor dispondrá de una batería completa de ejercicios y unidades didácticas de todos los contenidos geométricos, para poder añadir las explicaciones teóricas y los exámenes tipo test desde la propia plataforma, siendo editables por el profesor. Por lo tanto, el profesor tiene la libertad de manipular como crea conveniente los contenidos y los exámenes. Del mismo modo, los alumnos dispondrán de todas las unidades didácticas para su estudio y de los exámenes para realizarlos desde la aplicación móvil.

Todos los contenidos se basan en la realidad aumentada. Es decir, en cada una de las unidades didácticas se dispondrá de un marcador, imprimible y escaneable desde la aplicación móvil, desde la cual se podrá ver la escena de la unidad en la pantalla del dispositivo móvil. Así mismo, la batería de ejercicios que se pueden incluir en cada examen, contará con un marcador en cada pregunta/solución, donde sea necesario.



1.4 Beneficios

Observar en tres dimensiones el concepto geométrico facilita al estudiante la tarea de realizar operaciones mentales y físicas sobre el mismo, dado que la realidad aumentada es una de las mejores conexiones entre el mundo real y los contenidos digitales. Esta característica permite al usuario reforzar el aprendizaje de la geometría mediante su asociación con el mundo real.

Se trata de un concepto diferente de aprendizaje basado en el descubrimiento fuera de clase y del mismo modo, es una herramienta muy útil dentro en la clase, porque ayuda a reforzar y asentar los conocimientos, mediante la visualización de los modelos en tres dimensiones.

Con ello se logra una mayor inmersión por parte del estudiante y un aprendizaje más significativo y entretenido. Mediante esta técnica se logra la representación en tres dimensiones de la figura a través de un dispositivo móvil, pudiendo orientar la visión sobre ella mediante el movimiento del dispositivo alrededor del marcador y de los movimientos táctiles del usuario para agrandar y rotar la figura. Además, la construcción de ejemplos de un concepto geométrico ayuda a mejorar la imagen del mismo, es decir, el reflejo del concepto en la mente del estudiante.

Para **demostrar dichos beneficios**, en el capítulo 5.1.1 *Etapas de Pruebas* se realiza una fase de pruebas en el proceso de enseñanza-aprendizaje, para poder plantear su uso como complemento de trabajo, pudiendo ampliar su adaptación a diferentes contenidos y asignaturas.

1.5 Objetivos

Tras estudiar el problema anteriormente expuesto, los principales objetivos que se quieren conseguir tras la realización del proyecto son los siguientes:



1. Creación de una plataforma educativa online capaz de establecer una mejora en la enseñanza de la geometría a través de la realidad aumentada.
2. Creación de un entorno virtual capaz de reproducir correctamente la escena correspondiente al marcador escaneado, previamente impreso.
3. Realización de una etapa de pruebas completa con alumnos reales, con la finalidad de probar que el proyecto funciona y tiene ventajas frente al sistema de enseñanza de la geometría tradicional.
4. Estudio de la programación para la plataforma Android con Unity, así como de las diferentes herramientas y librerías que se utilizarán.
5. Posible optimización del tiempo laboral del profesor, automatizando una de sus funciones, como es la corrección de exámenes, la cual se envía de forma automática a la plataforma a través de exámenes tipo test.

1.6 Estructura del Proyecto

En esta sección se desarrolla la estructura del presente, describiendo el contenido de cada sección.

- En el **primer capítulo** se encuentra la Introducción y Objetivos del proyecto. Además, se expone el problema que ha motivado a la solución presente en este proyecto, así como los beneficios de la misma.
- En el **segundo capítulo** se encuentra el planteamiento del problema. Dicho planteamiento se compone del estado del arte, donde se describen las soluciones similares y las tecnologías existentes en el mercado de la realidad aumentada en dispositivos móviles, del marco regulador y del entorno socio-económico, donde se describe la legislación y dicho impacto.
- En el **tercer capítulo** se encuentra el análisis de la solución. En él se describe qué hace el sistema.
- En el **capítulo cuarto**, diseño y desarrollo de la solución técnica, se detalla la implementación de la plataforma educativa. Se estudia el estado del arte de cada tecnología en particular y se justifican las decisiones de



diseño e implementación tomadas. En este capítulo consta todo el proceso de desarrollo de la plataforma educativa.

- En el **capítulo quinto** se encuentra la evaluación del sistema y los resultados. Esta evaluación ha sido realizada en un instituto, lo que nos aporta la consecución de objetivos y beneficios, así como el *feedback* por parte del profesor y del alumno, que verifican el correcto funcionamiento del sistema. Además, se exponen los resultados sobre el smartphone, valorando el rendimiento de la aplicación móvil sobre el mismo.
- En los **capítulos finales** se encuentra la planificación inicial del proyecto, así como las conclusiones, reflexiones personales y las futuras líneas de ampliación, donde se valora el proyecto desde el punto de vista crítico y se verifican los objetivos establecidos al inicio del mismo. Finalmente, se encuentran la bibliografía y el resumen extendido en inglés.



Capítulo 2

Planteamiento del Problema

2.1 Estado del Arte

2.1.1 Soluciones Similares

A través de un estudio del estado del arte, para unas soluciones relacionadas con la propuesta en este proyecto, se han encontrado las siguientes, pertenecientes al ámbito educativo matemático:

- *GeoGebra*. Software de matemáticas que reúne geometría, álgebra, gráficos, estadística y cálculo. Tiene la opción de la realidad aumentada, pero muestra las explicaciones sobre el marcador, en vez de la figura en 3D.
- *FETCH! Lunch Rush*. Aplicación móvil que permite que los estudiantes mejoren sus habilidades matemáticas a través de problemas matemáticos jugando con escenarios del mundo real.
- *Aug That*. Aplicación móvil con formas tridimensionales para talleres en clase con lecciones en vídeo para dirigir a los usuarios al contenido educativo.

2.1.2 Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada es una tecnología en auge, la cual permite disfrutar de experiencias en las que se añade a nuestro mundo real un contenido digital, aumentando la percepción y la información que percibimos del mismo.

Dicho contenido es posible incorporarlo en forma de texto, audio, imagen, vídeo, modelos 3D, etc. Existen dos definiciones de Realidad Aumentada, la de Paul Milgram y Fumio Kishino y la de Ronald Azuma. Los dos primeros la definieron en 1994 como una escala continua que va desde el entorno real hasta el entorno virtual. El área comprendida entre los dos extremos donde se combina lo real y lo virtual la denominaron *Realidad Mezclada*.

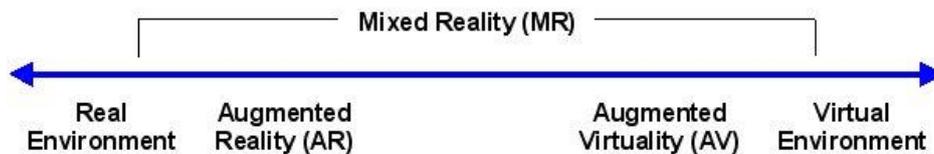


Ilustración 2 *Milgram-Virtuality Continuum*

En la ilustración 2, de izquierda a derecha aumentan los elementos virtuales que se agregan al entorno real, mientras que de derecha a izquierda aumentan los elementos reales que se agregan al entorno virtual.

Por lo tanto, ambos distinguen entre una Realidad Aumentada, en la que se incorporan elementos virtuales a un entorno real, y la Virtualidad Aumentada, en la que se incorporan elementos reales a un entorno virtual.

Un investigador del Nokia Research Center Hollywood, Ronald Azuma, de California, define en 1997 que un sistema de Realidad Aumentada es aquel que cumple las siguientes características:

- Combina elementos reales y virtuales.
- Es interactivo en tiempo real.
- Se registra en 3D.

2.1.3 Historia de la Realidad Aumentada

En la década de 1960, debido a las limitaciones de los ordenadores, únicamente se podían mostrar imágenes wireframe en tiempo real.

Tom Claudell, investigador de la compañía aérea Boeing, desarrolló junto a su equipo un sistema HMD (Head-Mounted Display) que permitía a los

ingenieros ensamblar cables en las aeronaves mediante la proyección de imágenes sobre un *display* cercano a los ojos.



Ilustración 3 HMD (*Head-mounted Display*)

En esta década también se desarrollaron aplicaciones industriales y militares basadas en Realidad Aumentada, pero los requerimientos tecnológicos de la época imposibilitaron su extensión.

En 1999, se desarrolló un gran avance cuando Hirokazu Kato creó ARToolkit, una biblioteca para la creación de aplicaciones usando Realidad Aumentada. Dicho hito permitió que la Realidad Aumentada fuese accesible a investigadores y desarrolladores.

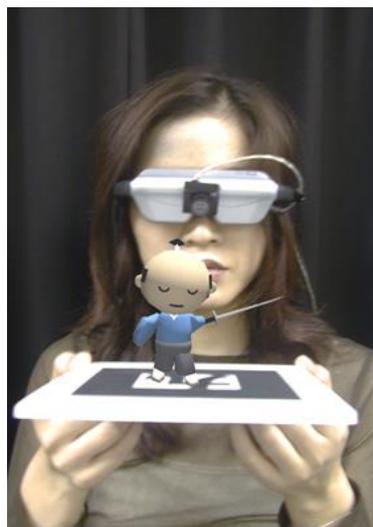


Ilustración 4 ARToolkit

Actualmente, la Realidad Aumentada se encuentra en un gran auge, gracias al desarrollo de los smartphones, permitiendo la evolución hacia aplicaciones intuitivas, prácticas y útiles para el usuario.

2.1.4 Dispositivos necesarios

La Realidad Aumentada no necesita de requerimientos técnicos complejos para ponerla en marcha, por lo que podemos experimentarla usando un dispositivo que cuente con los siguientes elementos:

- Cámara para captar la imagen del entorno.
- Software de Realidad Aumentada, para superponer el contenido digital sobre la escena real.
- Procesador con capacidad para modificar la señal de vídeo que se entrega a la pantalla.
- Pantalla donde visualizar la imagen real tomada por la cámara combinada con el contenido digital en tiempo real.



Ilustración 5 Realidad Aumentada en videojuego *Pokemon Go*

Además de los anteriores, son necesarios elementos que activen la Realidad Aumentada, los cuales pueden ser marcadores, objetos, imágenes, códigos QR o puntos geolocalizados.



Ilustración 6 Activadores de Realidad Aumentada

2.1.5 Niveles de Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada se clasifica en niveles de acuerdo a su forma de trabajar, parámetros, técnicas empleadas y sistemas de seguimiento. Se distinguen 4 niveles de Realidad Aumentada.

2.1.5.1 Nivel 0 – Hiperenlaces en el mundo físico:

Enlaza el mundo físico con el mundo virtual. En un primer momento, esto se pone de manifiesto con códigos QR, los cuales son unos códigos bidimensionales que codifican información como texto, URLs, números de teléfono, etc.



Ilustración 7 Código QR correspondiente a <https://www.google.es>

Los códigos QR no son similares a los marcadores de Realidad Aumentada. Estos últimos únicamente pueden ser identificados por la aplicación para la que fueron creados. Esto se debe a que en un código QR, como la información se codifica en el propio símbolo, puede ser leída por cualquier lector de códigos QR.

Tanto leer como generar este tipo de códigos QR no es una tarea dificultosa, por lo tanto, existen de forma gratuita, numerosos generadores de códigos QR.

2.1.5.2 Nivel 1 – Realidad aumentada basada en marcadores:

Es la forma más popular de Realidad Aumentada. Se utilizan como marcadores símbolos e imágenes impresos en papel sobre los que se superpone la información digital (imágenes, objetos 3D, vídeo, etc.) cuando son reconocidos por el software en ejecución.

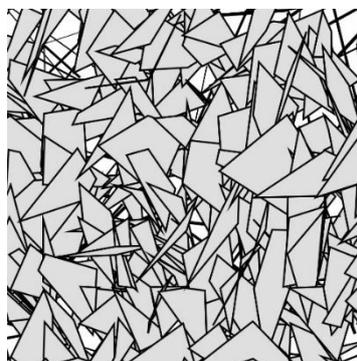


Ilustración 8 Marcador utilizado en este proyecto

Los marcadores, normalmente se forman por un cuadrado con un diseño en su interior, que permite que se diferencien entre sí. El procedimiento general suele ser el siguiente:

- Imprimir el marcador.
- Iniciar la aplicación móvil.
- Situar el marcador delante de la cámara.
- La aplicación móvil reconoce el marcador y superpone la información digital.

2.1.5.3 Nivel 2 – Realidad aumentada *markerless*:

Se basa en el reconocimiento de imágenes, la geolocalización y otras técnicas, las cuales requieren de marcadores. Se considera que es el futuro de la Realidad Aumentada, debido a la cantidad de aplicaciones que pueden ser desarrolladas usando dicha tecnología.

En el caso de la Realidad Aumentada basada en el reconocimiento de imágenes, cuando la imagen u objeto coinciden con el de referencia y es reconocido, se superpone el contenido digital.

Una aplicación muy interesante es *Aurasma*. La aplicación reconoce el entorno y muestra el contenido virtual sin la necesidad de marcadores.

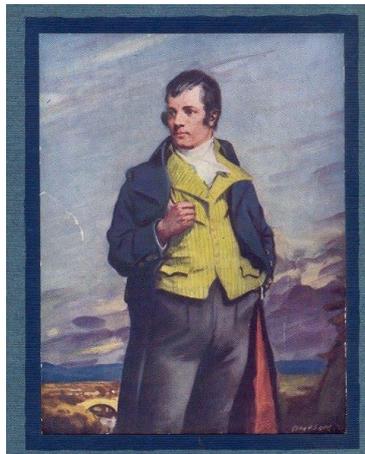


Ilustración 9 Aura de Robert Burns en *Aurasma*

Desde hace pocos años, se han ido desarrollando los llamados navegadores de Realidad Aumentada. Utilizan el GPS, brújula, acelerómetro, etc. del dispositivo para mostrar información sobre puntos de interés de nuestro entorno. Mediante el GPS se identifica la posición del dispositivo, la brújula detecta la orientación del dispositivo y el acelerómetro los cambios de elevación. Con todo ello se construye la visión aumentada del lugar.

2.1.5.4 Nivel 3 – Visión Aumentada:

Se considera el siguiente paso en la evolución de la Realidad Aumentada. Un ejemplo de ello fueron las gafas de Google, que permiten al usuario ver directamente su entorno con información digital adicional superpuesta que le proporciona el dispositivo.



Ilustración 10 *Smartglasses*

Por otra parte, ingenieros de la Universidad de Washington llevan años investigando en lentes de contacto que utilizarían la Realidad Aumentada proyectándola directamente a nuestros ojos.

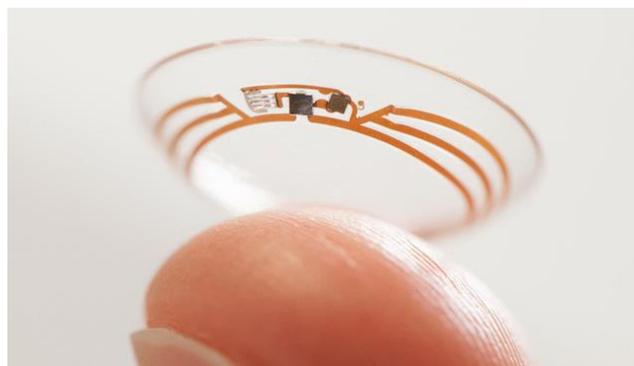


Ilustración 11 *Lentes biónicas*



2.1.6 Realidad Aumentada en Educación

La Realidad Aumentada se ha utilizado experimentalmente durante las dos últimas décadas en entornos académicos, consolidándose como una herramienta para mejorar la comprensión de la realidad, optimizando el aprendizaje y aumentando la motivación de los alumnos.

A pesar de ello, implementar la Realidad Aumentada como herramienta en el aula constituye aún un reto. El auge de los dispositivos móviles y el aumento de las aplicaciones de Realidad Aumentada denotan un cambio en la forma de acceder a la información y la posibilidad de acceder a nuevas experiencias de aprendizaje.

A continuación, se revisan algunas de las aplicaciones de la Realidad Aumentada en ámbitos educativos, como son el aprendizaje basado en el descubrimiento, juegos y libros de Realidad Aumentada.

2.1.6.1 Aprendizaje basado en el descubrimiento:

La Realidad Aumentada se consolida como una potente herramienta que facilita y apoya el aprendizaje basado en el descubrimiento, debido a las aplicaciones móviles basadas en la exploración y descubrimiento de información por propia iniciativa, o de forma casual.

Actualmente muchos lugares históricos y museos proporcionan información utilizando la Realidad Aumentada, mediante el uso de una aplicación instalada en el Smartphone del visitante, facilitando información adicional en forma de texto, audio, vídeo, etc., reforzándose el aprendizaje gracias al aumento de la realidad, motivando al usuario a aprender basándose en el descubrimiento.

Por ejemplo, existen aplicaciones que muestran fotografías de cómo era un lugar en diferentes épocas cuando un usuario apunta con la cámara a un lugar histórico, comparando el pasado con el presente.

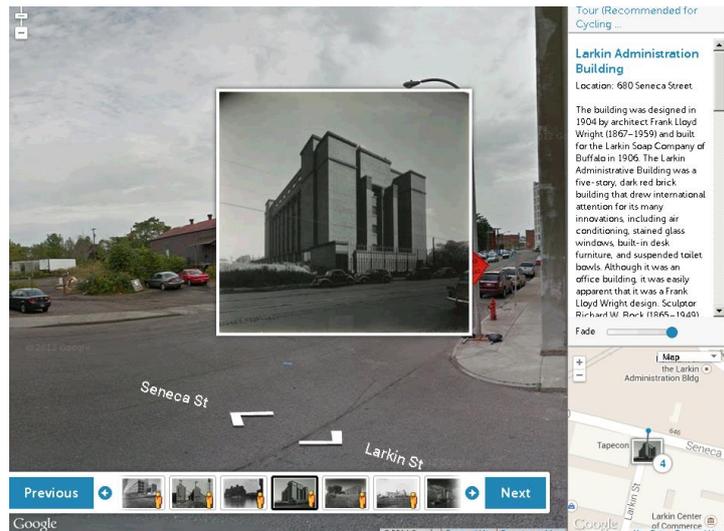


Ilustración 12 Captura de pantalla de *Historypin*

2.1.6.2 Juegos con Realidad Aumentada:

Es posible aprender jugando, además de conseguir un mejor acercamiento de profesor a alumno, aumentar su motivación, una mayor interacción y mejor aprendizaje.

Con la Realidad Aumentada se descubren muchas posibilidades en el terreno de los juegos para la educación:

- Juegos basados en marcadores, en los que el usuario interactúa con objetos 3D.
- Juegos basados en el reconocimiento facial, en los que el usuario es parte de la interfaz.
- Juegos basados en la geolocalización, en los que el usuario juega y colabora, donde el escenario del juego es la realidad.

Aprender jugando fue el objetivo, por ejemplo, del proyecto *Enreda Madrid20*, un juego en el que los participantes paseaban por el pasado con el objetivo de estudiar cómo se vivía en el Madrid del siglo XVII y aprender la historia, descubrir sus residencias, palacios, monumentos y sus costumbres.

Otro ejemplo son los juegos basados en actividades de búsqueda de tesoro o gymkanas educativas mediante la geolocalización, en las que se anima al usuario a explorar activamente el entorno y acercarle los contenidos didácticos a estudiar.

2.1.6.3 Libros con Realidad Aumentada:

En el ámbito de los libros, la incorporación de la Realidad Aumentada introduce una nueva dimensión que enriquece el contenido de los mismos con información interactiva complementaria, que permiten una mayor motivación del alumno y un aprendizaje más efectivo.

Investigadores y empresas han desarrollado libros con esta tecnología, libros que logran aportar más información con modelos 3D, video, sonido, etc. y permiten al lector interactuar de una forma inmersiva, controlando la escena que está visualizando.

Un ejemplo que encaja perfectamente con este proyecto es *AR-Books23*, de la empresa Bienetec, que comercializa material educativo basado en la Realidad Aumentada. Destaca el libro *Curso para la Mejora de la Capacidad Espacial con Realidad Aumentada*, una herramienta de aprendizaje que cuenta con objetos 3D virtuales para aumentar el nivel de capacidad espacial. En el libro se sugieren ejercicios mediante el dibujo de volúmenes en 3D, planteando actividades para trabajar aspectos cognitivos y los cinco niveles de aprendizaje basados en la taxonomía de Bloom (Reconocimiento, Comprensión, Análisis, Síntesis y Evaluación).



Ilustración 13 Libro Curso para la Mejora de la Capacidad Espacial con Realidad Aumentada



2.2 Marco Regulator

A continuación, se hará una revisión de posibles **restricciones legales** en las que está involucrada ésta solución.

El precio de la **licencia de desarrollador de Android** son 25 dólares. En este proyecto, no se hace uso de dicha licencia, dado que no es necesario la publicación de la aplicación móvil en el market de Android.

En el desarrollo del proyecto se hace uso del motor gráfico **Unity** el cual permite el uso gratuito de su software a través de una **licencia personal**, para el desarrollo de aplicaciones no comerciales y comerciales, mientras que la capacidad de ingresos anuales o de fondos recaudados no supere los 100.000\$ por ejercicio fiscal.

Como librería para el uso de la Realidad Aumentada se hace uso de la **licencia de desarrollo de Vuforia**, gratuita, que permite utilizar funciones como el uso de imágenes, objetos, texto, etc. en las aplicaciones, así como reconocimientos en la nube y el soporte multiplataforma.

El modelado 3D se desarrolla con el programa **SketchUp**. Para ello se hace uso de la **licencia MAKE**, la cual, a diferencia de la pro, es la recomendada y gratuita para estudiantes, permite el uso personal y no comercial del programa y la creación de todo tipo de modelos 3D.

Para hacer uso de **marcadores de Realidad Aumentada**, se utiliza un generador online llamado **Brosvision** (<http://www.brosvision.com/ar-marker-generator>), con multitud de funciones y personalizaciones para que los marcadores sean aleatorios y únicos. Dicho generador permite un **uso libre** y completamente editable de los marcadores generados.

2.3 Entorno Socio-económico

2.3.1 Impacto socio-económico

La plataforma educativa no ha sido desarrollada con ánimo de lucro ni fines comerciales. A pesar de ello, a continuación, se detalla el **impacto socio-económico** de todos los aspectos relacionados con ésta solución.

En cuanto a la situación actual de los **smartphones**, a finales de 2015 la penetración de smartphones en el mundo ascendió al 97% (7,9 mil millones, más que personas hay en la Tierra).

En España, los smartphones son ya el 87% del total de teléfonos móviles, lo que sitúa a nuestro país en la primera posición europea. Un dato de interés para este proyecto, es que, en 2015, un 98% de los jóvenes de 10 a 14 años contaba ya con un Smartphone con Internet, por lo que el uso de la aplicación móvil no supondría un problema debido a la falta de dispositivos donde utilizarla.

Por otro lado, el pasado año se vendieron 206,8 millones de **tablets** a nivel global. Pese a que no ha supuesto un gran incremento, casi la mitad de la gente afirma haber utilizado la tablet, para jugar, redes sociales o leer eBooks. Sin embargo, en España ya hay al menos una tablet en 3 de cada 4 casas (lo que supone una penetración del 72). Además, más del 50% de los españoles la utiliza para acceder a internet al menos una vez al día.

En el mundo, el **uso de aplicaciones móviles** ya supone el 54% del tiempo invertido en el mundo digital. La selección de apps se realiza principalmente por las tiendas de aplicaciones, dado que los usuarios se van acostumbrando a pagar por ello. De hecho, ha aumentado hasta un 46% el número de usuarios españoles que ha pagado por una app.

En España, más de 140 empresas se dedican a actividades relacionadas con la **realidad aumentada**, a pesar de que la mayoría de ellas, son empresas pequeñas, de 10 empleados o menos.

Ejemplo de empresa española de éxito es *Catchoom*, especializada en reconocimiento de imagen y realidad aumentada, la cual espera abrirse al



mercado americano. Destacan también *Mybrana*, una red social donde se pueden crear y compartir las creaciones de los usuarios de Realidad Aumentada y *Phobious*, una aplicación que ayuda a superar las fobias.

Las aplicaciones de la realidad aumentada en el sector de la educación se han incrementado debido a numerosas empresas que han querido aprovechar este nuevo mercado. *Imaginarium*, por ejemplo, han desarrollado aplicaciones móviles que utilizan la realidad aumentada para interactuar con los juguetes físicos desde la Tablet.

Los expertos pronostican un **gran crecimiento** para los sectores de la realidad aumentada y virtual. En Europa Occidental, dicho crecimiento se disparará en un 131%, respecto a lo recaudado durante 2016, en el cual el sector alcanzó la cifra de 1.100 millones de dólares. En 2017, aumentarán hasta 2.500 millones de dólares, 6.000 a nivel global según las estimaciones. Para 2020 se estima que el mercado de realidad aumentada y virtual moverá 25.700 millones de dólares en Europa occidental.

2.3.2 Presupuesto del Proyecto

El proyecto comenzó en noviembre de 2016, finalizando en junio de 2017, desarrollándose durante 7 meses. El proyecto se ha compatibilizado durante los 3 primeros meses con el último curso universitario y durante los 4 últimos con un trabajo a jornada completa.

En este apartado se tienen en cuenta tanto los costes de los recursos humanos del proyecto, como los costes materiales.

Los **costes de recursos humanos** del proyecto son los siguientes:

Concepto	Perfil	Tiempo (horas)
Planificación	Ingeniero Software	24
Capacitación Unity	Ingeniero Software	40
Capacitación Vuforia	Ingeniero Software	24
Capacitación Modelado 3D	Ingeniero Software	32
Revisión y seguimiento del proyecto	Director de Proyecto	30



Análisis de la Solución	Ingeniero Software	128
Diseño de la Solución	Ingeniero Software	120
Implantación y desarrollo	Ingeniero Software	350
Etapas de pruebas y revisión	Ingeniero Software	40
Elaboración y redacción de Memoria	Ingeniero Software	192
TOTAL		980

Los **costes materiales** del proyecto son los siguientes:

Concepto	Coste (Euros)
Ordenador portátil Surface 3	700
Smartphone OnePlus 3	400
Impresora Brother	90
Windows 10	0
Licencia Unity	0
Licencia Vuforia	0
Licencia SketchUp	0
Visual Studio Community 2017	0
TOTAL	1190 €

Por lo tanto, el **coste final del proyecto**, considerando un salario de ingeniero software junior de 45€/h y un salario de director del proyecto de 90€/h es el siguiente:

Concepto	Coste (Euros)
Costes de recursos humanos	56250
Costes materiales	1190
TOTAL	57440 €

El coste total del proyecto, considerando los conceptos arriba detallados es de **57440€**.

Capítulo 3

Análisis de la Solución

El funcionamiento de la plataforma se divide en dos partes: la primera, correspondiente a la web, y la segunda, que corresponde a la aplicación móvil. Ambas funcionan de la misma manera y tienen las mismas posibilidades, a excepción de la web en el uso de la realidad aumentada, ya que para ello será necesario el uso de la cámara del dispositivo desde la aplicación móvil.

Una vez ingresado, al usuario se le mostrará la portada, donde el usuario iniciará sesión y, dependiendo del rol, será redirigido a su página personalizada. El sistema contará con un sistema de usuarios con diferentes roles, los cuales son:

- Profesor: Usuario principal y administrador de todas las clases a las que tiene asignadas asignaturas. Cuenta con funciones para administrar dichas clases, los alumnos que pertenecen a las mismas, añadir temas y exámenes y edición de contenido, entre otros.
- Alumno: Usuario correspondiente a los alumnos de las clases que usan la plataforma, cuyas opciones dentro de la plataforma son las de ver las unidades didácticas, tanto en la web como en la aplicación móvil y realizar los exámenes en la aplicación.
- Padre/madre: Padres y madres de alumnos, los cuales podrán hacer un seguimiento de la actividad de su hijo en la plataforma, comunicarse puntualmente con el profesor, así como ver las noticias y los avisos.

La plataforma contará con diferentes **unidades didácticas**, cada una de las cuales está formada por apartados, acorde a lo establecido en el BOE (Boletín Oficial del Estado). Por ello, para cada apartado de cada unidad, se dispondrá tanto de la explicación teórica, como de un examen, siendo ambos editables por el profesor.



Los **exámenes** de los apartados serán tipo test. El objetivo es que puedan ser resueltos desde la misma aplicación móvil mediante la interacción del alumno y enviados al instante los resultados a la base de datos de la plataforma, para que puedan ser consultados por el profesor.

La aproximación que se va a utilizar en la plataforma educativa es el primer nivel de realidad aumentada: los marcadores. Dicho marcador se colocará en los apartados y exámenes en los cuales sea necesaria la visualización del objeto o figura en tres dimensiones, anexo a la representación convencional en dos dimensiones, dado que en dicha figura es donde se encuentra el problema de capacidad espacial.

El marcador se escaneará una vez abierta la aplicación móvil en el dispositivo. Además, utilizando la pantalla táctil se dará la opción al usuario tanto de aumentar el tamaño del objeto, mediante un movimiento de pinza con dos dedos, como de girar el objeto, mediante un movimiento de rotación con dos dedos.

Para representar todo ello de un modo gráfico, se ha optado por realizar diferentes bocetos a mano de la mayoría de pantallas de la plataforma educativa, que servirán de referencia para el desarrollo completo del proyecto. Dichos bocetos se muestran a continuación en las ilustraciones [14, 15, 16, 17].

PLATAFORMA EDUCATIVA - WEB



Ilustración 14 Boceto: Principal, about y profesor

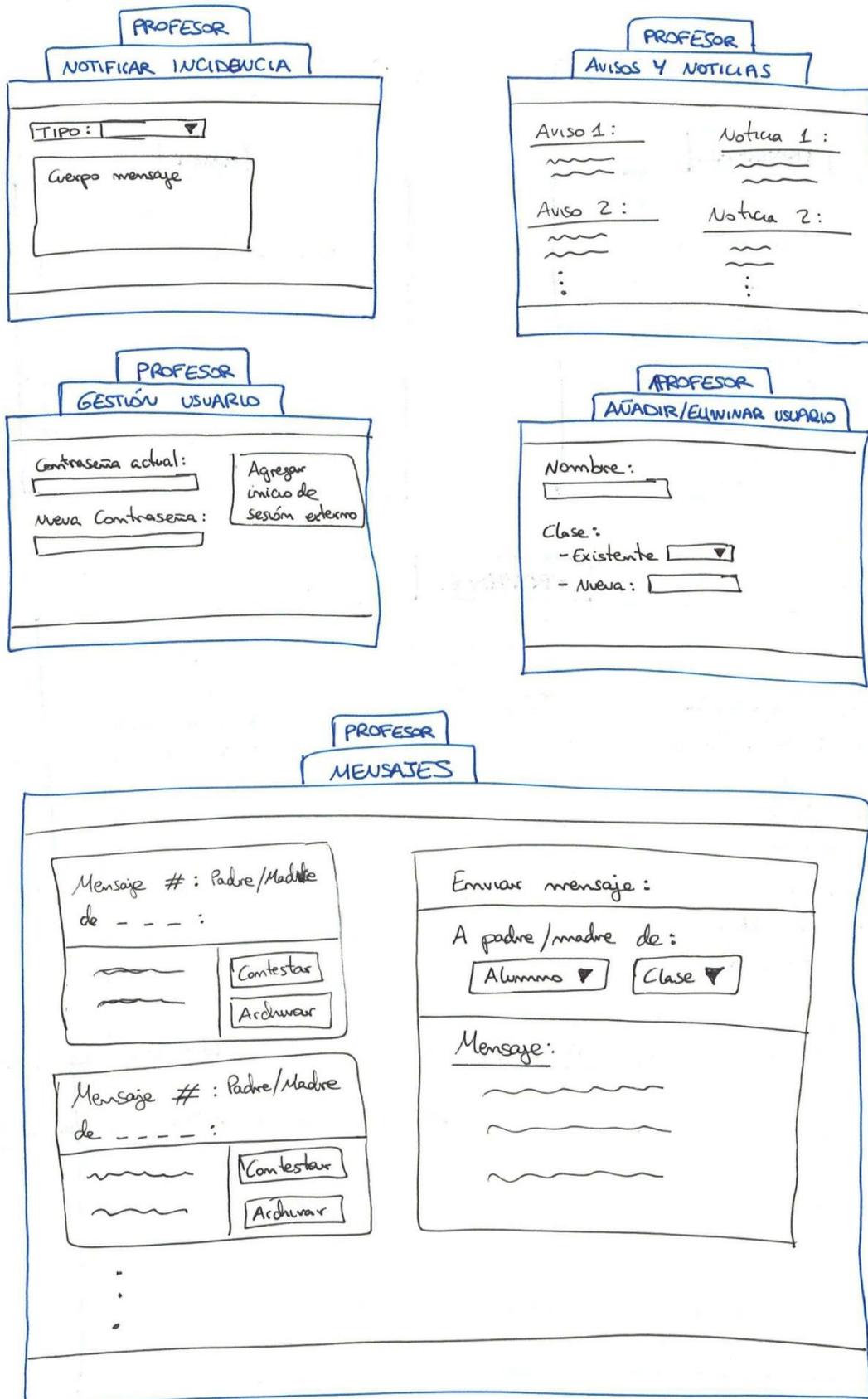


Ilustración 15 Boceto: Gestiones del profesor, mensajes y gestión de clases

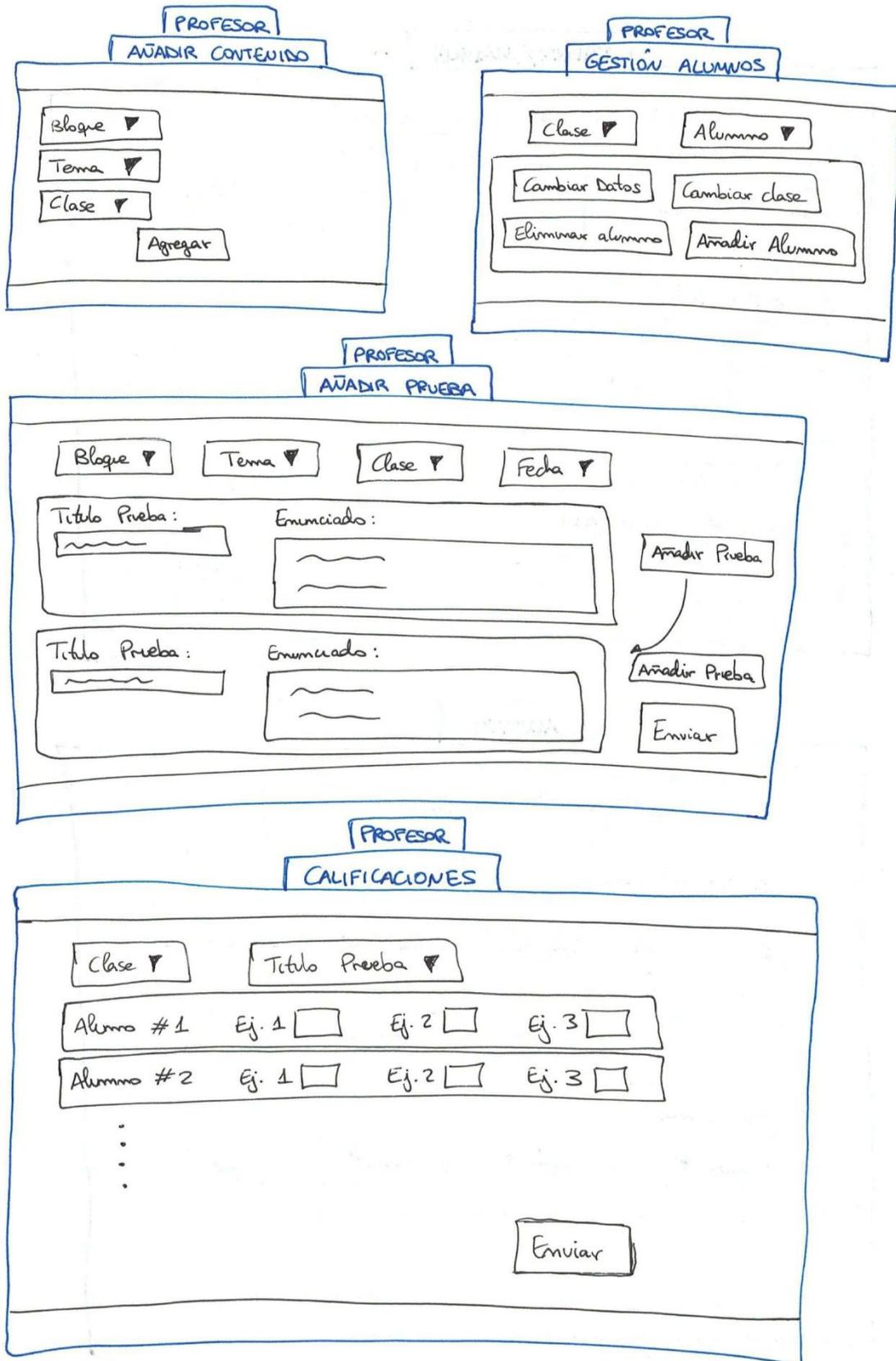


Ilustración 16 Boceto: Profesor, calificaciones y exámenes

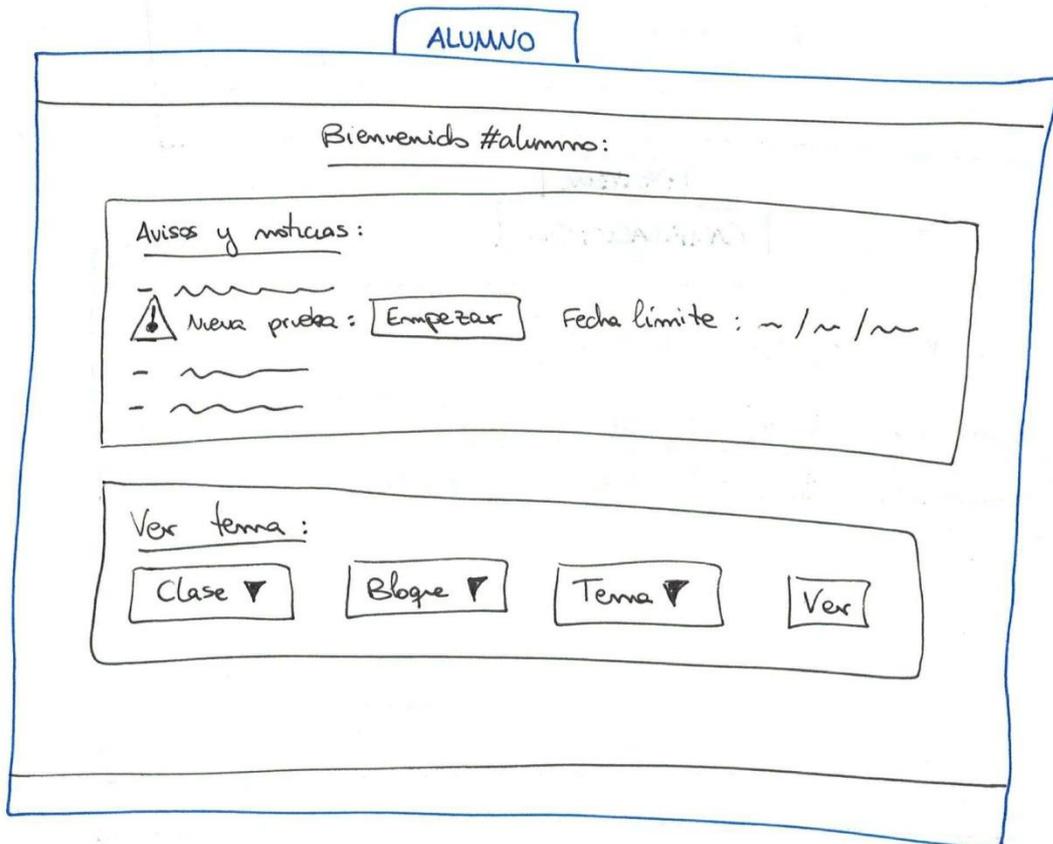
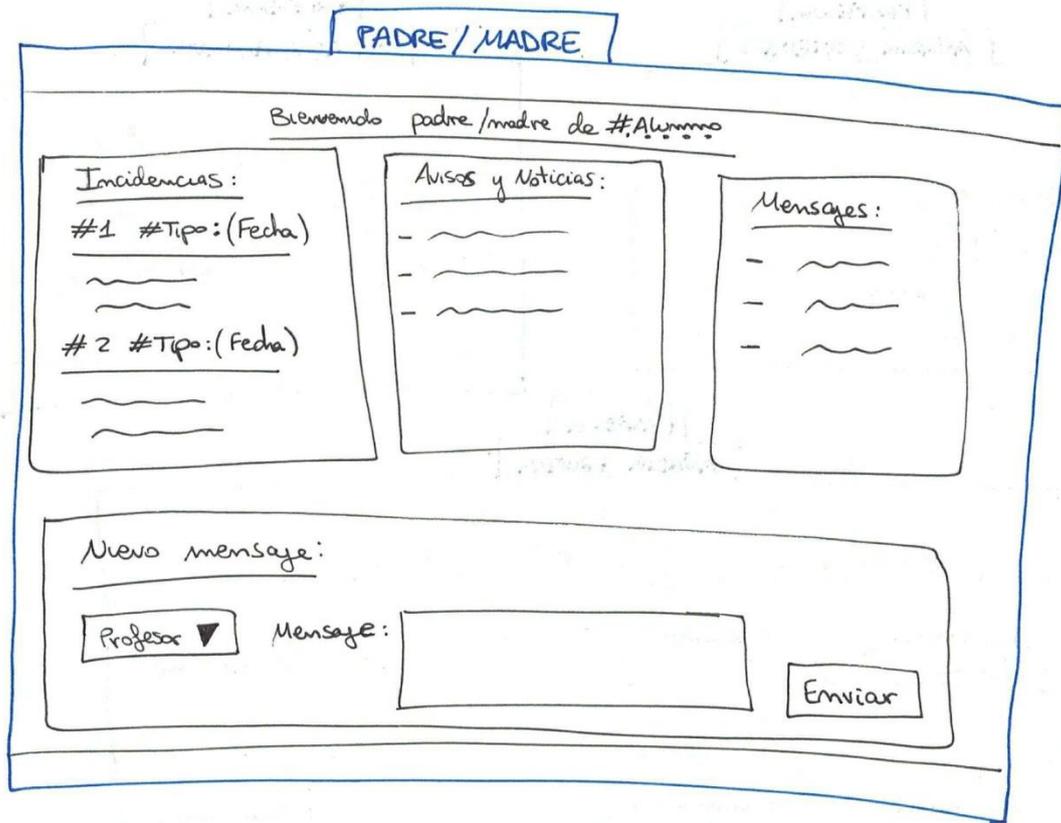


Ilustración 17 Boceto: Padre/Madre y Alumno

Capítulo 4

Diseño y desarrollo de la Solución Técnica

Este capítulo se refiere a la funcionalidad y el diseño de la plataforma educativa. Asimismo, muestra como se ha implementado, explicando el software utilizado y entrando en el detalle de los aspectos y problemas de más relevancia.

4.1 Modelos 3D

Tras capacitarse para el uso del motor gráfico escogido, Unity en este caso, surge la necesidad de añadir todas aquellas figuras y representaciones matemáticas a cada escena en particular. Estos son los llamados modelos en 3 dimensiones.

Un modelo en 3D es un mundo conceptual en tres dimensiones. Dicho modelo puede verse desde dos puntos de vista:

- Punto de vista técnico, representando el modelo como un conjunto de fórmulas matemáticas que describen el “mundo” en 3 dimensiones
- Punto de vista visual, como una representación esquemática visible a través de un conjunto de objetos, elementos y propiedades que, una vez procesados, se convertirán en una imagen en 3D o una animación 3D. Dicho procesamiento se denomina renderización.

4.1.1 Estado del Arte

Existen multitud de soluciones online para obtener modelos en 3D. La mayoría de ellas se especializan en modelados para videojuegos, siendo las categorías principales los vehículos, arquitecturas, personajes, terrenos y animales.



Ilustración 18 Ejemplos de modelos 3D en www.turbosquid.com

4.1.2 Conclusión

Tras evaluar las distintas soluciones, se ha llegado a la conclusión de que ninguna, tanto en conjunto con las demás, como individualmente, reúne las condiciones necesarias para satisfacer las necesidades del proyecto. Esto se debe a que la gran mayoría se centra en modelos 3D relacionados con los videojuegos.

Se han encontrado modelos 3D relacionados con las matemáticas, pero han sido descartados, ya que sería una solución parcial, válida solo para un ámbito de las matemáticas, y en este caso es necesaria una solución que cubra la totalidad de unidades didácticas de la plataforma. Estas soluciones se tendrán en consideración a la hora de proponer mejoras para el proyecto, tales como ampliar la plataforma para dar soporte a otras asignaturas y ramas de la enseñanza.

Tras hacer estas valoraciones, se toma la decisión de buscar soluciones alternativas para fabricar los modelos 3D que son necesarios en este proyecto, mediante aplicaciones de modelado en 3D. Este proceso es similar al de las artes plásticas y la escultura.

4.2 Modelado 3D

El modelado 3D es el proceso por el cual se desarrolla la representación matemática de cualquier objeto tridimensional a través de software. El resultado de dicho proceso es el llamado modelo 3D (ver capítulo 4.1).

Existen aplicaciones de modelado en 3D, que permiten la creación y modificación de objetos en tres dimensiones. Dichas herramientas suelen tener objetos básicos poligonales prefabricados (esferas, triángulos, cuadrados, etc.) como ayuda inicial para armar el modelo. Además, cuentan con herramientas para generación de efectos de iluminación, animación, transparencias, etc.

La imagen en 3D se forma del resultado del conjunto de características del modelo 3D. Este conjunto de características suele estar formado por objetos poligonales, tonalidades, texturas, sombras, transparencias, translucidez, iluminación, profundidad de campo y punto de vista, entre otros.

4.2.1 Estado del Arte

La creación de modelos 3D no es una tarea sencilla, y el uso de software propietario para dicha tarea puede resultar, en términos monetarios, muy costoso. En este proyecto se ha tratado de evitar este factor siempre que sea posible, por lo que se ha optado por la utilización de software libre o software con versión gratuita/estudiante.

Con estos requisitos encontramos las siguientes posibilidades. La mayoría de ellas tienen la característica común de ser capaces de realizar tareas como modelar, texturizar, simulaciones de agua, animación y renderizado, entre otras.

- *Blender* (www.blender.org). Se utiliza normalmente en películas de animación, efectos visuales, arte, aplicaciones 3D interactivas y videojuegos. Especializado y muy popularizado en modelado 3D artístico.

- **K-3D** (www.k-3d.org). Versátil y potente, cuenta con un motor de extensión de procedimiento orientado para todos sus contenidos. Incluye herramientas básicas para *NURBS*, parches, y las curvas de animación.
- **SketchUp** (www.sketchup.com). Capaz de realizar modelos de edificios, modelos para *Google Earth*, o figuras geométricas que pueden ir desde sencillas hasta las más complejas. Hecho originalmente para el diseño arquitectónico, este software destaca por su sencilla curva de aprendizaje.
- **3DSlash** (www.3dslash.net). Plataforma online de diseño 3D muy intuitiva y ágil, considerada como uno de los programas 3D más aptos para que los niños comiencen a modelar.

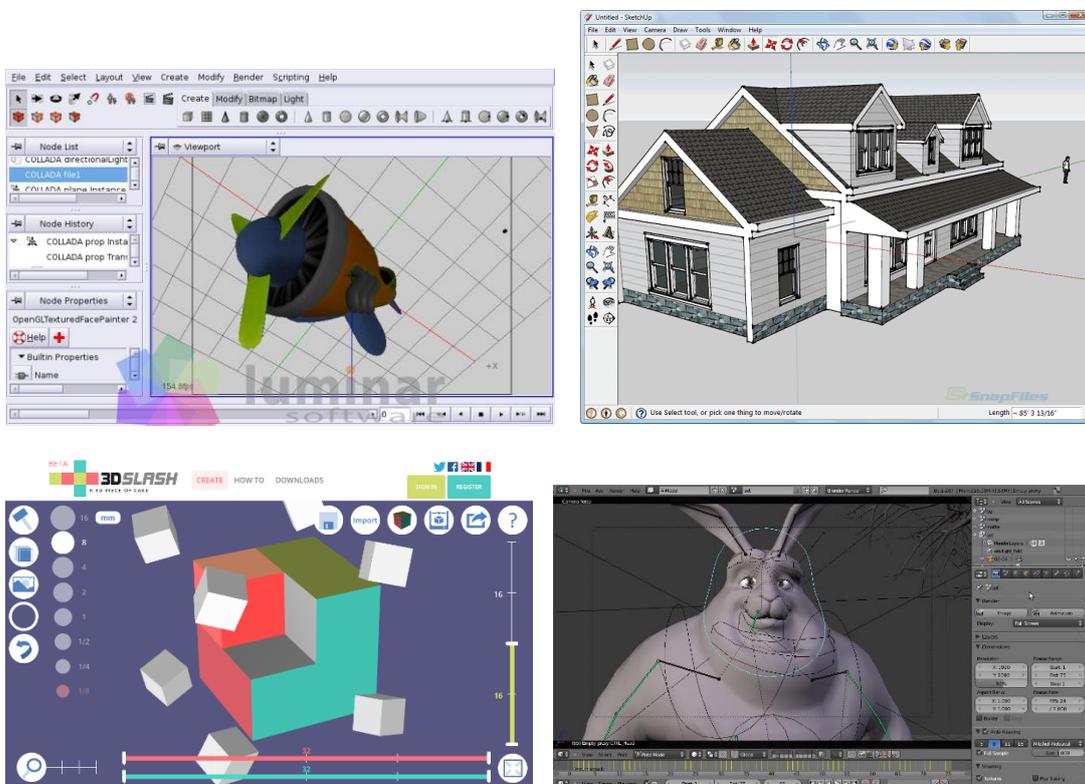


Ilustración 19 *Blender, K-3D, SketchUp y 3DSlash*

4.2.2 Conclusión

Inicialmente, se ha descartado tanto 3DSlash, la cual se encuentra limitada frente a las demás opciones del mercado, como Blender, que, a pesar de su gran soporte en forma de tutoriales online, se especializa en un área distinta del propósito principal del proyecto.

Tras hacer pruebas simples con los softwares de K-3D y SketchUp, se ha llegado a la conclusión de utilizar SketchUp como software de modelado 3D para proveer al motor gráfico de todas las figuras y representaciones matemáticas necesarias.

Se ha llegado a esta conclusión debido a la percepción de ser un excelente punto de partida para el modelado 3D, ya que en las pruebas ha sido muy intuitivo de utilizar. SketchUp Make es la opción gratuita. A su favor tiene la enorme comunidad existente, la cual ha sido necesaria para consultas puntuales, incluyendo tutoriales para iniciarse y contenido para todo tipo de niveles.

Además, soportando la impresión 3D, en un futuro nos puede aportar la fantástica capacidad de poder imprimir físicamente todos los elementos sólidos que tengamos en nuestras escenas de realidad aumentada. Este aspecto se ha señalado como una futura ampliación del proyecto.

4.2.3 Procedimiento

Usando SketchUp, el software elegido para el modelado 3D de todas las figuras y representaciones matemáticas del proyecto, se sigue un procedimiento similar a la hora de modelar cada uno de estos elementos. El siguiente procedimiento consta del modelado de un octaedro.

Utilizando la herramienta de formas rectangulares, se hace la forma de un cuadrado.

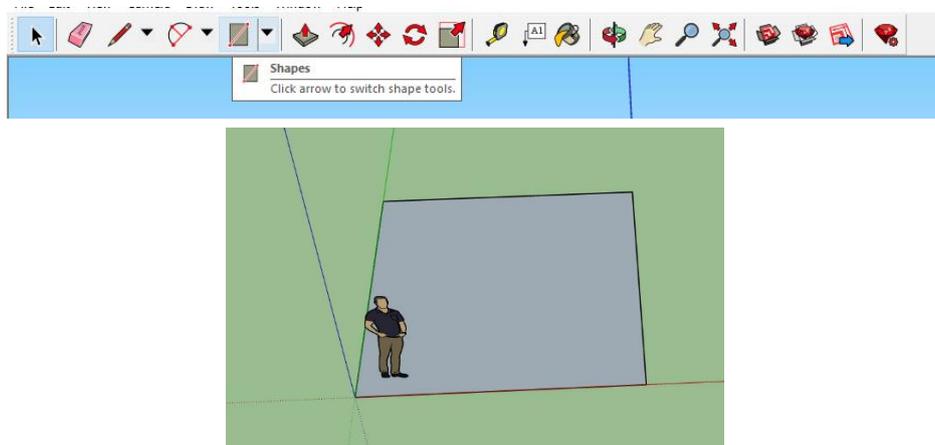


Ilustración 20 Formas rectangulares y cuadrado en SketchUp

Con la herramienta push pull, se proyecta el cuadrado en la dirección positiva del eje Z, para lograr un cubo. Aprovechando esto, dicha figura se utilizará en su apartado correspondiente de la unidad didáctica de los poliedros y cuerpos de revolución.

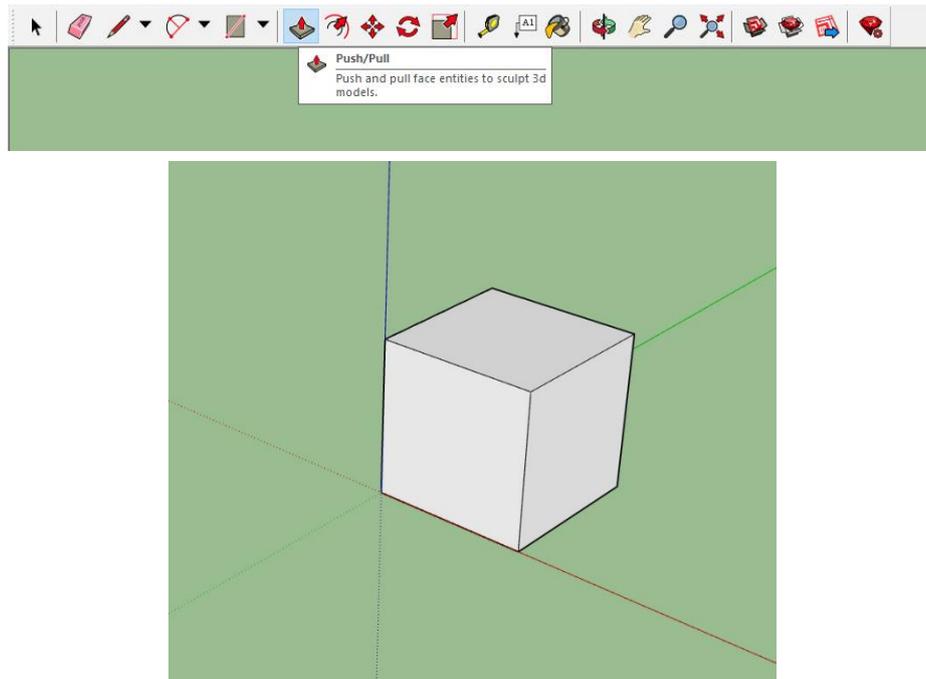


Ilustración 21 *Push/Pull* y cubo en SketchUp

Tras ello se trazan las líneas que unen cada vértice con su opuesto, en cada uno de los cuadrados, con la herramienta correspondiente.



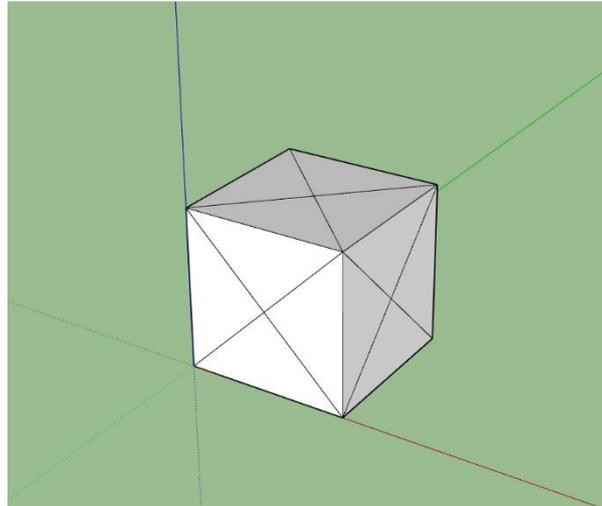


Ilustración 22 Líneas y cuadrado en *SketchUp*

Utilizando la herramienta borrador, en cada una de las aristas de los cubos, se obtienen dos tetraedros, es decir, dos poliedros formados por cuatro triángulos equiláteros, cada uno.

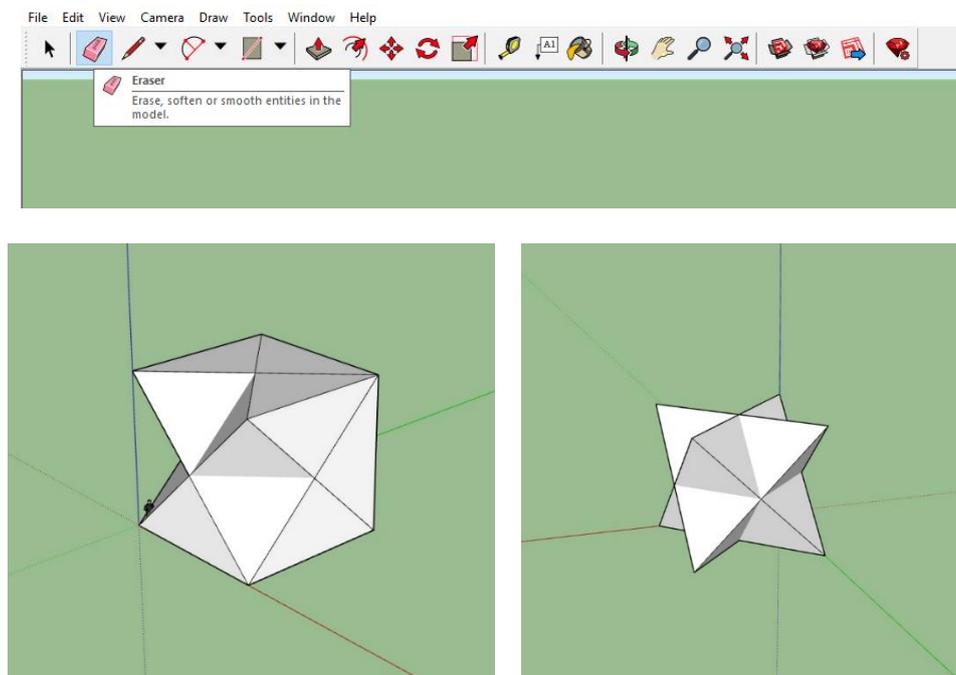


Ilustración 23 Borrador y dos tetraedros en *SketchUp*

Para añadir colores y texturas al modelo (llamados materiales, en SketchUp), se utiliza la herramienta pintar, con la que, diferenciando los dos tetraedros, se logrará diferenciar las caras del octaedro de forma sencilla.

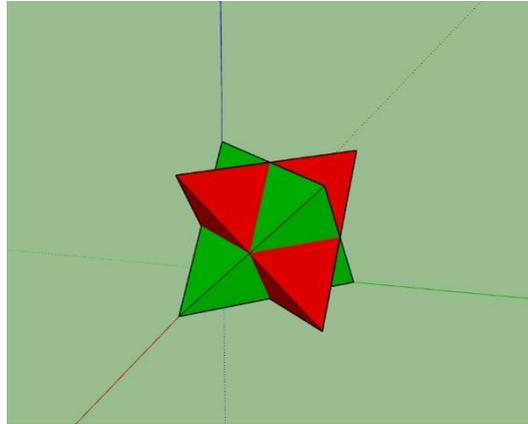


Ilustración 24 Dos tetraedros coloreados en *SketchUp*

Finalmente, intersecando las caras del modelo actual, se obtiene el octaedro.

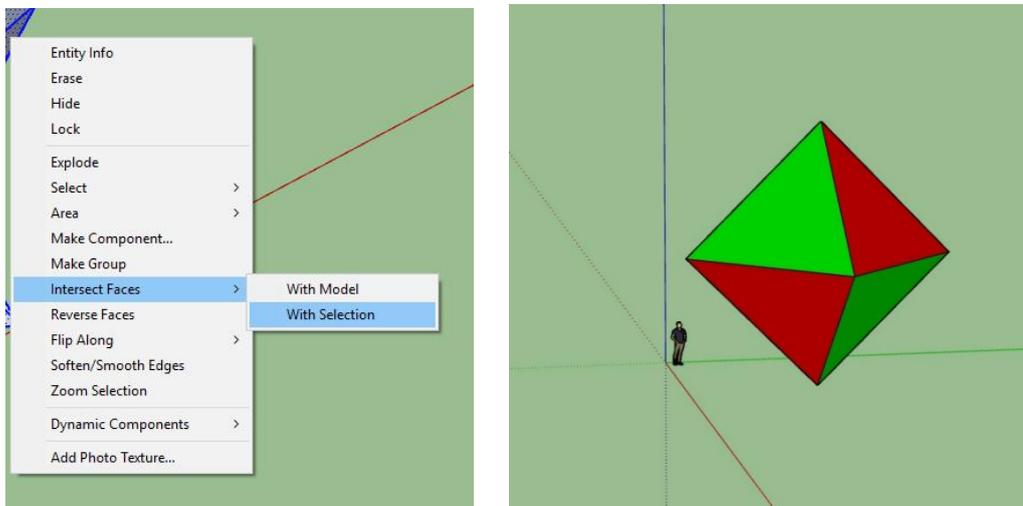


Ilustración 25 Intersección de caras y Octaedro en *SketchUp*

SketchUp permite la exportación del modelo 3D en formato .3ds, lo cual es idóneo, ya que es el tipo de archivo que utilizaba nativamente el antiguo Autodesk 3D Studio, un software de la compañía Autodesk. Esta compañía es muy conocida en el ámbito de la ingeniería y el diseño 2D y 3D. Debido a esto, dicho formato .3ds es ampliamente soportado, por lo que su importación al motor gráfico, Unity, no será un problema en el proyecto.



4.3 Librería de Realidad Aumentada

Para conseguir el propósito de dotar al motor gráfico, Unity, de la capacidad para trabajar con escenas de realidad aumentada, es necesario un conjunto de herramientas sobre el que desarrollar el software. Dicho conjunto se denomina SDK (Software Development Kit).

Normalmente, un SDK se compone de APIs (Application Programming Interface) o frameworks, que son librerías para ser utilizadas por el software, además de la documentación completa y un IDE (Integrated Development Environment), sobre el que se programa el desarrollo del software.

4.3.1 Estado del Arte

Tratando de seguir una línea similar en todo el proyecto, en el aspecto de la realidad aumentada también se ha tratado de evitar el uso de software propietario, para reducir el coste final del proyecto. Dado que la aplicación móvil se ejecuta sobre Android y se desarrolla en Unity, la librería o SDK elegida debe ser compatible con ambos.

Con estos requisitos se encuentran las siguientes posibilidades. Todas ellas satisfacen las necesidades de compatibilidad y coste del proyecto y, además, son de código abierto o con licencia gratuita.

- *ARToolkit* (www.artoolkit.org). SDK que destaca por su facilidad de instalación. Multiplataforma y de dificultad elevada por la variedad de funciones que ofrece.
- *Vuforia* (www.vuforia.com). SDK muy extendido debido a su comunidad y soporte. Cuenta con una licencia gratuita con marcas de agua y limitaciones en el número de marcadores y reconocimientos en la nube.



4.3.2 Conclusión

Tras descartar otras librerías y SDKs, debido tanto a incompatibilidades con Unity como al no cumplimiento de los requisitos, se ha optado por elegir la opción que mejor documentación dispone. Esto ha sido así debido a que durante el desarrollo del proyecto surgen numerosos errores y puntos del desarrollo donde resolverlos es crucial.

Por ello, el elegido ha sido Vuforia. Vuforia es un SDK muy utilizado en aplicaciones de realidad aumentada cuya mayor ventaja es la posibilidad de hacer importaciones para iOS y Android. Cuenta con reconocimiento de diferentes tipos de objetos, tales como cajas, cilindros y planos. Además, permite el reconocimiento de texto, terrenos y VuMarks (combinación de imágenes y códigos QR).

Vuforia, en su portal de desarrolladores, ofrece a los mismos la posibilidad de subir sus propios marcadores para incorporarlos a su aplicación y que sea posible reconocerlos en la misma. Dicho reconocimiento se puede realizar usando el almacenamiento en la nube o el almacenamiento local en el dispositivo móvil.

Una de las razones de peso por las que se ha considerado utilizar este SDK es que ofrece un paquete para Unity y se pueden desarrollar aplicaciones de una manera más sencilla.

4.3.3 Procedimiento

La primera acción es registrarse en el portal de desarrolladores de Vuforia, lo que permite descargar el SDK para el entorno deseado, en este caso, Unity.

En el mismo portal existe un apartado de ejemplos, dedicado a probar funciones de Vuforia en Unity, por lo que también se han descargado los paquetes de funciones core y avanzadas.

Gracias a ellos la capacitación del SDK Vuforia ha sido más sencilla, ya que han servido como base para la implementación posterior de la aplicación.

4.3.4 Fase de testeo

Una vez instaladas y configuradas correctamente todas las herramientas, se ha optado por empezar el desarrollo de la aplicación a partir de la experimentación con los ejemplos que ofrece Vuforia.

Dentro de Unity y trabajando con la prueba proporcionada por Vuforia llamada ImageTargets, se ha tenido que obtener una licencia gratuita de Vuforia para la aplicación móvil y poder utilizar la escena. Se ha obtenido y agregado al apartado *App License Key* en Unity. Dicha licencia es necesaria para poder utilizar la ARCamera, es decir, la cámara de Vuforia para realidad aumentada, la cual se utilizará en el proyecto.



Ilustración 26 Image targets en Unity

Tras ello se imprimieron los marcadores que se proporcionan con el paquete y, después de instalar el SDK de Android se logró, tras algunos errores, construir e instalar la aplicación en el Smartphone Android, en este caso, OnePlus 3. Esto ha sido crucial y reconfortante ya que es un primer hito y es, en concepto, un principio de lo que se quiere lograr en la aplicación móvil de la plataforma educativa.



Ilustración 27 Ejemplo *Vuforia Image Targets* con marcador impreso

Una vez investigado a través de la documentación, se pretende lograr el mismo comportamiento, pero con un marcador creado por el desarrollador. Para ello, con Adobe Photoshop se ha creado un marcador de prueba para importarlo a Vuforia y posteriormente imprimirlo. Además, se descarga un marcador en formato QR de internet para hacer la prueba también con ese.



Ilustración 28 Marcador de prueba

Para ello, es necesario es crear una base de datos de targets, dentro del portal developer de Vuforia, similar al proceso de creación anterior de la licencia para la aplicación. Una vez creada la base de datos, es posible agregar y subir marcadores, ya sea tanto una imagen plana, como cubos, cilindros y objetos 3D. En este caso, se realiza la subida de los marcadores de prueba, es decir, imágenes planas.

El siguiente paso es descargar toda la base de datos (en este caso, solo con los dos marcadores de prueba) para cargarla en Unity. Se importa la base de datos fácilmente a Unity, tanto el archivo .jpg de cada marcador, como dos archivos .xml y .dat generados por Vuforia. tras cambiar la escala del marcador importado a un valor de 1, ya que si no la cámara de realidad aumentada, no alcanza a ver los 3 objetos de ejemplo a la vez.

Tras resolver algunos errores de activación de la base de datos al construir la aplicación, se ha logrado que funcione con el marcador de prueba.



Ilustración 29 Aplicación en funcionamiento con marcadores de prueba impresos, sobre los objetos de ejemplo.

El siguiente paso es la creación de un contenido propio 3D para mostrarlo al detectar el marcador de prueba.

Para ello, se ha creado un objeto 3D, en este caso un cubo prefabricado por Unity, ya que no es un poliedro complejo y lo tiene por defecto entre sus modelos. Tras asociarlo a un marcador y colocarlo, se ha añadido además una animación al objeto. Consta de una rotación sobre el eje Y con el objetivo de que, al detectar el marcador, el usuario no tenga que moverse obligatoriamente para ver las caras del objeto que están ocultas, en el caso de que no esté animado.

Este objetivo se ha conseguido con una animación de rotación asociándola al cubo. Ha sido relativamente sencillo de configurar el movimiento

gracias a los conocimientos anteriormente adquiridos en el programa de edición de video Sony Vegas, ya que el modo de trabajar con las animaciones es similar.

Además, se ha añadido a la escena un punto de luz direccional para diferenciar mediante la misma todas las caras del objeto, ya que el color es distinto. Tras ajustar la cámara y el plano se consigue el objetivo final de esta fase de pruebas personales: Mediante un marcador personal, ya sea hecho por el desarrollador o descargado e incorporado a la base de datos, detectar el mismo y representarlo elevado en el eje Z rotando a una velocidad moderada.

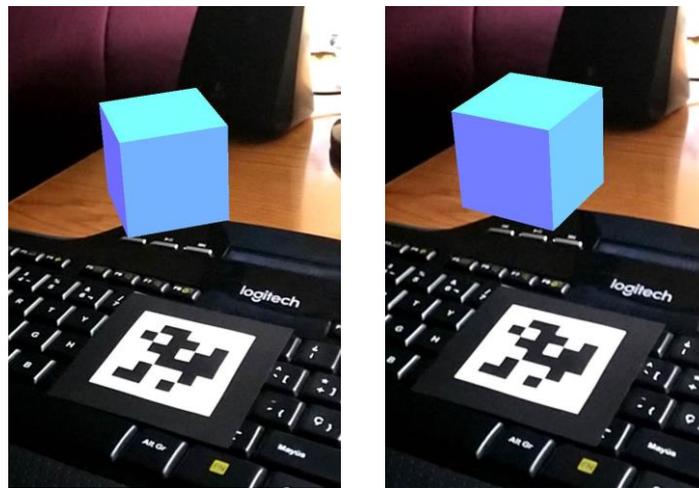


Ilustración 30 Escena final de pruebas

4.4 Marcadores de Realidad Aumentada

Un marcador es aquel elemento gráfico (fotografía, libro, revista, dibujo, etc.) que el smartphone detectará para incorporar la escena de Realidad Aumentada.

Normalmente, las aplicaciones móviles vienen con marcadores de serie, los cuales el usuario debe imprimir para poder utilizarlas. En este proyecto, los marcadores se proporcionan junto a la plataforma educativa, por lo que se ha hecho un estudio para encontrar la mejor solución.

En un primer momento se planteó la opción, similar a las pruebas realizadas con Vuforia, de hacer un marcador personalizado, mediante una herramienta de edición, por cada escena de realidad aumentada. Esto ha sido descartado debido a problemas de detección de los marcadores.

Por lo tanto, se ha optado por una solución online, llamada **Brosvision**. Es un generador online de marcadores, con multitud de funciones y personalizaciones para que los marcadores sean aleatorios y únicos. Dicho generador permite un uso libre y completamente editable de los marcadores generados.

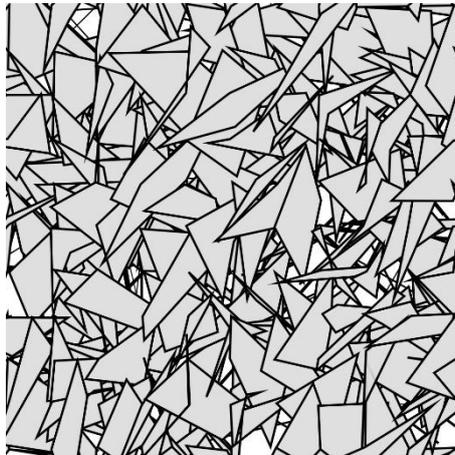


Ilustración 31 Marcador utilizado en el proyecto

4.5 Plataforma de desarrollo y motor gráfico

Como punto de partida para la implementación de la aplicación móvil, el motor gráfico y plataforma de desarrollo es la única herramienta que no ha sido necesario un estudio del arte específico, debido a la recomendación por parte del tutor. Para ello, se ha escogido el motor gráfico y de desarrollo llamado Unity. Unity originalmente era un motor de desarrollo de videojuegos, ya que en la actualidad se utiliza tanto para desarrollo de aplicaciones móviles como para otros ámbitos diferentes.



El motor implementa un editor de escenarios, el cual se usa para importar objetos en 3D y manipularlos con una gran cantidad de opciones de forma fácil en la escena. Una de las ventajas de Unity es que es multiplataforma, por lo que cualquier desarrollo que se haga se puede portar a diferentes plataformas. Esto es especialmente útil en el proyecto, ya que el propósito es la exportación de las escenas de realidad aumentada a Android, en forma de aplicación móvil.

Además, permite la programación usando tanto scripts, como funciones en C/C++. Tiene una documentación muy completa en la web del fabricante (<https://docs.unity3d.com/ScriptReference/index.html>) y está orientado a componentes. Dispone de una licencia gratuita que permite el desarrollo de aplicaciones móviles y juegos sin coste alguno, y de una tienda dentro del propio programa, que ofrece el acceso a recursos 3D, tanto gratuitos como de pago.

Por todo ello, Unity resulta ser también una gran alternativa a Unreal Engine, otro motor gráfico especializado en PC y consolas, sobre todo porque la calidad que se puede lograr con el mismo es muy alta y los resultados se pueden obtener en poco tiempo.

4.5.1 Procedimiento

Unificando las soluciones para los modelos 3D, los marcadores de realidad aumentada y la librería de realidad aumentada, se han desarrollado en Unity las escenas de todos los marcadores. Dichos marcadores corresponden a los apartados descritos en el capítulo 5.2 *Resultados*.

En primer lugar, se ha desarrollado el apartado de la explicación teórica, así como las animaciones para las rotaciones de figuras y su manipulación (zoom y rotación) mediante el uso de la pantalla táctil.

Todas las ilustraciones de este capítulo, mostradas a continuación, corresponden a capturas de pantalla del desarrollo de la aplicación móvil en el motor gráfico Unity.

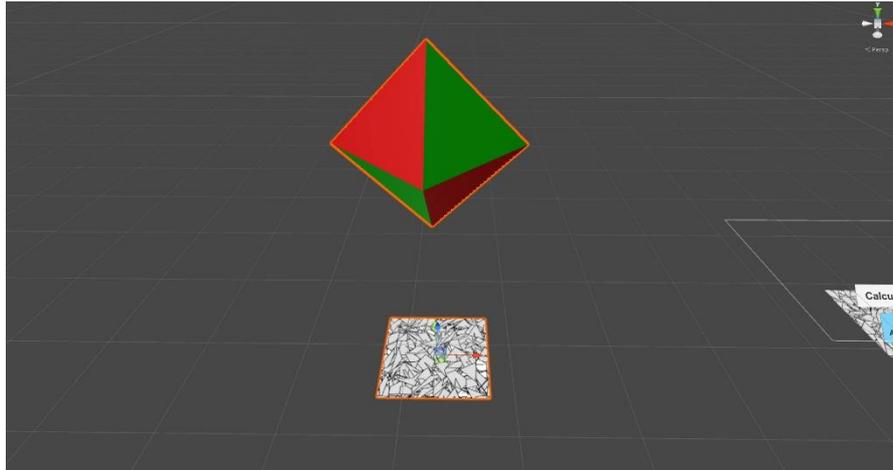


Ilustración 32 Captura de pantalla Octaedro en *Unity*

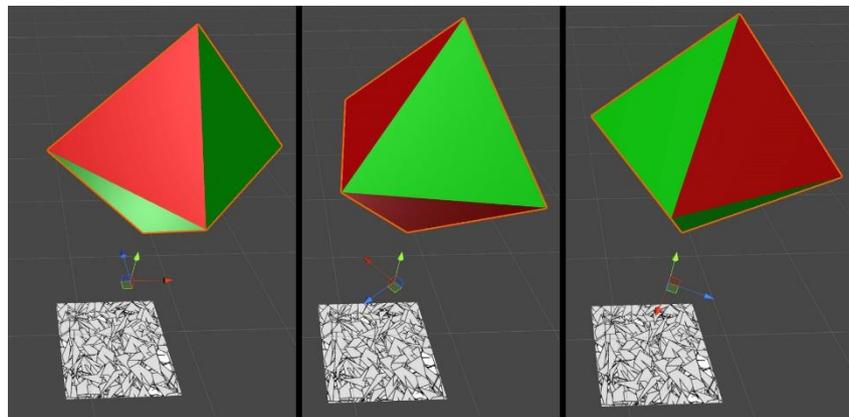


Ilustración 33 Captura de pantalla rotación en *Unity*

En segundo lugar, se han desarrollado los enunciados y las soluciones del examen, los cuales se detallan en las siguientes ilustraciones.

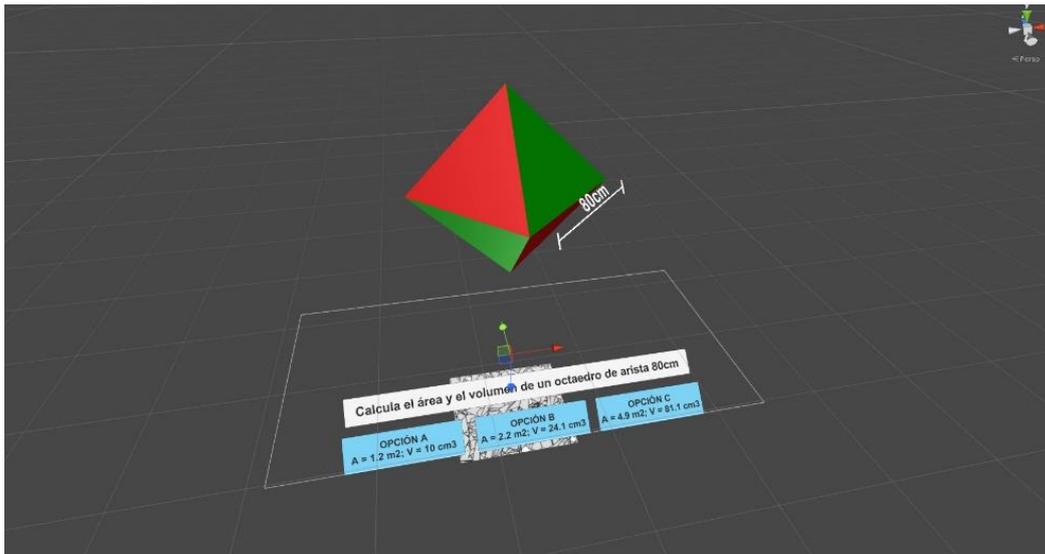


Ilustración 34 Captura de pantalla enunciado de ejercicio 1 en *Unity*

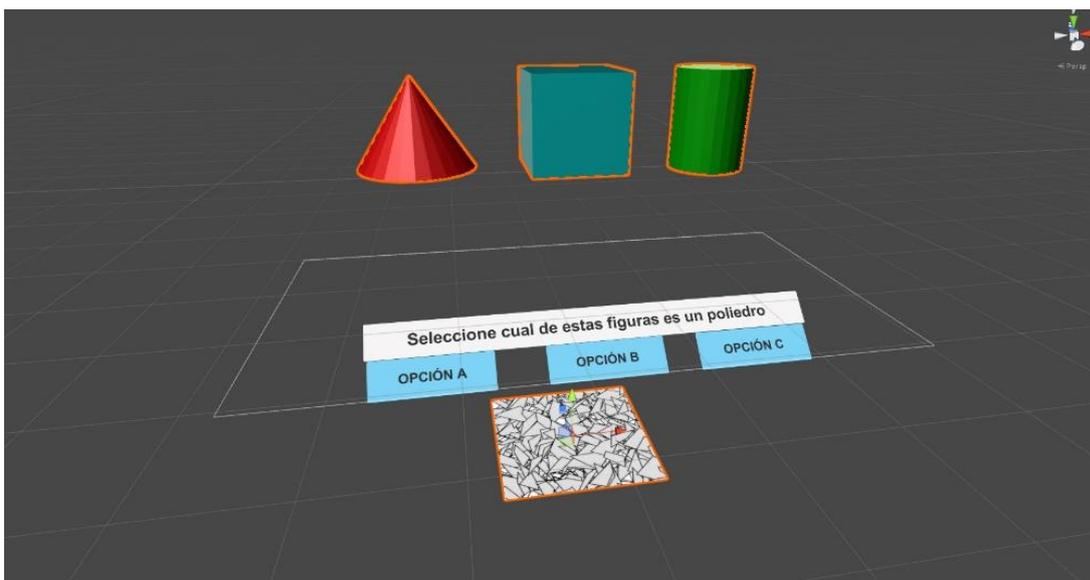


Ilustración 35 Captura de pantalla enunciado de ejercicio 2 en *Unity*

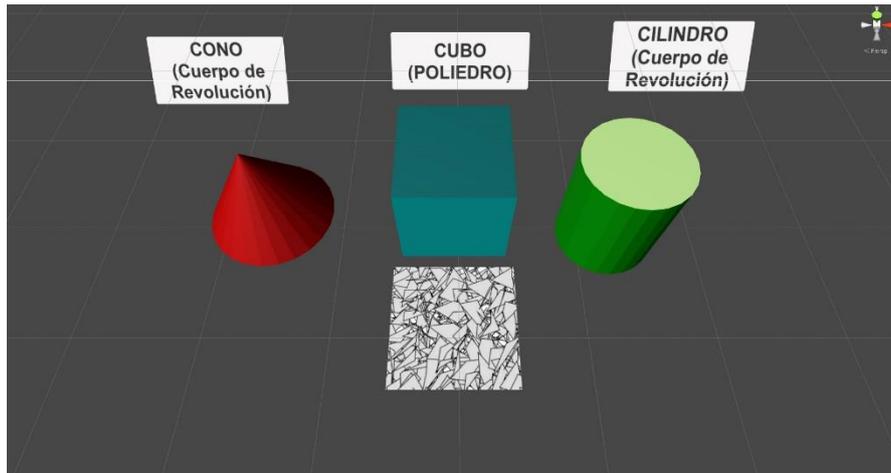


Ilustración 36 Captura de pantalla solución de ejercicio 2 en Unity

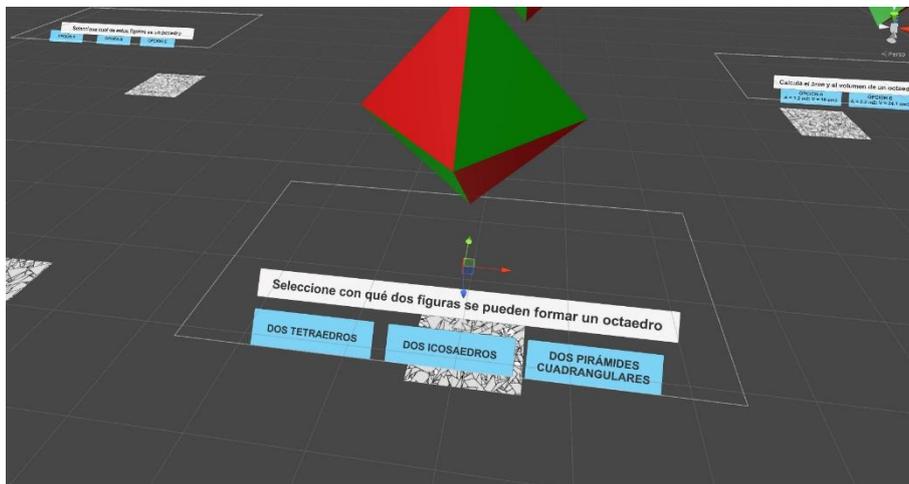


Ilustración 37 Captura de pantalla enunciado de ejercicio 3 en Unity

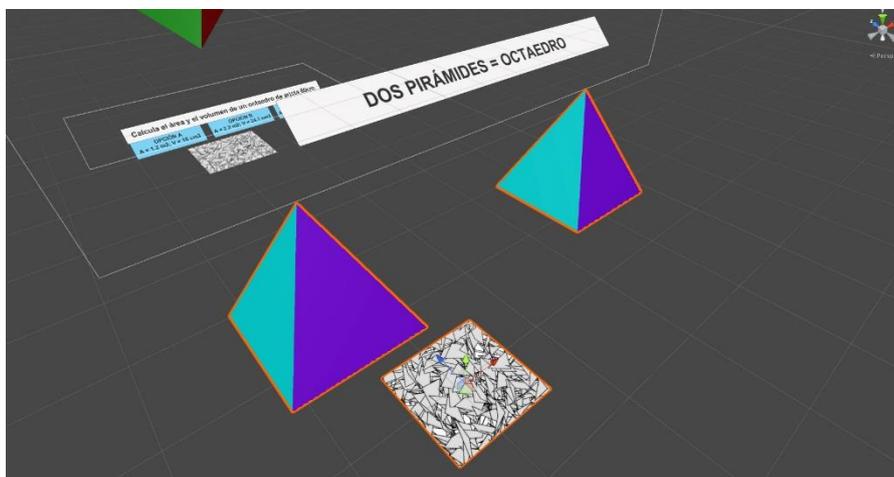


Ilustración 38 Captura de pantalla solución de ejercicio 3 en Unity

Tanto para los botones, como para los eventos de detección de marcadores, su comportamiento se desarrolla gracias a dos tipos de scripts. Para su edición, se ha utilizado el IDE Visual Studio. En la ilustración 39 se detalla un ejemplo del comportamiento de un botón, correspondiente a una pregunta de examen.

Además, en la ilustración 40 se muestra el script *DefaultTrackableEventHandler*, se trata del manejador del comportamiento por defecto al detectar un marcador.

```
1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.UI;
5
6  public class aBoton : MonoBehaviour {
7
8      public Text mytext = null;
9      public int counter = 0;
10     public void changeText()
11     {
12         counter++;
13         if (counter % 2 == 1)
14         {
15             mytext.text = "INCORRECTO";
16             mytext.fontSize = 42;
17         }
18         else
19         {
20             mytext.text = "OPCIÓN A\nA = 1.2 m2; V = 10 cm3";
21             mytext.fontSize = 32;
22         }
23     }
24 }
25
```

Ilustración 39 Captura de pantalla de script botón en *Visual Studio*

```
DefaultTrackableEventHandler.cs  X
New Unity Project  Vuforia.DefaultTrackableEventHandler

70
71     private void OnTrackingFound()
72     {
73         Renderer[] rendererComponents = GetComponentsInChildren<Renderer>(true);
74         Collider[] colliderComponents = GetComponentsInChildren<Collider>(true);
75
76         // Enable rendering:
77         foreach (Renderer component in rendererComponents)
78         {
79             component.enabled = true;
80         }
81
82         // Enable colliders:
83         foreach (Collider component in colliderComponents)
84         {
85             component.enabled = true;
86         }
87
88         Canvas[] canvasObjects = GetComponentsInChildren<Canvas>();
89
90         foreach (Canvas canvas in canvasObjects)
91         {
92             canvas.enabled = true;
93         }
94
95         Debug.Log("Trackable " + mTrackableBehaviour.TrackableName + " found");
96     }
97
98
99     private void OnTrackingLost()
100    {
101        Renderer[] rendererComponents = GetComponentsInChildren<Renderer>(true);
102        Collider[] colliderComponents = GetComponentsInChildren<Collider>(true);
103
104        // Disable rendering:
105        foreach (Renderer component in rendererComponents)
106        {
107            component.enabled = false;
108        }
109
110        // Disable colliders:
111        foreach (Collider component in colliderComponents)
112        {
113            component.enabled = false;
114        }
115
116        Canvas[] canvasObjects = GetComponentsInChildren<Canvas>();
117
118        foreach (Canvas canvas in canvasObjects)
119        {
120            canvas.enabled = false;
121        }
122
123        Debug.Log("Trackable " + mTrackableBehaviour.TrackableName + " lost");
124    }
125
126
127    }
128
129    #endregion // PRIVATE_METHODS
130
131
132
```

Ilustración 40 Captura de pantalla script *DefaultTrackableEventHandler* en *Visual Studio*

Por último, todo ello en conjunto da como resultado la escena completa de la aplicación móvil:

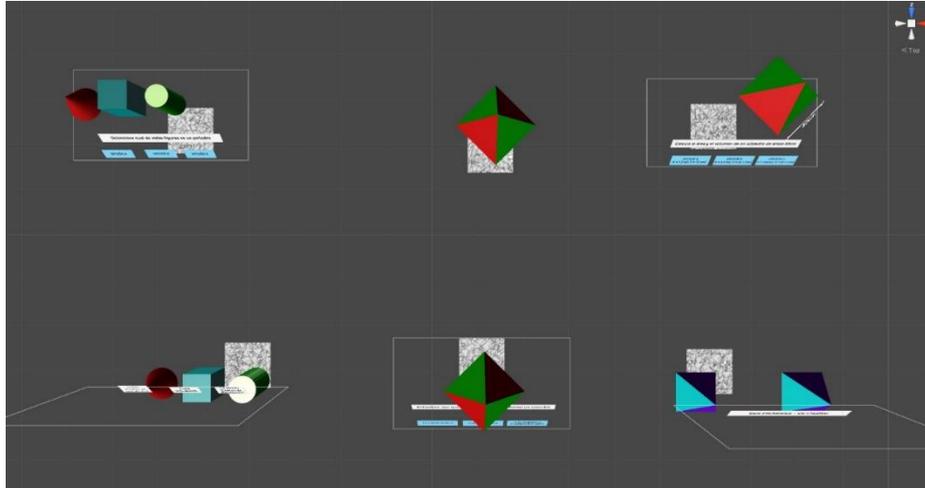


Ilustración 41 Captura de pantalla vista desde arriba en *Unity*

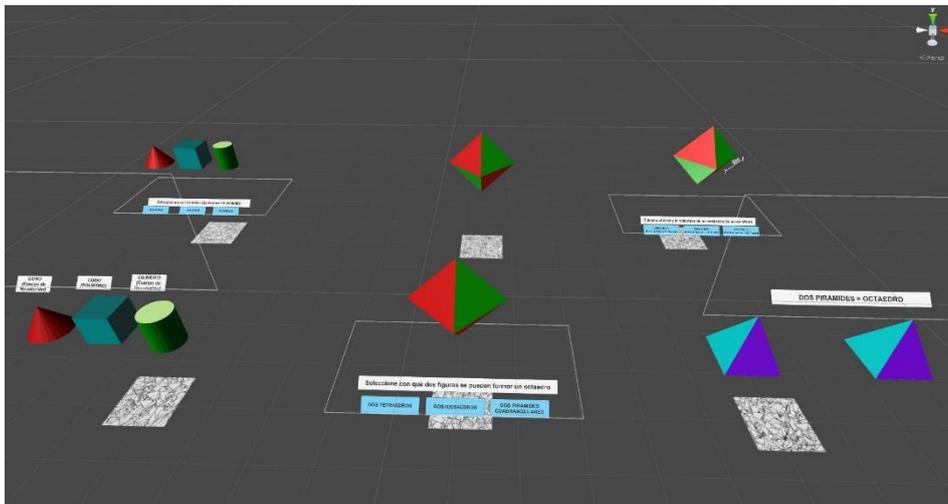


Ilustración 42 Captura de pantalla vista en perspectiva en *Unity*



Capítulo 5

Evaluación y Resultados

5.1 Evaluación

Durante el desarrollo de la plataforma educativa, el procedimiento seguido para evaluar su correcto funcionamiento ha sido similar. En primer lugar, cada vez que un hito era alcanzado, se realizaba la comprobación de su correcto funcionamiento sobre el dispositivo físico, ya sea tanto el ordenador como el dispositivo móvil.

Debido al sector en el que se engloba el proyecto, ha sido muy común encontrar fallos y errores en el desarrollo de cada hito, por lo que el método utilizado ha sido el conocido como ensayo y error. Con frecuencia se han encontrado problemas y soluciones no óptimas, a los que se ha tratado de buscar una alternativa como solución.

Una vez que el desarrollo alcanzó fases más avanzadas, se realizaron pruebas con diferentes sujetos. Dichas pruebas consistieron en ver como usuarios que no estaban familiarizados con la realidad aumentada, probaban la aplicación móvil y recibir su *feedback* acerca de cómo mejorar la aplicación.

5.1.1 Etapa de Pruebas

Una vez desarrollada por completo la plataforma educativa, se ha puesto en marcha una etapa de pruebas en un entorno educativo real, para probar que efectivamente, los beneficios y objetivos que se definieron teóricamente se obtienen realmente.

Dicha etapa de pruebas se ha llevado a cabo durante una semana en una clase de primer curso de la E.S.O, perteneciente a un instituto de la Comunidad de Madrid. La aplicación práctica se ha realizado en un grupo de 21 alumnos, cuyo contexto socioeconómico familiar es medio-alto en general. La totalidad del alumnado tiene acceso diario a internet y dispositivos electrónicos en casa. En el aula, el sistema de trabajo es llevado a cabo con una tablet como herramienta principal, y se emplea el trabajo cooperativo como medio pedagógico de gestión de aula.

Las pruebas constan de la explicación teórica por parte del profesor del apartado didáctico, apoyándose en la realidad aumentada, a modo de explicación para los alumnos, a los cuales se les ha proporcionado la aplicación móvil para que la utilicen en clase en smartphones y tablets.

Además, los alumnos, en un plazo de una semana, deberán hacer el examen de la plataforma educativa, así como rellenar un cuestionario online, acerca de la experiencia de uso con la aplicación. A continuación, se detallan todos los resultados de la etapa de pruebas, de la cual han sido partícipes 21 alumnos.

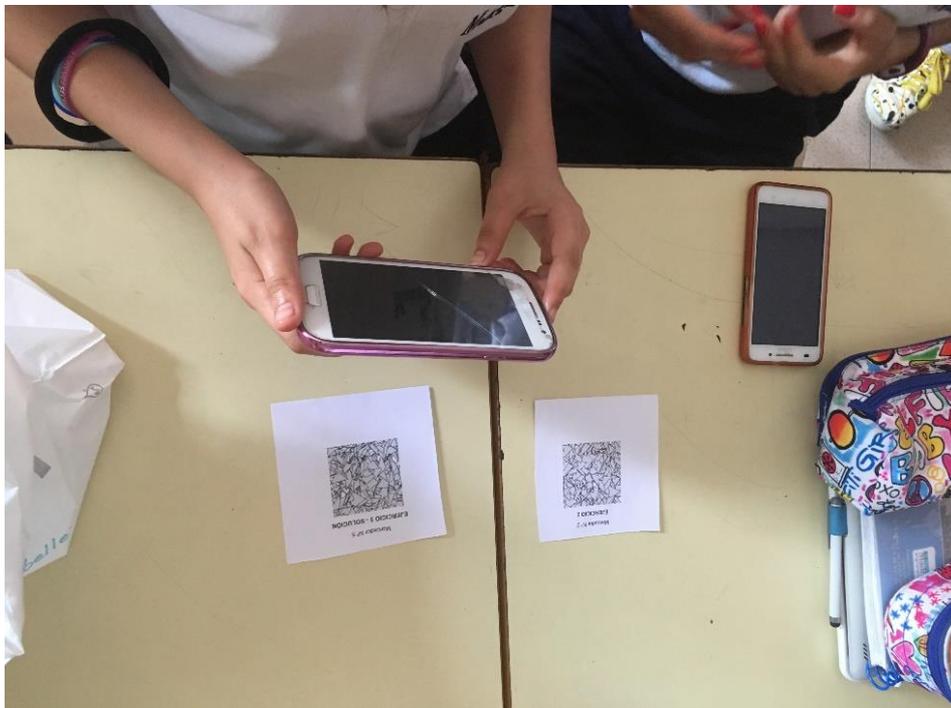


Ilustración 43 Fotografía 1 de uso en el aula

5.1.1.1 Demografía del grupo-muestra y Calificaciones:

Para lograr un informe detallado de las pruebas en el entorno educativo real, se ha de conocer el género de los alumnos, así como su conocimiento previo de la realidad aumentada.

Selecciona tu género:

21 respuestas

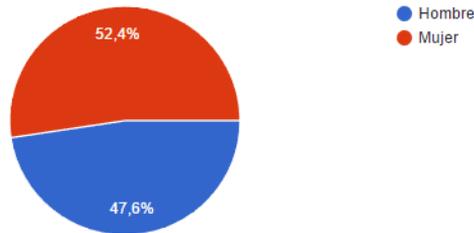


Ilustración 44 Demografía de la clase

¿Sabías qué era la realidad aumentada antes de realizar esta actividad?

21 respuestas

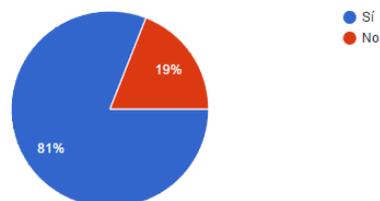


Ilustración 45 Conocimiento previo de realidad aumentada

Normal	Valor medio	Intervalo
5,95/10 puntos	6/10 puntos	0-10 puntos

Distribución de las puntuaciones totales

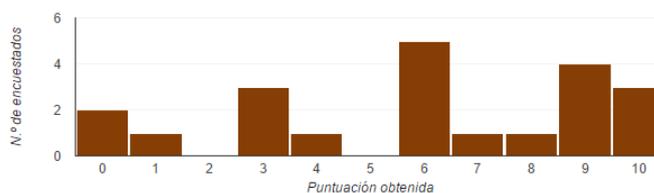


Ilustración 46 Calificaciones del examen realizado en el aula

Se trata, por tanto, de una clase equitativa en género que, en su gran mayoría, es conocedora de la tecnología a utilizar. En cuanto a las calificaciones obtenidas en el examen, se observa una mayoría de resultados positivos.

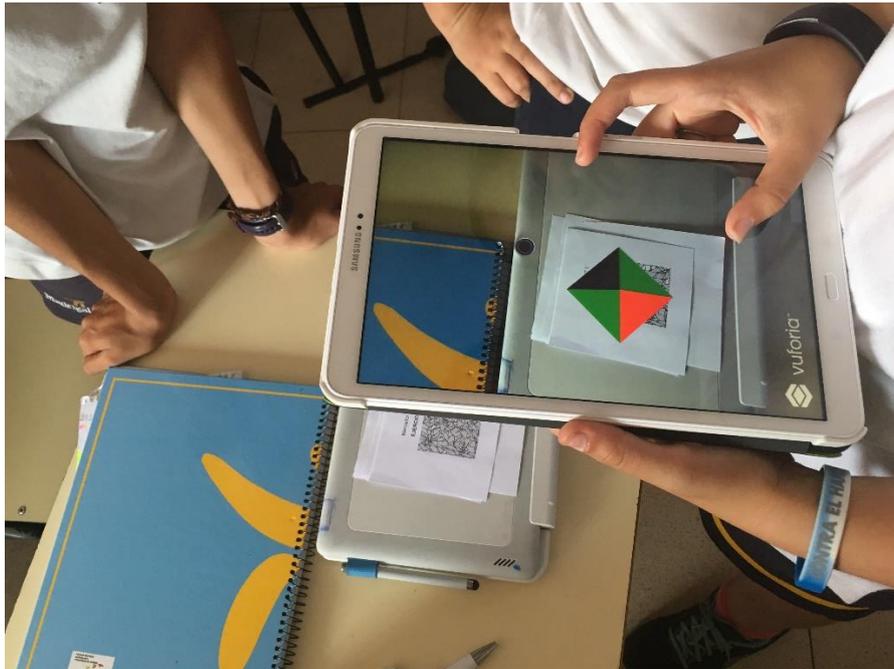


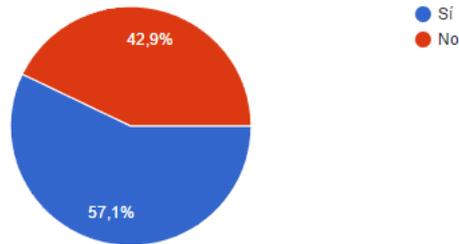
Ilustración 47 Fotografía 2 de uso en el aula

5.1.1.2 Experiencias anteriores con Realidad Aumentada:

Interesante, desde el punto de vista del desarrollador, es saber si el alumno ha utilizado con anterioridad la realidad aumentada, para saber su grado de comodidad con la tecnología a evaluar.

¿Habías utilizado la realidad aumentada anteriormente?

21 respuestas



Si tu respuesta anterior es afirmativa, ¿podrías explicar cuándo y para qué la habías utilizado?

14 respuestas

Para ver las Cuevas de Altamira en un museo
La he utilizado hace mas de un año y porque una consola venía con una aplicación de esto
la utilice en un proyecto.
La había utilizado para jugar a videojuegos.
No, porque nunca lo había probado.
La utilicé hace una semana en un local de un amigo de mi padre.
no
Lo había utilizado la semana pasada con una aplicación que había desarrollado un amigo de mi padre.
Lo había utilizado con los Invizimals
No
Cuándo fui al llevar el perro al veterinario y lo utize parra ver lo parásitos que tenia ha realidad aumentada.
La había utilizado para jugar a los Invizimals.

Ilustración 48 Experiencia anterior con realidad aumentada



Ilustración 49 Fotografía 3 de uso en el aula

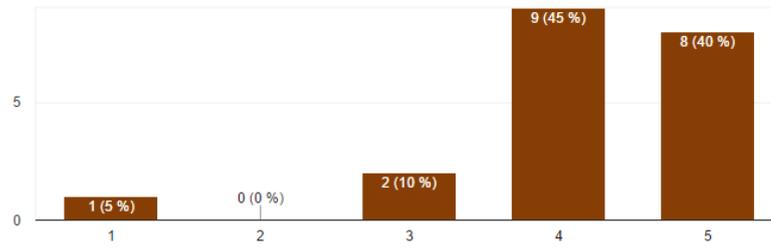
5.1.1.3 Grado de satisfacción con la aplicación de la plataforma:

Este apartado es el más importante de la etapa de pruebas, ya que es el que dicta si el proyecto ha cumplido los objetivos y las expectativas inicialmente definidos. Para ello, se han realizado diferentes preguntas relacionadas con el grado de satisfacción, así como ventajas y desventajas del uso de la aplicación móvil en la enseñanza. Además, se ha preguntado a los alumnos si les gustaría volver a utilizar la realidad aumentada en el entorno educativo.



¿Te ha resultado sencillo ver y entender los marcadores?

20 respuestas



¿Crees que el uso de la realidad aumentada ayuda a entender mejor cómo son las diferentes figuras?

20 respuestas

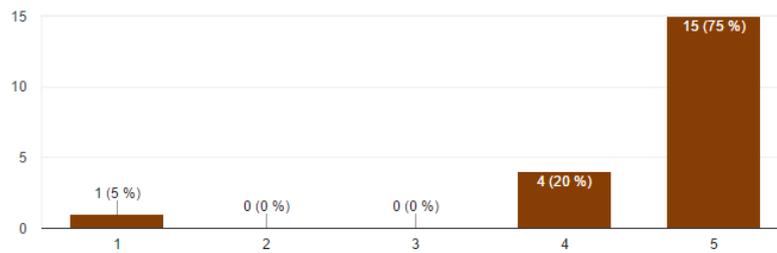


Ilustración 50 Grado de satisfacción

¿Podrías explicar qué ventajas o desventajas consideras que tiene poder ver las figuras en realidad aumentada comparando con verlas en un vídeo o en una imagen?

19 respuestas

Pues que te puede ayudar más a estudiar.

Puedes aprender más porque es como si tuvieras una figura de verdad

La ventaja es que la puedes mover a tu antojo

Ventajas pues que puedes mover el objeto y verlo por sitios distintos.
Desventajas, pues ahora mismo no se me ocurre ninguna.

Yo creo que la ventaja es que con realidad aumentada se pueden utilizar muchas figuras, objetos...
Las desventajas son que no todo el mundo tiene un aparato electrónico.

Yo creo que las ventajas son que se consiguen ver las diferentes caras su número de aristas etc...de una manera muy adaptada a la forma de vida de las personas de hoy en día. Las desventajas son que se encuentran en muy pocas plataformas, como windows o IOS. También me gustaría que los colegios tuvieran esta APP para poder enseñar a los niños.

Mola mucho as porque al tu moverte ves girar la imagen 3D ya que en el vídeo no se puede girar la imagen se ve lo que proyecte la cámara.

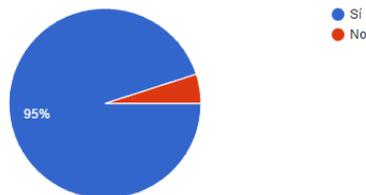
Desventajas que si no funciona no puedes hacer nada y ventajas que es más cómodo.

Ventajas: Aprendes más. Desventajas: Nada

Ilustración 51 Ventajas y desventajas de la aplicación en la enseñanza

¿Te gustaría volver a utilizar realidad aumentada?

20 respuestas



Selecciona cuánto te ha gustado este sistema para aprender más sobre los poliedros y los cuerpos de revolución:

20 respuestas

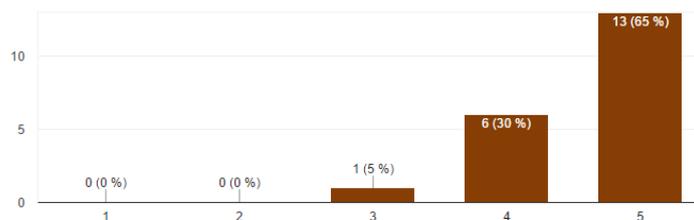


Ilustración 52 ¿Volverías a utilizar la realidad aumentada?

El grado de satisfacción de los alumnos con la aplicación de la plataforma educativa ha sido excelente, destacando como mayores ventajas la manipulación de las figuras a su gusto y diferentes mejoras relacionadas con la capacidad espacial respecto al sistema de enseñanza tradicional, lo que concluye con el cumplimiento de un objetivo principal del proyecto.

Además, la gran mayoría de los alumnos volvería a utilizar la realidad aumentada en clase, debido a su afinidad con la aplicación móvil en el desarrollo de las pruebas.



Ilustración 53 Fotografía 4 uso en el aula

5.1.1.4 Sugerencias de mejora de la plataforma educativa:

Es muy importante para el futuro del proyecto conocer la opinión y sugerencias de uno de los usuarios finales de la plataforma, el alumno, acerca de la aplicación.

Explica qué añadirías o cambiarías para mejorar más la aplicación que has utilizado:

20 respuestas

nada

Añadiría más figuras con actividades.

Me gustaría que reconociese los marcadores desde mas lejos, pero aparte de eso nada mas.

Que se podrían tocar y divertirse con ellas.

Que estuviera en Google Play

No pondría nada porque todavía está en desarrollo y hay que esperar más,pero por lo demás está muy bien.

Yo pondría mas figuras interesantes.

Que sean transparentes las figuras.

no cambiaría nada

que solo fuese en sistemas android

Pues que la aplicación pueda tener más apartados como para empezar.. Mate, Lengua...

Añadiría más preguntas

Ilustración 54 Sugerencias de mejoras para la aplicación móvil

¿En qué otras áreas de matemáticas o de otras asignaturas crees que sería interesante utilizar realidad aumentada? Especifica bien y justifica tu respuesta.

20 respuestas

En sociales para ver el pasado y otros países y para naturales para ver el cuerpo humano

En sociales o naturales, porque podríamos ver así escenarios en realidad aumentada para entender mejor el tema.

En la ciencias sociales con los países.

En Science paa entender como es todo lo que te han explicado

Yo creo que en todo lo que sea de figuras y objetos porque ves el objeto en 3D y te ayuda a aprender sobre eso.

Estaría bien con los metros cuadrados.

En Ciencias Sociales , porque me gustaría ver a las personas importantes de las épocas.

En ciencias sociales para ver los personajes

en geografía

Para algunos ejemplos de extensas explicaciones.

En sociales para ver todo

Ilustración 55 Futuras líneas de ampliación

En general, se han obtenido sugerencias referidas a que la aplicación sea más accesible para su descarga, por ejemplo, a través de un market y, sobre todo, que tenga más contenido relacionado bien con otras asignaturas, o dentro de las matemáticas. Esto es muy positivo, ya que son sugerencias de ampliación de contenido, manteniendo el núcleo en el que se basa el proyecto, la realidad aumentada.

La mayoría de la clase coincide en que ampliaría el contenido de la plataforma a asignaturas como las ciencias sociales, en ámbitos de la geografía, y a las ciencias naturales, en apartados didácticos relacionados con la anatomía.

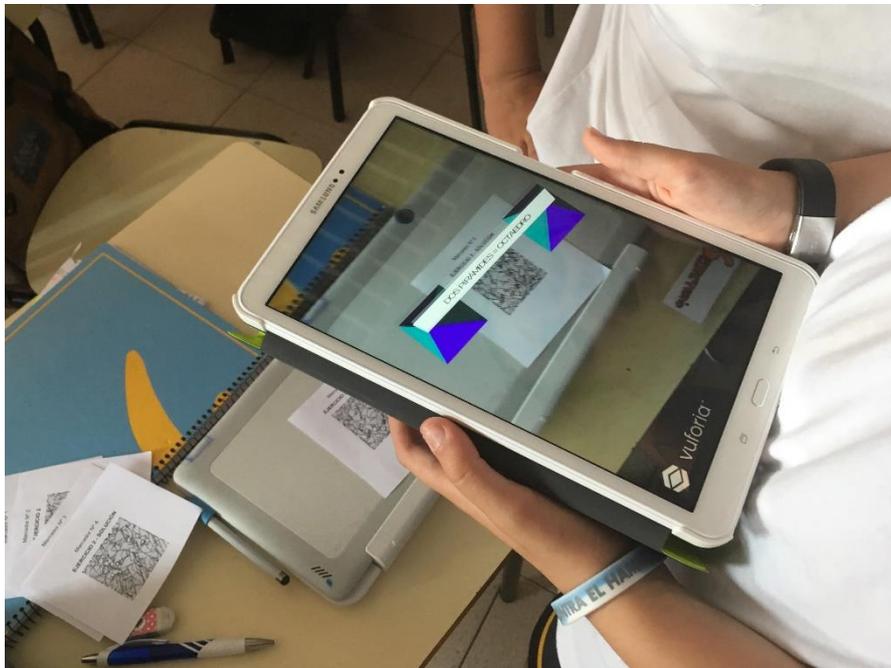


Ilustración 56 Fotografía 5 uso en el aula

5.1.1.5 Valoración del profesor:

Con el uso de la aplicación, se ha observado un aumento del tiempo de rendimiento óptimo. El nivel general de comprensión y aplicación de los contenidos ha sido muy satisfactorio. Se ha trabajado en grupos y están acostumbrados a ello, lo cual favorece la asistencia e integración de los alumnos con dificultades. De los 21 alumnos, como casos especiales cabe mencionar:

- Dos alumnos con TDAH, los cuales, con el uso de la aplicación han mostrado una mayor duración del tiempo en el que han mantenido un



rendimiento adecuado. Su nivel de comprensión de los contenidos también se ha visto incrementado debido al uso de imágenes interactivas.

- Un alumno con NEE, con un desfase curricular de dos cursos escolares debido a un TGD que le implica principalmente dificultades lectoescritoras y cognitivas. Se ha observado que el uso de la aplicación ha permitido que realice la actividad con el resto de sus compañeros, siguiendo el mismo ritmo y con los mismos objetivos. Únicamente se ha adaptado el nivel de dificultad de las preguntas del examen.
- Un alumno con dislexia, que también ha mostrado una mayor facilidad en el acceso y decodificación de la información con el uso de la aplicación, debido sobre todo al mayor contenido visual e interactivo que proporciona la misma.

5.1.1.6 Conclusiones:

El uso de la aplicación ha sido recibido como una herramienta positiva por parte tanto de los alumnos como del docente. Beneficia en múltiples aspectos el proceso de enseñanza-aprendizaje y se podría plantear su uso como complemento de trabajo, ampliando incluso su adaptación a diversos contenidos y asignaturas.

5.2 Resultados

Una vez el proyecto ha sido desarrollado y evaluado, se obtiene una plataforma educativa plenamente funcional, basada en las matemáticas y cuya parte desarrollada en el proyecto es la que corresponde al apartado de la geometría.

Una vez que se ha ingresado a la plataforma, se muestra la página de bienvenida (ilustración 57). En ella, el usuario puede ingresar a la plataforma mediante su usuario y contraseña, así como restablecer la contraseña, en el caso de ser necesario.



Ilustración 57 Portada de bienvenida de la plataforma educativa

La **explicación teórica** del apartado correspondiente está formada por la unión de diferentes apartados:

- Definición: Explicación del concepto del apartado.
- Realidad aumentada: Marcador, el cual tiene que ser escaneado por la cámara del dispositivo móvil, para mostrar encima del mismo el contenido tridimensional al que corresponde el marcador.
- Propiedades y otras explicaciones del concepto teórico del apartado.
- Imprimir apartado, así como el marcador de realidad aumentada.
- Editar tema.

Un ejemplo de explicación teórica es la del apartado del octaedro, correspondiente a la unidad didáctica de poliedros y cuerpos de revolución (ilustración 58).

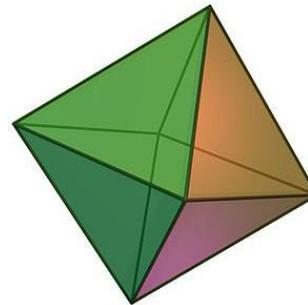
Apartado: Octaedro

Unidad didáctica: Poliedros y cuerpos de revolución

Definición

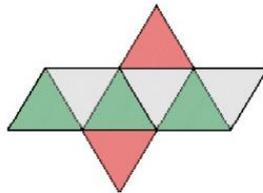
Un octaedro es un poliedro (cuerpo limitado por caras poligonales) regular formado por 8 triángulos equiláteros iguales.

Se puede considerar formado por la unión, desde sus bases, de dos pirámides cuadrangulares regulares iguales.

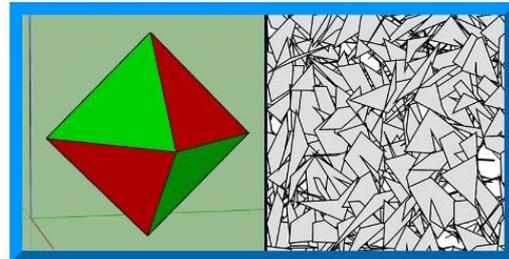


Octaedro, vista 2D.

Desarrollo



Realidad Aumentada



Octaedro y marcador para vista 3D.

Propiedades

- Número de caras: 8.
- Número de vértices: 6.
- Número de aristas: 12.
- Nº de aristas concurrentes en un vértice: 4.

Área

$$A = 2a^2 \sqrt{3}$$

Volumen

$$V = \frac{a^3 \sqrt{2}}{3}$$



[Editar Tema](#)

En la ilustración 59 se muestra una captura de pantalla una vez se ha escaneado el marcador impreso de la explicación teórica, en la cual se observa el objeto girando. Utilizando la entrada táctil se da la opción al usuario tanto de aumentar el tamaño del objeto, mediante un movimiento de pinza con dos dedos, como de girar el objeto, mediante un movimiento de rotación con dos dedos.

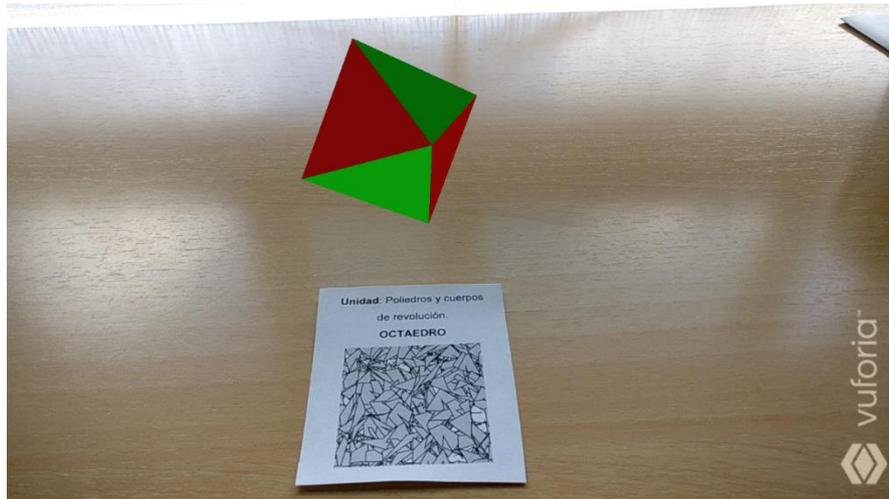


Ilustración 59 Captura de pantalla explicación teórica del octaedro en aplicación móvil

Siguiendo con el ejemplo de la explicación teórica, un fragmento del examen correspondiente al apartado del octaedro, es el que se muestra en la ilustración 60.

Examen

Unidad didáctica: Poliedros y cuerpos de revolución

P1 – Enunciado:

Calcula el área y el volumen de un octaedro de arista 80cm:

- a) $A = 1.2 \text{ m}^2$; $V = 10 \text{ cm}^3$
- b) $A = 2.2 \text{ m}^2$; $V = 24.1 \text{ cm}^3$
- c) $A = 4.9 \text{ m}^2$; $V = 81.1 \text{ cm}^3$

P1. Solución:

- b) $A = 2.2 \text{ m}^2$;
 $V = 24.1 \text{ cm}^3$

$$A = 2a^2\sqrt{3}$$

$$V = \frac{a^3\sqrt{2}}{3}$$



P1 – MARCADOR REALIDAD AUMENTADA

P2 – Enunciado:

Indique cual de estas figuras es un poliedro:

- a) Figura **roja**
- b) Figura **azul**
- c) Figura **verde**

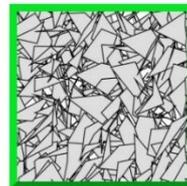
P2. Solución:

Dado que un poliedro regular es aquel que tiene caras y ángulos iguales, el único que cumple estas características es la **opción B (cubo)**.

La opción A y la opción C son un cono y un cilindro, los cuales se tratan de cuerpos de revolución.



P2 ENUNCIADO – MARCADOR REALIDAD AUMENTADA



P2 SOLUCIÓN – MARCADOR REALIDAD AUMENTADA

P3 – Enunciado:

Indique con qué dos figuras se pueden formar un octaedro, así como sus principales características:

- a) Dos tetraedros
- b) Dos icosaedros
- c) Dos pirámides cuadrangulares

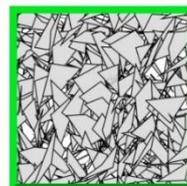
P3. Solución:

Un octaedro se forma con la unión de **dos pirámides cuadrangulares (opción B)**. Es un poliedro cuya superficie está formada por un cuadrilátero como base y caras laterales triangulares.

Dichas confluyen en un vértice que se denomina ápice. Por tanto, está compuesta por 5 caras, la base cuadrangular y cuatro triángulos laterales que confluyen en el vértice.



P3 ENUNCIADO – MARCADOR REALIDAD AUMENTADA



P3 SOLUCIÓN – MARCADOR REALIDAD AUMENTADA

De forma similar a las explicaciones teóricas, en los exámenes se dispone de marcadores de realidad aumentada, en las preguntas y soluciones en las cuales proceda su uso. Siguiendo con el ejemplo de examen arriba mencionado, en las ilustraciones [61-66] se muestran capturas de pantalla una vez se han escaneado los marcadores impresos. Utilizando la entrada táctil se da la opción al usuario tanto de aumentar el tamaño del objeto, mediante un movimiento de pinza con dos dedos, como de girar el objeto, mediante un movimiento de rotación con dos dedos.

En el caso de las preguntas, el alumno debe seleccionar una de las opciones, la cual se marcará en verde o rojo, dependiendo si la seleccionada es correcta o incorrecta, y se envía su elección a la base de datos de la plataforma.

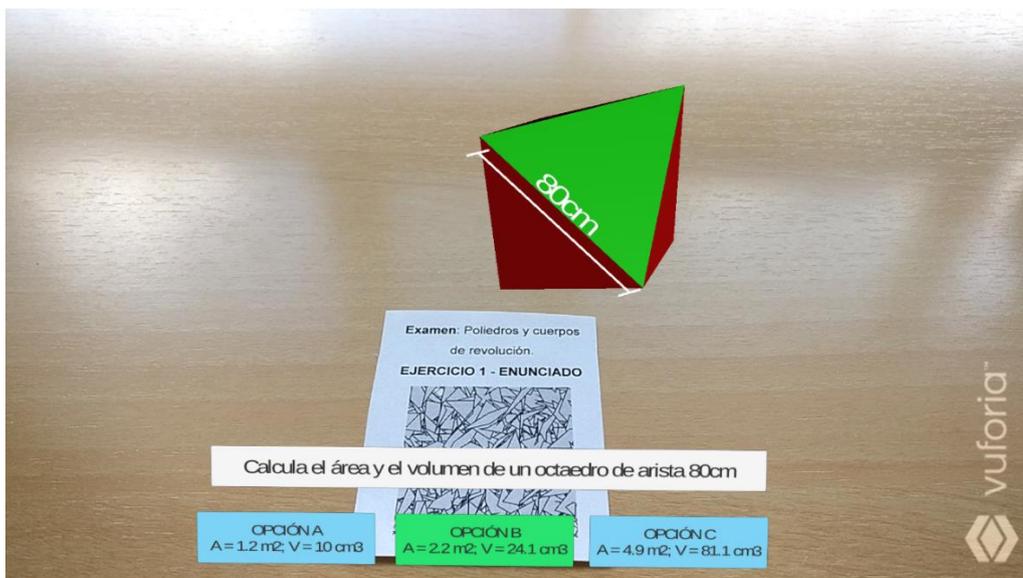


Ilustración 61 Captura de pantalla enunciado ejercicio 1 en aplicación móvil

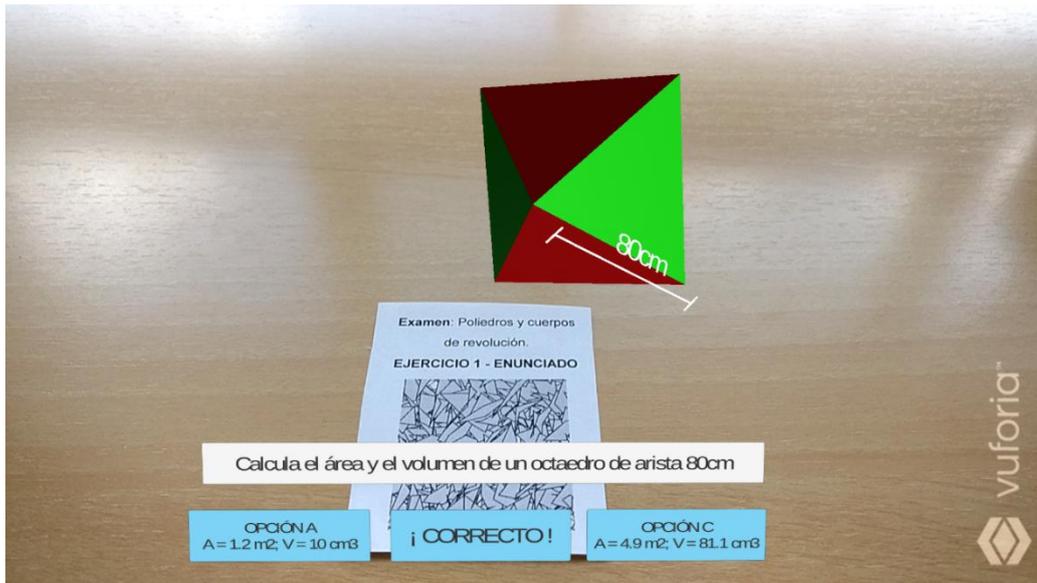


Ilustración 62 Captura de pantalla resultado enunciado ejercicio 1 en aplicación móvil

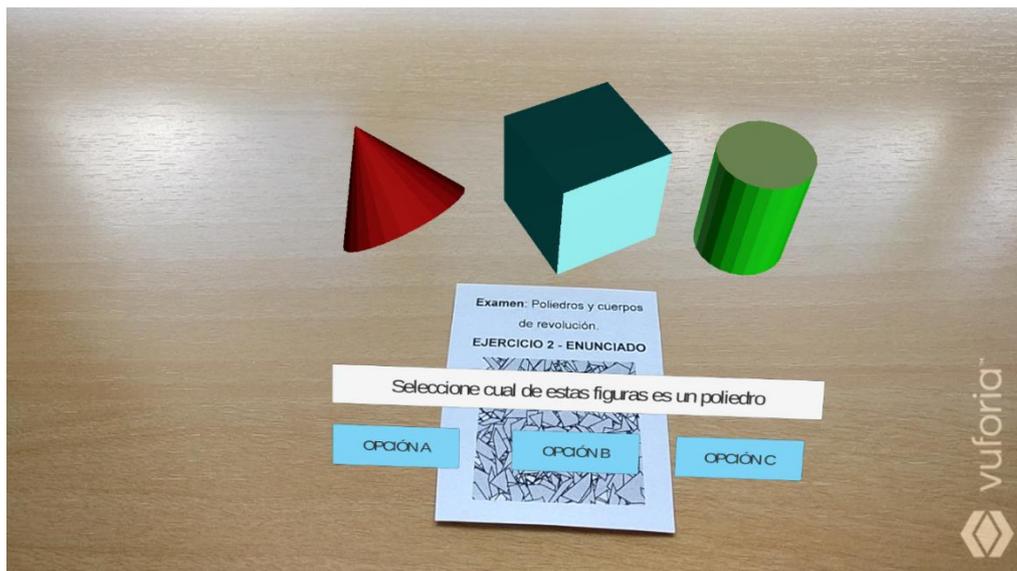


Ilustración 63 Captura de pantalla enunciado ejercicio 2 en aplicación móvil

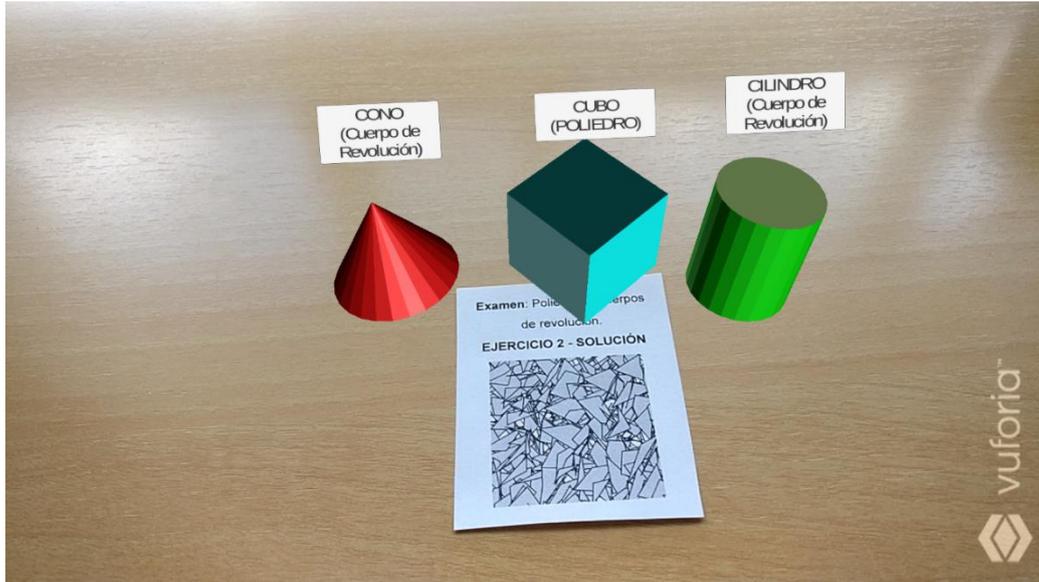


Ilustración 64 Captura de pantalla solución ejercicio 2 en aplicación móvil

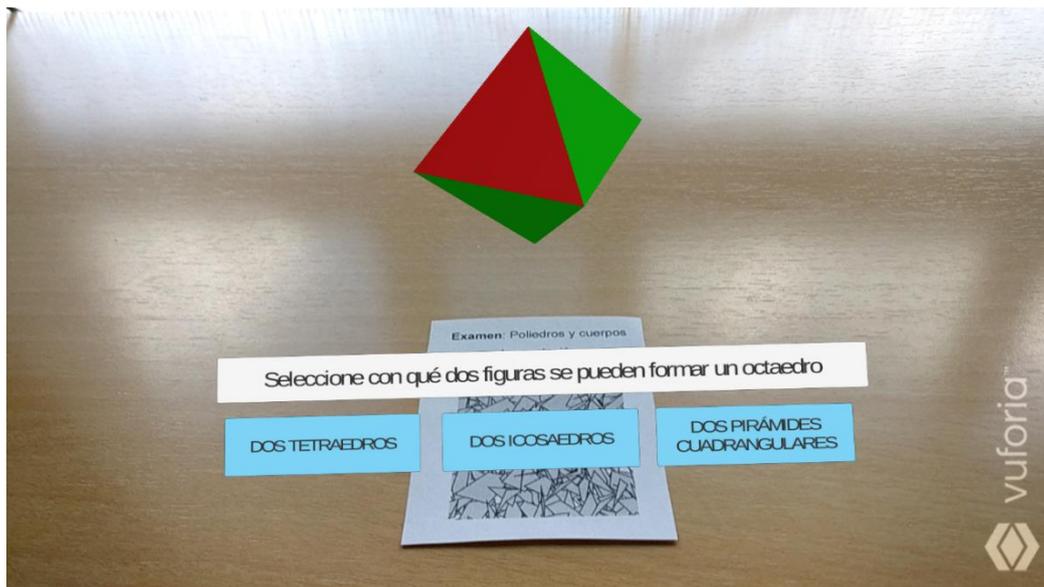


Ilustración 65 Captura de pantalla enunciado ejercicio 3 en aplicación móvil

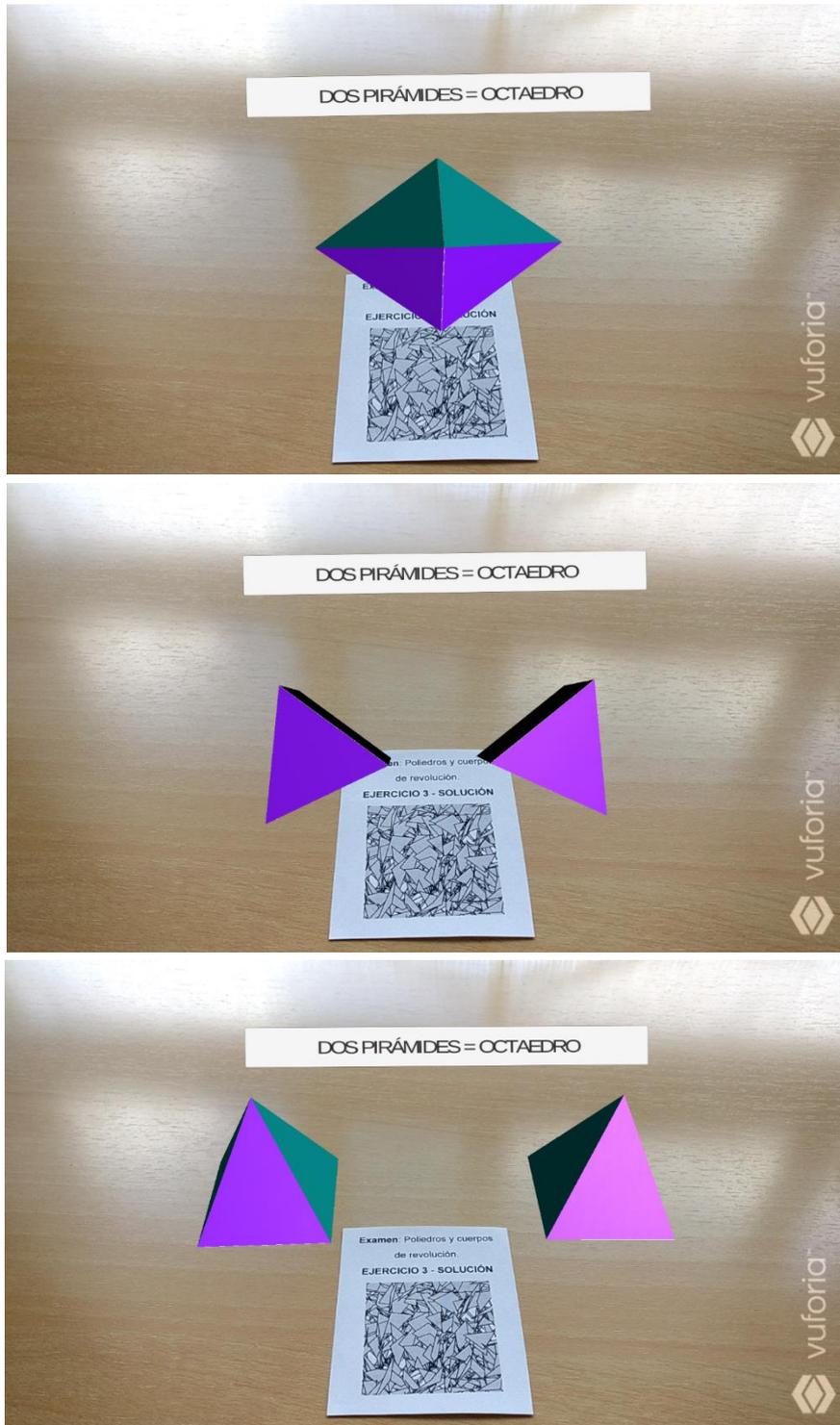


Ilustración 66 Capturas de pantalla solución ejercicio 3 con animaciones en aplicación móvil

Dependiendo del rol y de los permisos correspondientes que tenga asignados el usuario en la plataforma, será redirigido a su página personal. Esta será la de un profesor, alumno o padre/madre, las cuales se muestran a continuación.



El usuario con el rol de **profesor** (ilustración 67) es el usuario con mayores privilegios, por lo que sus funciones y tareas que puede desarrollar son las siguientes:

- Mi perfil: Opción común a los tres roles, desde la cual se permite al usuario cambiar la contraseña con la que accede a la plataforma (ilustración 68).
- Añadir o eliminar alumno: Posibilidad de incorporar o eliminar un alumno a la plataforma, en una de las clases que ya tenga asignada el profesor como propia (ilustración 69).
- Gestión de clases: Todo lo relacionado con la gestión y el mantenimiento de las clases asignadas al profesor:
 - Añadir tema: Seleccionar unidad didáctica y tema de la misma para añadirlo a la plataforma. De este modo, los alumnos lo tienen disponible para su consulta y estudio (ilustración 70). Ejemplo de tema en la ilustración 58.
 - Gestión de alumnos: Cambiar alumnos de clase.
 - Añadir examen: Similar al proceso de añadir un tema (ilustración 65). Basándose en el BOE, una vez seleccionada la unidad didáctica, se muestran los posibles apartados (ilustración 72). Ejemplo de examen en ilustración 60.
 - Calificaciones: En ella se muestran las calificaciones de los alumnos que hayan realizado el examen en la aplicación móvil.



Profesor

Bienvenido, profesor [Nombre Apellido:](#)
[Mi perfil](#)
[Añadir/Eliminar Alumno](#)

Gestión de clases

1º ESO Grupo A

[AÑADIR TEMA](#) [GESTIÓN DE ALUMNOS](#) [AÑADIR EXAMEN](#)

[Calificaciones](#)

2º ESO Grupo C

[AÑADIR TEMA](#) [GESTIÓN DE ALUMNOS](#) [AÑADIR EXAMEN](#)

[Calificaciones](#)

NOTIFICAR INCIDENCIA:

- Asistencia/Retraso
- Esfuerzo
- Deberes
- Actitud
- Comedor
- Felicitación

[NOTIFICAR INCIDENCIA](#)

AVISOS Y NOTICIAS:

- Nuevo calendario de Festivos
- Examen Tema 2. Fecha: 04/03/2017
- Actividades extraescolares en Semana Santa

[VER AVISOS Y NOTICIAS](#)

MENSAJES:

- De: Padre/Madre de José Díaz
- De: Padre/Madre de Raquel Ruiz

[VER MENSAJES](#)



Profesor

Bienvenido, profesor Nombre Apellido:

[Mi perfil](#)

[Añadir/Eliminar Alumno](#)

Mi perfil

Gestion de usuario

Contraseña actual *

Nueva contraseña *

Repetir nueva contraseña *

Enviar

Designed by Alvaro Gamboa



Ilustración 68 Gestión de usuario en plataforma educativa

Profesor

Bienvenido, profesor Nombre Apellido:

[Mi perfil](#)

[Añadir/Eliminar Alumno](#)

Añadir/Eliminar Alumno

Añadir Alumno

Nombre *

Clase

Añadir

Eliminar Alumno

Clase *

Alumno

Eliminar

Designed by Alvaro Gamboa



Ilustración 69 Añadir/eliminar alumno en plataforma educativa



Profesor

Bienvenido, profesor Nombre Apellido:

[Mi perfil](#)

[Añadir/Eliminar Alumno](#)

Añadir Tema

Unidad Didáctica

Construcciones geométricas sencillas

Apartado

Tetraedro

Añadir

Designed by Alvaro Gamboa

in

Ilustración 70 Añadir tema en plataforma educativa

Profesor

Bienvenido, profesor Nombre Apellido:

[Mi perfil](#)

[Añadir/Eliminar Alumno](#)

Añadir Examen

Unidad Didáctica

Construcciones geométricas sencillas

Añadir

Designed by Alvaro Gamboa

in

Ilustración 71 Añadir examen en plataforma educativa



Unidad Didáctica

Construcciones geométricas sencillas	▼
Construcciones geométricas sencillas	
Figuras planas elementales	
Medida y cálculo de ángulos de figuras planas	
Circunferencia, círculo, arcos y sectores circulares	
Semejanza	
Poliedros y cuerpos de revolución	
Propiedades, regularidades y relaciones de los poliedros	

Unidad Didáctica

Poliedros y cuerpos de revolución	▼
-----------------------------------	---

Apartado

Tetraedro	▼
Tetraedro	
Cubo/Hexaedro	
Octaedro	
Dodecaedro	
Icosaedro	
Prisma	
Paralelepípedo	
Pirámide	
Cilindro recto	
Cono recto	
Tronco de cono recto	
Esfera	

Ilustración 72 Añadir apartados de unidades didácticas en plataforma educativa

Los **alumnos** son redirigidos a su página (ilustración 73) y en ella tienen la posibilidad de:

- Consultar y estudiar los contenidos del curso correspondiente.
- Empezar exámenes previamente fijada su fecha, para lo cual será necesario el uso de la aplicación móvil.
- Consultar y acceder a los avisos y noticias publicados en la plataforma educativa.



Alumno

Bienvenido, alumno Nombre Apellido

Avisos y Noticias

Nuevo calendario de Festivos

VER AVISO

Examen Tema 2. Fecha: 04/03/2017

EMPEZAR

Actividades extraescolares en Semana
Santa

VER AVISO

VER CONTENIDOS

Clase

1º ESO Grupo A

Bloque

Geometría

Tema

Tema 1

Ver

Designed by Alvaro Gamboa



Ilustración 73 Alumno en plataforma educativa

Por otro lado, los usuarios que son **padres o madres de alumnos**, son redirigidos a su zona correspondiente (ilustración 74), desde la cual tienen la posibilidad de:

- Consultar incidencias abiertas en relación a su hijo/a.
- Consultar los avisos y noticias de su atención en la plataforma educativa.
- Consultar mensajes enviados por profesores en relación a su hijo/a.
- Enviar mensaje a profesor.



Padre/Madre

Bienvenido, padre/madre de Nombre Apellido

INCIDENCIAS:

#1. 05/03/2017. Asistencia:

(Contenido de la incidencia)

#1. 06/03/2017. Comedor:

(Contenido de la incidencia)

AVISOS Y NOTICIAS:

- Nuevo calendario de Festivos
- Examen Tema 2. Fecha: 04/03/2017
- Actividades extraescolares en Semana Santa

VER AVISOS Y
NOTICIAS

MENSAJES:

- De: Profesor: Nombre Apellidos
- De: Profesor: Nombre Apellidos

VER MENSAJES

Nuevo mensaje

Profesor

Roberto Alonso

Mensaje

Enviar

Ilustración 74 Padre/Madre en plataforma educativa

Capítulo 6

Planificación

El inicio de proyecto es el 7 de noviembre de 2016, terminando el 14 de junio de 2017. La duración total del proyecto es de **219 días**.

Debido a las circunstancias personales, la planificación del proyecto se ha realizado en previsión de una dedicación de horas/día irregular.

Durante la realización del proyecto se ha mostrado, en diferentes reuniones, el funcionamiento y el porcentaje de desarrollo del proyecto al tutor, para la verificación de los objetivos.

Dado el tipo de proyecto, no se ha considerado una fase de mantenimiento.

A la vista de ello, en la figura se muestra el diagrama de Gantt, el cual muestra la distribución de tiempo asignada a cada tarea a alto nivel.

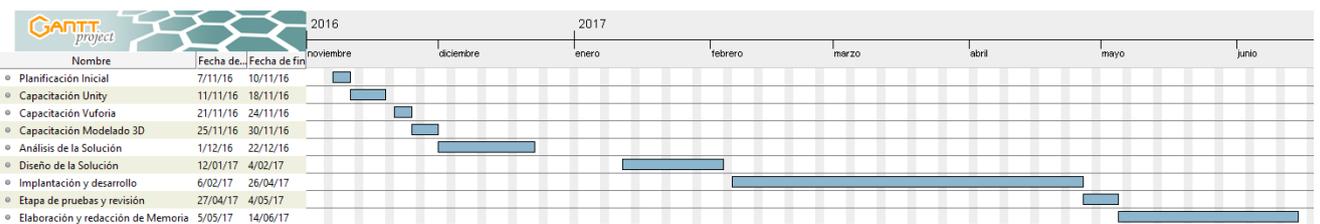


Ilustración 75 Diagrama de Gantt del Proyecto

Capítulo 7

Conclusiones y Futuros trabajos

7.1 Conclusiones

Al iniciarse el proyecto, se establecieron una serie de objetivos, cuya consecución determinaría el éxito del proyecto.

1. Se ha aprendido a desarrollar una aplicación móvil en Unity, creando un entorno virtual capaz de reproducir correctamente la escena correspondiente al marcador escaneado, previamente impreso.
2. Se ha realizado una etapa de pruebas completa con alumnos reales, demostrando que la plataforma educativa funciona y tiene ventajas frente al sistema de enseñanza tradicional.
3. Se han reforzado los conocimientos de programación web, desarrollando dicha parte correspondiente de la plataforma educativa.
4. Se ha estudiado y comprendido todo lo relacionado con la Realidad Aumentada en la actualidad mediante un estudio del arte, así como su entorno socio-económico y legislación vigente.
5. Se ha estudiado y comprendido el funcionamiento de Vuforia, una pieza clave en el desarrollo, aprendiendo su arquitectura y funcionamiento. Además, se ha logrado integrar dicha librería en la aplicación final.

Gracias a todos los objetivos anteriores, se concluye con la consecución del objetivo principal del proyecto:

Se ha logrado implementar una plataforma educativa, novedosa y atractiva, capaz de establecer una mejora en la enseñanza de la geometría a través de la realidad aumentada. Dicha plataforma opera de una forma fluida y rápida, consolidándose como un complemento útil en el sistema de enseñanza actual.



7.1.1 Reflexiones Personales

Para alcanzar los resultados de este proyecto se ha tenido que abordar la resolución de numerosos problemas, por ejemplo:

- Conocimiento nulo previo de la Realidad Aumentada, siendo un sector tan amplio.
- Investigación y comprensión del funcionamiento de numerosas herramientas de desarrollo que componen la plataforma educativa. Tanto el entorno de desarrollo como el uso de las librerías eran desconocidas en un inicio.
- Falta de recursos 3D para la realización del proyecto, por lo que su desarrollo aumentó en cuanto a duración se refiere, teniendo que aprender herramientas para su desarrollo.
- Numerosos errores en cualquiera de las herramientas de desarrollo, los cuales han sido solucionados fruto de la investigación online, ya que gran parte de ellos son errores comunes.

Todo ello ha supuesto un gran esfuerzo personal, necesario para dominar cada una de las características que componen la plataforma educativa y hacerlas funcionar en conjunto, lo cual ha resultado muy reconfortante lograrlo, solventando todos los errores que surgieron en el desarrollo.

En el inicio del proyecto, ha sido complicado hacer una estimación de la planificación, así como del tiempo necesario a dedicar a cada una de las fases de desarrollo. Esto se ha debido a la falta de conocimientos sobre las tecnologías y herramientas implicadas en la consecución del proyecto. Por ello, se han realizado varias modificaciones de la planificación inicial.

El proyecto se ha planteado como un reto personal, motivado por las ganas de aprender sobre la programación de aplicaciones para Android con Unity. Además, el proyecto es una solución para un problema que se ha experimentado en el pasado, como es la dificultad del estudio de la geometría. Tener una aplicación móvil en tu smartphone personal creada por ti mismo es muy satisfactorio, sumado al hecho de que funciona con fluidez, después de todo el esfuerzo y tiempo empleado en ello.



7.2 Futuros Trabajos

Debido al gran potencial que tiene este proyecto, surgen algunas posibilidades y futuras líneas de ampliación del mismo.

7.2.1 Ampliación a otras asignaturas

Esta es la principal línea de ampliación. Tal y como han sugerido los alumnos encuestados en la fase de pruebas, una de las mejoras del proyecto sería ampliar el concepto de plataforma basada en realidad aumentada a otras asignaturas.

Dichas asignaturas podrían ser, en primer lugar, las ciencias sociales y las ciencias naturales. Una posible aplicación en las ciencias sociales, sería mostrar los planetas encima de los marcadores, mapas geográficos o la orografía terrestre. Referente a las ciencias naturales, la mejor aplicación sería en todo lo relacionado con la anatomía, pudiendo mostrar las figuras en tres dimensiones.

7.2.2 Aplicación multiplataforma

La plataforma educativa se ha desarrollado para dispositivos que corran sobre el sistema operativo Android. Dado que el SDK Vuforia, en combinación con Unity, permiten la multiplataforma, un futuro trabajo es hacer la plataforma disponible para dispositivos iOS. Así, junto con Android, se le estaría dando soporte a la mayor parte del mercado de smartphones.

7.2.3 Accesibilidad a la aplicación

Para mejorar la accesibilidad de la aplicación por parte del usuario final, el siguiente paso sería la adquisición de una licencia de desarrollador de Android,



para poder subir la aplicación móvil de la plataforma educativa y que el usuario la pueda descargar directamente de la *Play Store* de Android.

7.2.4 Marcadores personalizados

Para dotar de personalización a la aplicación, se podría añadir información a los marcadores, como el número de la pregunta/solución, así como datos de interés de la explicación teórica que se está mostrando. Como se ha explicado en el apartado 3.4, esto no ha sido posible debido a conflictos de detección entre marcadores. Para ello, habría que encontrar la forma de crear los marcadores con un programa de diseño, que proporcione a Vuforia la suficiente diferenciación para no confundirlos a la hora de detectarlos.

7.2.5 Información adicional en escenas

En lugar de separar explicación teórica y realidad aumentada, una mejora consiste en fusionar ambos en la escena de realidad aumentada. Para ello, habría que aumentar el rango que cubre la cámara de realidad aumentada y sintetizar la información teórica para incorporarla a la escena. Esto, dependiendo de la cantidad de información a incorporar sería más complicado en pantallas Full HD, por lo que lo óptimo sería contar con pantallas 2K para poder añadir toda la información necesaria sin que esto suponga un problema.



Bibliografía

- [1] Arrieta, Modesto (2003): Educación Matemática. México, Grupo Santillana México.
- [2] Saorín-Pérez, José Luis, Rosa, Navarro-Trujillo, Norena, Martín-Dorta, Jorge, Martín-Gutiérrez, Manuel, Cantero (2009). La capacidad espacial y su relación con la ingeniería. Universidad de La Laguna.
- [3] A.P. Jaime y A.R. Gutiérrez, Una propuesta de Fundamentación para la Enseñanza de la Geometría: El modelo de van Hiele, Práctica en Educación Matemática. Ediciones Alfar, Sevilla, 1990.
- [4] Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015): Boletín Oficial del Estado.
- [5] Guillén Soler, Gregoria (1992). La enseñanza de la geometría de sólidos en la E.G.B. Valencia.
- [6] Gutiérrez, A. y Jaime, A. (2015). Análisis del aprendizaje de geometría espacial en un entorno de geometría dinámica 3-dimensional.
- [7] Gutiérrez, Angel. Children's ability for using different plane representations of space figures. Universidad de Valencia.
- [8] Gutiérrez, Angel. Visualization in 3-Dimensional Geometry: In Search of a Framework. Universidad de Valencia
- [9] Fouz, Fernando, de Donosti, Berritzegune. Modelo de Van Hiele para la didáctica de la Geometría. San Sebastian.
- [10] Reinoso, Raul. Introducción a la Realidad Aumentada: <http://www.educa.jcyl.es/crol/es/repositorio-global/introduccion-realidad-aumentada-37162.ficheros/511255-3711.pdf>. [12 Ene. 2017].
- [11] Guay y McDaniel (1977). The Development of Spatial Cognition. Robert Cohen. Hillsdale, New Jersey.
- [12] Terapia Online (2011). Definición de la capacidad espacial: <https://terapiaonline.co/hombre%E2%89%A0mujer/%C2%BFpor-que-los->



hombres-no-escuchan-y-las-mujeres-no-pueden-leer-mapas/5-habilidad-espacial-mapas-acertar-en-el-blanco-y-aparcar-en-linea/definicion-de-la-capacidad-espacial-cazador-en-accion/ [11 Oct. 2016].

[13] Nubemia. (2014). Realidad aumentada en la educación: <https://www.nubemia.com/realidad-aumentada-en-la-educacion/> [11 Oct. 2016].

[14] e-Archivo UC3M (2016). Trabajos Fin de Grado Escuela Politécnica Superior: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/15439> [25 Oct. 2016]

[15] Universidad de Valencia. Poliedros y cuerpos de revolución: <https://www.uv.es/lonjedo/esoProblemas/unidad10apoliedrosycuerposderevolucion.pdf> [16 nov. 2016]

[16] Vitutor.net (2017). Octaedro: <http://www.vitutor.net/2/2/14.html>. [23 Mar. 2017].

[17] Ditrendia (2016). Informe Mobile en España y en el Mundo: http://www.amic.media/media/files/file_352_1050.pdf [18 Ene 2017]

[18] LogicFin. (2017). Análisis sector realidad aumentada. <http://logicfin.com/analisis-sector-realidad-aumentada/> [13 Nov 2017].

[19] Stock, A. (2017). El mercado europeo de realidad aumentada y virtual. <http://www.ticbeat.com/tecnologias/el-mercado-europeo-de-realidad-aumentada-y-virtual-crecera-un-131-en-2017/> [28 Ene. 2017].

[20] Tecnología D., virtual, 3. and 3D, M. (2017). Definición de Modelo en 3D. http://www.alegsa.com.ar/Dic/modelo_en_3d.php [20 Mar. 2017].

[21] Sistemas-unsas. (2017). Las 10 Aplicaciones de Modelado 3D de Software Libre. <http://sistemas-unsas.blogspot.com.es/2009/02/las-10-aplicaciones-de-modelado-3d-de.html> [25 Abr. 2017].

[22] Thinkmobiles. (2017). 10 best augmented reality sdk for ar development in 2017. <https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review> [25 Abr. 2017].

[23] Academiaandroid.com. (2017). Presentación del motor de juegos Unity 3D – Academia Android. <https://academiaandroid.com/motor-de-juegos-unity-3d/> [1 May. 2017].



Abstract

In the Geometry field, students must imagine objects in different positions, manipulate tridimensional models and mentally rebuild pictures from two to three dimensions, on paper or using assisted design programmes.

Children from nine to fourteen years old represent the range of people who show the most remarkable difficulties in Geometry problem-solving skills. Assuming that Geometry is considered a mainly visual discipline, some of the difficulties are going to be related to visual perception and discrimination. Consequently, it arises the necessity to understand how the students represent in their heads the mathematical world, due to the fact that spatial reasoning is essential for scientific thinking.

Because academic textbooks explain the geometry disconnected from the spatial sense on which to organize their teaching, one of the ways to fill this gap is the introduction of augmented reality in that area and in the student's daily life.

Therefore, the main aim of this project is to implement and validate a learning platform based on the study of Geometry through augmented reality. Besides, it is also evaluating the viability of its use and the benefits for students in First and Second grades of Secondary (E.S.O: in Spain), using mobile devices like smartphones and tablets. This is achieved performing a test phase of the application in a real environment, that is, a class in a Secondary School in the Autonomous Community of Madrid.

Spatial ability is defined as the visual ability that enables our mind to represent shapes, dimensions, coordinates, proportions and movement. What is more, it includes the dexterity to imagine an object rotating in the space, to get oriented in a place that contains a variety of obstacles and to observe everything that surround us in a tridimensional perspective.

Besides, relevant studies in mathematical education (*Guay and McDaniel, 1977; Tartre, 1990*) distinguish between two very useful concepts to deal with the problem applied to Geometry:

- Visualisation: aptitude to manipulate objects mentally, that is to say, the subject manipulates the object.



- Spatial orientation: ability to imagine an object from another perspective, in other words, the subject is who changes position in the presence of the object.

Therefore, spatial organization is a basic ability for the students to successfully manage the Geometry contents and to solve the problems related to them. On top of that, one of the major impediments in teaching is the non-use of varied resources or materials in order to broaden the Geometry-related concepts of students. Thus, the problem to be solved is the lack of such complementary resources, because academic textbooks explain the geometry detached from the spatial sense on which their teaching should be organized.

One of the ways to solve this problem is the introduction of augmented reality in the day to day of the student. This technology, combined with the mobility offered by devices such as smartphones and tablets, make this solution a versatile one, since it can be applied not only to classes, but also in the study of Geometry outside of them.

The proposed solution to this problem is the development of an educational platform, based on the study and teaching of Mathematics, focusing on augmented reality as the basis for the visualization of geometric contents.

This platform must have a database of users, in which they differ by role, depending on the user who accesses, distinguishing between teacher, student and student's parents. From the point of view of accessibility, it will have to be accessible both from the web and from a mobile application.

The teacher will have a complete set of exercises and didactic units of all the geometric contents, to be able to add the theoretical explanations and the multiple choice tests from the own platform, being editable by the professor. Therefore, the teacher has the freedom to manipulate them as he sees they fit the contents and exams. In the same way, students will have all the didactic units for their own study and the exams, being able to do them from the mobile application.

All the content is based on augmented reality. That is, in each of the didactic units, there will be a placeholder, printable and scannable from the mobile application, from which the scene of the unit can be seen on the screen of the mobile device. Also, the battery of exercises that can be included in each exam, will have a placeholder in each question / solution, where necessary.



School textbooks usually explain Geometry as something unrelated to the spatial sense that should however be the base of its teaching process. Owing to this fact, one of the ways to overcome this obstacle is the use of augmented reality in the mentioned field and in the daily life of learners.

The technology explained above, together with the mobility offered by devices like smartphones and tablets, transform this solution in a very versatile method. Consequently, it could not only be applied to classes but also to the Geometry study outside of them.

Using this technique, the three-dimensional representation of the figure through a mobile device is achieved. Moving the device around the placeholder enables the subject to guide the visualisation over it. Besides, the construction of actual examples of geometrical concepts helps to improve the perception of them. In other words, the representation of the concept in the student's mind.

Making a learner able to observe any geometrical concept in three dimensions facilitates the task of solving physical and mental operations about it. This is due to the fact that augmented reality is one of the most suitable connections between the real world and the digital contents. This characteristic lets the user reinforce the learning of Geometry through actual association with the real world.

It is therefore a unique concept of learning based on the discovery outside of the classroom and a very useful and versatile tool for the classroom as well. For this reason, it helps to reinforce and consolidate knowledge through the visualisation of three-dimensional models. This approach to teaching achieves a greater immersion of the student and, what is more, a most significant and entertaining learning process.

Nowadays, regarding the state of Arts at college, there are jobs that use augmented reality as a communication method among teachers and students, as an assistance system for students in the college campus and also other diverse uses related to videogames. However, jobs like the ones mentioned before are not something real and present in any educational sphere.



After studying the problem explained above, the main aims that are to be achieved after the fulfillment of the present project are the following:

1. Creating an online learning platform which will be able to establish an improvement in Geometry teaching with the use of augmented reality.
2. Building a virtual environment which will give the possibility of correctly reproducing the scene corresponding to the scanned placeholder, printed previously.
3. Performing a complete test phase, with the help of real students, aiming to prove that the learning platform works and has advantages against the traditional system of Geometry teaching.
4. Study of programming for Android platform with Unity, as well as the different tools and libraries to be used.
5. Establishing a possible optimization of the teachers' working time, making one of their functions automatic, which is correcting exams. It will be sent automatically to the platform through multiple choice tests.

The structure of this project is detailed below, describing the contents of each section:

- The first chapter addresses the Introduction and Objectives of the project. Besides, the problem that has led to the solution presented is explained, as well as its benefits.
- The second chapter explains the problem statement. It is based on the state of Arts, where the existing technologies in the market of augmented reality for mobile devices are described, the regulatory framework and the socioeconomic environment, where the legislation and impact have been detailed.
- The fourth chapter contains the analysis of the solution. It describes what the system does.
- The fourth chapter contains the design of the technical solution and the description of the implementation of the learning platform. It studies the state of Arts of each technology in particular and it justifies the taken decisions about design and implementation. Finally, this chapter also shows all the process of the learning platform development.
- The fifth chapter describes the system evaluation and the results obtained. This evaluation was performed in a Secondary School, which gives the achievement of objectives, as well as the feedback coming from both teacher and student, in order to check the proper functioning of the system.



In addition to that, it also explains the results in the smartphone, evaluating the efficiency of the mobile application in it.

- The final chapters contain the project's management, which consists of the total budget and investment needed, taking into account all the devices used in it and the costs of each element in the project. The description of the initial planning of the project comes afterwards. Finally, the conclusions and the future expansion lines are found, where the project is evaluated from a critical point of view and the initially established objectives are verified.

Finally, thanks to the achievement of most of the previous objectives, it concludes with the success of the project.

It has been possible to implement an educational platform, new and attractive, able to establish an improvement in the teaching of Geometry through augmented reality. This platform operates in a fluid and fast way, consolidating itself as a useful complement in the current teaching system.

To reach the goals of this project, numerous problems were addressed. For instance, nonexistent previous knowledge of the augmented reality, being this a very wide sector.

Research and understanding of the way numerous development tools work, which compound the learning platform. Both the development environment and the use of libraries were unknown at the beginning.

Lack of 3D resources for the achievement of the project. For this reason, its development took a greater amount of time to be finished, having to learn the use of specific tools. A number of mistakes in any of the development tools, which were solved thanks to online research, due to the fact that many of them are common mistakes.

All this has been a great personal effort, necessary to master each of the characteristics that make up the educational platform and make them work together, which has been very comforting to achieve, solving all the errors that arose in its development.

At the beginning of the project, it has been difficult to estimate the planning, as well as the time needed to devote to each of the development phases. This has been due to the lack of knowledge about the technologies and tools involved



in achieving the project. For this reason, several modifications of the initial planning have been made.

The project has been raised as a personal challenge, motivated by the desire to learn about programming applications for Android with Unity. In addition to that, the project is a solution to a problem that has been experienced in the past, such as the difficulty of studying Geometry. Having a mobile application in your personal smartphone created by yourself is very satisfying, coupled with the fact that it works smoothly, after all the effort and time spent on it.