



Pablo Sebastián Gómez Zúñiga

Realidad aumentada para experiencias de Electromagnetismo

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Civil Electrónico

Escuela de Ingeniería Eléctrica Facultad de Ingeniería

Valparaíso, 17 de agosto de 2018



Realidad aumentada para experiencias de Electromagnetismo

Pablo Sebastián Gómez Zúñiga

Informe Final para optar al título de Ingeniero Civil Electrónico, aprobada por la comisión de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso conformada por

> Sr. Ariel Leiva López Profesor Guía

Sr. Francisco Pizarro Torres Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann Secretario Académico

Valparaíso, 17 de agosto de 2018

Con esfuerzo, dedicación y perseverancia.

Para mis padres Ricardo y Rossana.

Para mis hermanos Andrés y Osvaldo.

Con eterno amor.

Para mis abuelos Hernán y Melania.

Agradecimientos

Agradecer profundamente a mis padres porque me han dado la vida, y se la han jugado hasta el último momento por mí y para que nunca me falte nada; todo con el fin de que pudiera cumplir uno de mis sueños más grandes. A mi padre Ricardo Gómez que me ha enseñado lo que es el valor y el esfuerzo constante en el trabajo. A mi madre Rossana Zúñiga que me ha enseñado lo que es el cariño y el apoyo incondicional.

Agradecer con mucho cariño a mis hermanos. A mi hermano Andrés Gómez por siempre estar, y por siempre estar preocupado por mí sobre todo. A mi hermano Osvaldo Bravo por cambiarnos la vida y llenar de alegría a nuestra familia.

Agradecido por completo de mis compañeros y amigos cooperativos: Rodrigo Altamirano, Danilo Alvarez y David Navarro. Hemos formado una fuerte amistad para trabajar en equipo durante años. Espero siempre contar con ustedes aunque estemos en extremos opuestos del mundo.

Agradecer de forma particular a mi amigo Osvaldo Cariceo que ha estado presente desde los primeros años y siempre me ha motivado a seguir adelante. Ha sido un gran hermano para mí.

Agradecer a todos mis amigos más cercanos: Ignacio Sierra, Diego Farías, Ignacio Cruz, Mauricio Menay, Mauricio Lorca y Sebastián Negrete. Estaré siempre esperando a celebrar con ustedes todos nuestros logros que, por separado, todos sabemos cuánto nos ha costado.

Agradecer de forma muy especial a mi tía Alejandra Leiva y a mis primos: Rodrigo, Javiera, Gabriel y Ricardo. Siempre estuvieron en los momentos más críticos y en los momentos más importantes. Estaré eternamente agradecido por abrirme las puertas de su hogar y las puertas a nuevas oportunidades.

Agradecer a Don Juan Pablo Vial por estos dos últimos años, por recibirme en su "humilde hogar", a un completo desconocido, y tratarme como un verdadero rey. Gracias a sus grandes consejos he aprendido cómo enfrentar los nuevos desafíos y prepararme para el enorme mundo que me espera.

Valparaíso, 17 de agosto de 2018

Resumen

Debido a la alta tasa de reprobación de la asignatura denominada "Electromagnetismo", impartida por la Escuela de Ingeniería Eléctrica (EIE) de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), el presente proyecto se plantea como una problemática educacional, que podría ser solucionada (en un porcentaje) a través de incentivos didácticos/experimentales y del uso de la realidad aumentada como tecnología emergente.

Por este motivo, el objetivo principal de este proyecto es lograr que la metodología de enseñanza/aprendizaje, a través de experiencias de realidad aumentada, resulten motivantes para los estudiantes universitarios que cursan la asignatura de Electromagnetismo.

Para lograr este objetivo se requiere del diseño, desarrollo e implementación de una aplicación móvil de realidad aumentada. Las habilidades necesarias para lograrlo son: Programación avanzada, desarrollo de aplicaciones móviles, diseño, modelado y animación 2D/3D. Todo esto, para crear modelos, ambientes y experiencias de realidad aumentada, y así obtener una aplicación móvil que sea útil para visualizar y comprender conceptos físicos abstractos, tales como campos eléctricos y campos magnéticos.

A lo largo de este informe se explica con detalle, paso a paso, la problemática del proyecto, los conceptos básicos de la realidad aumentada, los beneficios y desventajas en el ámbito educativo, las herramientas actuales para el diseño y el desarrollo, hasta lograr lo que es la aplicación móvil actual "EIElectro RA". Finalmente, se explican sus características principales y cómo se relacionará con las nuevas experiencias que se implementarán en la ayudantía de Electromagnetismo.

Actualmente, la aplicación ya está disponible en la tienda de Play Store, de forma gratuita y para todo el mundo. Solo basta con tener un smartphone actual con sistema operativo Android, y con los Marcadores especiales en este informe, para aprender electromagnetismo en RA.

A medida que los usuarios lo requieran, se irán implementando nuevas actualizaciones, mejoras y experiencias más enriquecedoras.

Palabras claves: realidad aumentada, electromagnetismo, educación, experiencias, aplicación móvil, diseño, desarrollo

Abstract

Due to the high rate of failure of the subject called "Electromagnetism", given by the Escuela de Ingeniería Eléctrica (EIE) of the Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), this project is considered as an educational problem, which could be solved (in a percentage) through didactic / experimental incentives and the use of augmented reality as an emerging technology.

For this reason, the main objective of this project is to ensure that the teaching / learning methodology, through augmented reality experiences, are motivating for university students who take the subject of Electromagnetism.

To achieve this goal requires the design, development and implementation of a mobile application of augmented reality. The necessary skills to achieve it are: Advanced programming, mobile application development, design, modeling and 2D/3D animation, to create models, environments and augmented reality experiences. All this in order to obtain a mobile application that is useful to visualize and understand abstract physical concepts, such as electric fields and magnetic fields.

Throughout this report we explain in detail, step by step, the problems of the project, the basic concepts of augmented reality, the benefits and disadvantages in education, the current tools for design and development, until achieving which is the current mobile application "EIElectro RA". Finally, its main characteristics are explained and how it will be related to the new experiences that will be implemented in the Electromagnetism assistantship.

Currently, the application is already available in the Play Store and free for everyone. It is enough to have a current smartphone with Android operating system, and with the special targets in this report, to learn electromagnetism in AR.

As users require it, new updates, improvements and more enriching experiences will be implemented.

Keywords: augmented reality, electromagnetism, mobile application, education, experiences, design, development

Índice general

Introducción	.1
1 Antecedentes generales	.4
1.1 Descripción de la problemática	4
1.2 Objetivos generales	5
1.3 Objetivos específicos	5
1.4 Solución propuesta	6
1.5 Metodología del proyecto	6
1.5.1 Ventajas de la metodología	7
1.5.2 Desventajas de la metodología	7
1.6 Contextualización	7
1.6.1 ¿Qué es la Realidad Aumentada?	7
1.6.2 Aplicaciones móviles de Realidad Aumentada	8
1.6.3 Niveles de la Realidad Aumentada	9
1.6.4 Áreas de aplicación	11
1.6.5 Asignatura de Electromagnetismo	11
2 Estado del arte	16
2.1 Aplicaciones móviles de RA para la educación	16
2.1.1 Beneficios educativos de la Realidad Aumentada	17
2.1.2 Desventajas de la Realidad Aumentada	20
2.2 Proyectos similares	20
3 Análisis y diseño	24
3.1 Idea principal	24
3.1.1 Primeras limitaciones	25
3.2 Idea desafío	27
3.3 Posibles ideas posteriores	27
3.4 Requerimientos funcionales	27
3.5 Requerimientos no funcionales	28
4 Herramientas de desarrollo	29

4.2 Vuforia	30
4.3 Adobe Photoshop	
4.4 Autodesk Maya	32
4.5 Blender	33
4.6 SketchUp	
4.7 Android	
4.8 Esquema general del desarrollo	35
5 Desarrollo de la aplicación	
5.1 Introducción a Unity	36
5.2 Objetos y Jerarquía	39
5.3 Elementos de una Escena	39
5.3.1 Textura de Materiales, Iluminación y Shaders	40
5.3.2 Animación	
5.3.3 Física	
5.3.4 Características adicionales	43
5.3.5 Uso de cámaras en RA	43
5.4 Obtener Vuforia	45
5.4.1 Configuración de VuforiaConfiguration	46
5.4.2 License Key	47
5.4.3 Webcam	
5.5 RA en un Marcador	
5.5.1 Agregar Cámara RA a la Escena	
5.5.2 Agregar un Marcador a la Escena	49
5.5.3 Crear la base de datos de los Marcadores	50
5.5.4 Activar la base datos de los Marcadores	52
5.5.5 Prueba básica de RA	53
5.5.6 Obtener modelos 3D	54
5.6 Compilar y exportar el proyecto de RA	55
5.7 EIElectro RA	57
5.8 Escenas	58
5.9 Experiencias de RA	60
5.9.1 EIE Retro-TV	61
5.9.2 Campos Magnéticos	64
5.9.3 Cargas Eléctricas	66
5.10 Marcadores de EIElectro RA	68
5.11 Play Store y actualizaciones	70
6 Guías de experiencias	71
6.1 Introducción y Campos Vectoriales	71
6.2 Jaula de Faraday	75
Discusión y conclusiones	79

Bibliografía	
A Marcadores de EIElectro RA	
A.1 Experiencia de RA: EIE Retro-TV	88
A.2 Experiencia de RA: Campos Magnéticos (Imán permanente v1.0)	89
A.3 Experiencia de RA: Campos Magnéticos (Superficie de opalina)	
A.4 Experiencia de RA: Cargas Eléctricas	
B Guías de experiencias para alumnos	
B.1 Experiencia Nº1: Introducción y Campos Vectoriales	
B.2 Experiencia Nº2: Jaula de Faraday	

Introducción

La educación siempre será un reto constante para los profesores. Nunca ha sido una tarea fácil convertir conceptos abstractos en palabras, o plasmar ejemplos en la pizarra para facilitar la comprensión, ya que no siempre se logra este fin. Por supuesto, sin considerar el hecho de que no todos los estudiantes tienen la misma capacidad para imaginar y comprender modelos ideales en diferentes temas. Por este motivo, el proceso de enseñanza/aprendizaje en el marco de la educación se ha ido reformando y ampliando a través de los años. La forma de instruir y aprender ha cambiado de manera sustancial, debido a la necesidad de adecuarse a las nuevas tecnologías e innovaciones.

Para enfrentar los nuevos desafíos del sector educativo, la Escuela de Ingeniería Eléctrica (EIE) de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) renovó sus planes de estudio de las carreras "Ingeniería Civil Eléctrica" e "Ingeniería Civil Electrónica" para basarse en competencias. Por motivo de esta actualización, la asignatura de Ciencias Básicas llamada "Electromagnetismo", impartida anteriormente por el Instituto de Física de la PUCV, comenzó a ser impartida por la EIE, debido a que este curso es fundamental para el desarrollo académico y profesional de las carreras universitarias ya mencionadas, las cuales establecen sus aplicaciones tecnológicas en principios de esta área de la física.

La asignatura Electromagnetismo comenzó a ser impartida por la EIE desde el segundo semestre del año 2015. Sin embargo, desde esta actualización, y según las estadísticas del staff de docentes del área, se ha observado una alta tasa de reprobación que varía entre un 40% a un 70%, y los alumnos aprobados tienen un promedio de notas que varía entre 4.4 a un 5.0, por lo cual no se considera un rendimiento alto. Por supuesto que estos datos alertaron a la EIE, generando la necesidad de revisar y actualizar los métodos de enseñanza/aprendizaje/evaluación del curso.

En base de los puntajes obtenidos en las pruebas de la asignatura, en los comentarios de los alumnos en sesiones de consultas y a través de la percepción de los estudiantes en la "Encuesta Docente PUCV" (cuestionario que los alumnos deben contestar una vez terminado el curso), los docentes afirman que las posibles causas del mal rendimiento se deben a la falta de ejercicios al nivel exigido por las evaluaciones, al deficit de nivel de conocimientos necesarios y competencias de asignaturas previas a Electromagnetismo, como "Cálculo III" y "Física Mecánica", a la falta de experiencias prácticas que refuercen los conceptos teóricos y a la falta de motivación debido al

bajo nivel de aprendizaje de la asignatura en el transcurso del semestre, a pesar de las horas dedicadas.

A partir de este problema, el presente proyecto forma parte de una propuesta asociativa de innovación docente titulada "Electromagnetismo: Cambiando a una ayudantía basada en experimentos, simulaciones y juegos", proyecto apoyado por CORFO, que busca implementar cambios metodológicos en el proceso de enseñanza/aprendizaje de la asignatura. Esta propuesta, que tiene por objetivo mejorar los resultados de las calificaciones y la tasa de aprobación de la asignatura, busca lograr que las metodologías de enseñanza/aprendizaje resulten motivantes para los estudiantes y además que mejoren su percepción.

A través de investigaciones, y a nivel internacional, se han implementado innovaciones en pro de mejorar los métodos de enseñanza del electromagnetismo, aplicando actividades motivantes para aumentar el interés y el aprendizaje. Por ejemplo, en Crilly [1] los estudiantes obtienen mejoras en la percepción al contar con sesiones experimentales de electromagnetismo, fortaleciendo los conocimientos adquiridos. En Y. Judi [2] y C. Wieman [3] se han desarrollado estudios que demuestran la efectividad y los beneficios de contar con herramientas basadas en simulación. En M. Papastergiou [4] se reportan los beneficios de la inserción de juegos digitales y aspectos de "ludificación" (uso de elementos, dinámicas y técnicas propias de los juegos en actividades no recreativas, con el objetivo de potenciar la motivación) en el proceso de enseñanza/aprendizaje para cursos de ciencias. En J. Anderson [5] y K. Squire [6] se presentan juegos digitales basados en fenómenos electromagnéticos, demostrando resultados positivos según la opinión de los estudiantes a través de encuestas de percepción, mejorando la comprensión de conceptos tales como campos vectoriales.

Adicionalmente, una de las tecnologías más aplicadas al ámbito de la educación es la denominada "Realidad Aumentada (RA)", la cual ha comenzado a mostrarse prometedora para ayudar a los estudiantes a aprender de forma más efectiva y a retener más de lo que han aprendido. Durante este último tiempo, la realidad aumentada ha sido reconocida como una tecnología con gran potencial para el aprendizaje de las ciencias, ya que proporciona nuevas formas de interacciones táctiles y visuales que podrían ser útiles para mejorar los resultados del aprendizaje. Por ejemplo, en M. Ibáñez [7] se demuestra que la realidad aumentada ofrece más beneficios y tiene más ventajas sobre la enseñanza basada en web, trabajando con estudiantes y experiencias prácticas de electromagnetismo.

Una de las mayores dificultades en la enseñanza/aprendizaje del electromagnetismo, según los ayudantes de la asignatura (estudiantes de pregrado/posgrado con años de experiencia en el curso teórico y práctico), es la introducción del concepto de campo y su posterior utilización, ya sea para el caso del campo eléctrico, como para el caso del campo magnético. En el caso del campo magnético, aparece la dificultad de averiguar qué es lo que genera un campo magnético, comenzando desde los imanes, brújulas y corrientes eléctricas. También aparecen como dificultades añadidas, las expresiones físicas de las fuerzas magnéticas o de los campos magnéticos, con productos vectoriales que introducen una complejidad mayor que para el caso del campo eléctrico.

Por todos los motivos mencionados anteriormente, se propone diseñar una aplicación móvil de RA para aportar en la gamificación del proyecto de innovación docente de la asignatura Electromagnetismo, con el objetivo de mejorar la visualización en tres dimensiones y la comprensión de los modelos ideales de campo eléctrico y campo magnético. Una herramienta práctica que, acorde a los tiempos actuales y al uso de la tecnología móvil, podría resultar muy atractiva y de gran ayuda para los estudiantes universitarios.

Los capítulos que se presentan a continuación en este informe se rigen bajo un orden secuencial:

- En el primer capítulo "Antecedentes Generales", se describe detalladamente la problemática educacional principal, cuáles son los objetivos generales y especifícos del proyecto, la solución innovativa que se propone, la metodología del proyecto, la contextualización respectiva relacionada a la tecnología de la realidad aumentada y la situación actual del curso Electromagnetismo, impartido por la EIE de la PUCV.
- En el segundo capítulo "Estado del Arte", se describe el análisis y la revisión del estado del arte, los beneficios y desventajas de la RA en el sector educativo, las dificultades para el desarrollo y para el uso aplicativo en las aulas, y los proyectos similares que se desenvuelven en las áreas de estudio del electromagnetismo.
- En el tercer capítulo "Análisis y Diseño", se describen las primeras ideas de acuerdo a la solución propuesta, diseños conceptuales prototipos, los desafíos y estrategias que se requieren para desarrollar una aplicación móvil de RA en la actualidad, estableciendo los límites de diseño 3D.
- En el cuarto capítulo "Herramientas de Desarrollo", se describen las principales herramientas computacionales con las que se trabajará para el desarrollo, tanto para la parte de diseño 2D/3D, como para la parte de programación en dispositivos móviles.
- En el quinto capítulo "Desarrollo de la Aplicación", se introduce al lector paso a paso en el mundo de Unity, el software central para este proyecto, el cual es reconocido como uno de los mejores motores de desarrollo de juegos y contenidos 2D/3D para dispositivos inteligentes. Adicionalmente se presenta la versión de lanzamiento de la aplicación "EIElectro RA", su diseño y sus características principales.
- Finalmente, en el sexto capítulo "Guías de Experiencias", se describen las guías de evaluación para las sesiones experimentales de la ayudantía de Electromagnetismo, las cuales fueron desarrolladas en paralelo a la aplicación móvil, y que se complementan con el uso de EIElectro RA para ser resueltas. Se espera que los estudiantes enfrenten los problemas de las guías en parejas y que hagan un buen uso de los elementos del laboratorio.

Adicionalmente, este informe presenta dos apéndices:

- En el apéndice A "Marcadores de EIElectro RA", se adjuntan los Marcadores diseñados para funcionar con la aplicación EIElectro RA, para las experiencias de "Campos Magnéticos" y "Campos Eléctricos.
- En el apéndice B "Guías de experiencias para alumnos", se adjuntan las guías de evaluación de las sesiones experimentales "Introducción y Campos Vectoriales" y "Jaula de Faraday".

Antecedentes generales

El objetivo principal de este capítulo es mencionar las bases del proyecto, contextualizar al lector respecto a la problemática existente, la solución que se busca implementar, los conceptos básicos de la tecnología emergente de la realidad aumentada, y la situación actual de la asignatura "Electromagnetismo" impartida por la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la PUCV.

1.1 Descripción de la problemática

 $\mathbf{1}$

La Escuela de Ingeniería Eléctrica (EIE) de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) actualizó sus planes de estudio y comenzó a impartir la asignatura denominada "Electromagnetismo" desde el año 2013. Esta asignatura, en períodos anteriores, era impartida como ciencia básica por el Instituto de Física de la PUCV, y fue renovada debido al gran impacto que ésta tiene en el desarrollo académico y profesional de los estudiantes de las carreras "Ingeniería Civil Eléctrica" e "Ingeniería Civil Electrónica".

Sin embargo, según las estadísticas analizadas por los docentes del área, se ha podido observar una alta tasa de reprobación (40% a 70%) y un no muy alto promedio de los alumnos aprobados (de 4,4 a 5,0), desde que la asignatura fue actualizada en los últimos dos años.

Por supuesto que estos indicadores han alertado a la EIE, haciéndose necesaria una revisión y actualización de los metodos de enseñanza/aprendizaje/evaluación de la asignatura de Electromagnetismo. Razón por la cual profesores y ayudantes en conjunto trabajan en un proyecto de innovación docente llamado "Electromagnetismo: Cambiando a una ayudantía basada en experimentos, simulaciones y juegos", apoyados por CORFO.

Para este proyecto, el staff de profesores del área realizó un primer diagnóstico en busca de las posibles causas que pudiesen explicar el bajo rendimiento y la alta tasa de reprobación de la asignatura. En un análisis basado en los puntajes de las respuestas de distintos temas de la asignatura, incluyendo comentarios de alumnos en sesiones de consultas, y también considerando la percepción de los alumnos a través de la escuesta docente PUCV (cuestionario que deben contestar los estudiantes una vez terminado el curso, cubriendo distintos aspectos de la asignatura, y permitiendo la posibilidad de realizar comentario), se suponen las siguientes causas según los resultados arrojados:

- 1) La falta de ejercicios disponibles con el nivel exigido en las evaluaciones.
- 2) El déficit del nivel necesario de conocimientos y competencias asociadas a las asignaturas previas o pre-requisitos a Electromagnetismo (Cálculo III y Física Mecánica) por parte de los alumnos.
- 3) La falta de sesiones experimentales que refuercen los conceptos teóricos vistos en clases.
- 4) La falta de motivación experimentada por los alumnos, debido a la percepción de que logran un bajo nivel de aprendizaje en el desarrollo del curso, a pesar de las horas dedicadas a la asignatura.

Estas posibles causas llevan a la necesidad de innovar en los métodos de enseñanza, usados hasta la fecha, con la finalidad de ser motivantes en pro de mejorar los resultados (promedios finales), la tasa de aprobación, la percepción y el aprendizaje de los alumnos que cursen el curso de Electromagnetismo.

A partir de esta problemática, se busca aplicar innovaciones que hayan modificado, a nivel internacional, los métodos de enseñanza del Electromagnetismo para mejorar el interés (actividades motivantes) y el aprendizaje.

Por este motivo, el presente proyecto requiere de la investigación, desarrollo, aplicación y evaluación de una tecnología en auge; como es la Realidad Aumentada, dentro del entorno de aprendizaje universitario. Una herramienta que sirva como apoyo para complementar a las ya existentes, tales como experiencias prácticas, herramientas basadas en simulación o juegos digitales, y lograr de esta forma un aprendizaje significativo por parte de los alumnos en temáticas relacionadas a campos eléctricos y campos magnéticos, los cuales, a diferencia de otras áreas de la física, son invisibles y necesitan un nivel de abstracción elevado para su compresión.

1.2 Objetivos generales

- Diseñar, desarrollar e implementar aplicaciones de realidad aumentada para experiencias de Electromagnetismo.
- Diseñar guías de experiencias y/o encuestas de evaluación para la ayudantía de Electromagnetismo.

1.3 Objetivos específicos

- Diseñar conceptualmente distintas aplicaciones de RA aplicadas a la enseñanza de Electromagnetismo.
- Implementar los diseños y desarrollar una aplicación móvil que cumpla con los requerimientos planteados.
- Lograr que la metodología de enseñanza/aprendizaje a través de experiencias de realidad aumentada resulten motivantes para los estudiantes del curso de Electromagnetismo.
- Diseñar guías de evaluación acerca de las experiencias a realizar en conjunto con las aplicaciones.

1.4 Solución propuesta

En definitiva, se desarrollará una aplicación móvil de realidad aumentada personalizada, específicamente, para la asignatura de Electromagnetismo que imparte la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la PUCV.

Antes que todo, es necesario comprender el funcionamiento y el desarrollo de las actuales aplicaciones de realidad aumentada, y escoger el software más adecuado para entrar a la etapa de diseño.

Se desarrollará una aplicación móvil que trabaje en conjunto con experiencias en el aula. Además, se buscará que sea un aporte afuera de éstas, que sea atractiva y didáctica a nivel universitario y, por supuesto, que sea motivante.

Finalmente se analizarán las opiniones de los docentes para realizar todas las mejoras posibles, y así dejar una herramienta útil para cada estudiante que curse las carreras de Ingeniería dentro de la EIE.

1.5 Metodología del proyecto

La metodología a utilizar en este proyecto es el modelo incremental. En este modelo el sistema se desarrolla para satisfacer un subconjunto de requisitos específicos y en posteriores versiones se incrementa el programa con nuevas funcionalidades que satisfacen más requisitos. De esta forma se añaden nuevas funciones a una versión anterior del sistema.

Esta metodología es interactiva. Es un método útil para cuando no se cuenta con una gran cantidad de personas trabajando en un proyecto. Algunas otras ventajas de este modelo son: Se evita proyectos largos y se entrega algo de valor a los usuarios, en este caso profesores y estudiantes, con frecuencia; El usuario se involucra más; El resultado puede ser muy positivo.

Una vez elegida esta metodología de trabajo, se divide el proceso en: Planeación, Requerimientos, Análisis y Diseño, Desarrollo, Implementación, Pruebas y Evaluación, tal como muestra la Figura 1-1:



Figura 1-1: Metodología del modelo incremental.

1.5.1 Ventajas de la metodología

- La especificación puede desarrollarse de forma creciente.
- Los usuarios y desarrolladores logran un mejor entendimiento del sistema.
- Esto se refleja en una mejora de la calidad del software.
- Es más efectivo que un modelo de cascada, ya que cumple con las necesidades inmediatas del cliente.

1.5.2 Desventajas de la metodología

- **Proceso no-visible:** Los administradores necesitan entregas para medir el progreso. Si el sistema se necesita desarrollar rápido, no es efectivo producir documentos que reflejen cada versión del sistema.
- **Sistemas pobremente estructurados:** Los cambios continuos pueden ser perjudiciales para la estructura del software haciendo costoso el mantenimiento.
- Se requieren técnicas y herramientas: Para el rápido desarrollo se necesitan herramientas que pueden ser incompatibles con otras o que poca gente sabe utilizar.

1.6 Contextualización

1.6.1 ¿Qué es la Realidad Aumentada?

La Realidad Aumentada, conocida por su acrónimo RA (en inglés AR; Augmented Reality) es el término que hace referencia a la visualización, directa o indirecta, de elementos del mundo real combinados (o aumentados) con elementos virtuales, generados por un dispositivo tecnológico, cuya fusión da lugar a una realidad mixta en tiempo real (Figura 1-2). En simples palabras, consiste en unir el mundo real con el virtual mediante un proceso informático, enriqueciendo la experiencia visual y mejorando la calidad de la comunicación.



Figura 1-2: Realidad aumentada a través de un dispositivo móvil. [8]

Varias tecnologías se utilizan en la representación de la realidad aumentada, incluyendo sistemas de proyección óptica, pantallas, dispositivos móviles (como tablets y teléfonos inteligentes), y sistemas de visualización usados en forma de lentes o cascos.

Gracias a esta tecnología se puede añadir información visual a la realidad, y crear todo tipo de experiencias interactivas: Catálogos de productos en 3D, métodos de enseñanza, videojuegos y mucho más, en donde el usuario no perderá contacto con el mundo real.

Desde una perspectiva de aplicabilidad educativa, se considera como aquella tecnología emergente que nos permite crear entornos de enseñanza/aprendizaje mixtos donde se combinan elementos virtuales y reales, sin confundirla con la realidad virtual, la cual, y a diferencia de la anterior, sustituye por completo el mundo real por otro virtual constituyendo entornos de simulación.

1.6.1.1 Diferencias entre Realidad Aumentada y Realidad Virtual

A pesar de que a menudo se utilizan indistintamente, Realidad Virtual y Realidad Aumentada no son lo mismo. Además, uno no es un subconjunto del otro, y el único atributo que comparten en común es el término "realidad". Estos comparten algunas tecnologías subyacentes, pero ofrecen experiencias claramente diferentes.

La realidad virtual te lleva a un mundo completamente aislado generado por computador, normalmente con sólo tres grados de libertad (3DOF), mientras que la realidad aumentada te proporciona información visual adicional superpuesta en el mundo que te rodea y seis grados de libertad (6DOF).

Desde una perspectiva gráfica, la realidad aumentada es funcionalmente similar a la realidad virtual, con la diferencia principal que es una pantalla transparente que permite al usuario ver tanto la vista real como la superposición procesada por computador. Por lo tanto, el hardware para mostrar los gráficos y herramientas de software son similares. Sin embargo, la realidad aumentada tiene requisitos adicionales en óptica y seguimiento que hacen que sea una tarea más difícil de hacer bien. Realidad Aumentada, como se describe, superpone datos generados por computador y objetos en la cosmovisión real del usuario. La realidad virtual crea un entorno artificial y oscurece totalmente el mundo real.

Por lo tanto, la realidad virtual te aleja totalmente de la realidad real, mientras que la realidad aumentada realza tu realidad real.

1.6.2 Aplicaciones móviles de Realidad Aumentada

Las primeras aplicaciones de realidad aumentada se lanzaron para los teléfonos móviles a principios de los años 2000, donde personas de todo el mundo podían disfrutar de esta tecnología de forma más sencilla. La primera aplicación fue para los usuarios de Symbian S.O. (sistema operativo propiedad de Nokia) y les permitió utilizar sus cámaras para ver diferentes aumentos en la pantalla indicando puntos de interés (Figura 1-3).

Sin embargo, de todas las aplicaciones que se desarrollaron a finales de los años 2000 y hasta 2016, ninguna fue tan masiva, para introducir el concepto de realidad aumentada a los consumidores, como lo hizo la famosa aplicación móvil "Pokémon GO", desarrollada por Nintendo y Google, con descargas que superaban los 75 millones. Desde este punto, el concepto se convirtió en un fenómeno global.

La rápida evolución de los dispositivos inteligentes en el mercado (cada vez más potentes y menos costosos), la alta capacidad de procesamiento y almacenamiento, nos han permitido realizar aplicaciones similares (y algunas mejores) a la de los computadores de escritorio, y nos han abierto un mundo de nuevas posibilidades para todos.



Figura 1-3: Aplicaciones móviles de RA desde Symbian S.O. hasta la actualidad. [9] [10]

Actualmente, la realidad aumentada nos ofrece una infinidad de áreas y posibilidades de utilización, al contener en un mismo dispositivo distintos elementos visuales, auditivos e interactivos tales como: pantalla táctil, cámara, grabador de vídeo, GPS, giroscopio, brújula, conexión a la red, entre otros. En general, la mayoría de los dispositivos inteligentes actuales tienen la capacidad suficiente para ejecutar las tareas requeridas por las aplicaciones de RA, como el rastreo básico de marcadores usando una cámara y una interfaz que se adapta a todos los sensores.

1.6.3 Niveles de la Realidad Aumentada

Los denominados "Niveles de la Realidad Aumentada" pueden definirse como los distintos grados de complejidad que presentan las aplicaciones basadas en RA según las tecnologías que implementan. Cuanto mayor sea el nivel de una aplicación, más avanzadas e inmersivas serán sus funcionalidades. En este sentido, se propone una clasificación en cuatro niveles (de 0 a 3):

• Nivel 0 (Physical World Hyper Linking): Las aplicaciones hiperenlazan el mundo físico mediante el uso de códigos de barras y 2D, por ejemplo, los códigos QR (Figura 1-4). Dichos códigos solo sirven como hiperenlaces a otros contenidos, de manera que no existe registro alguno en 3D ni seguimiento de marcadores.



Figura 1-4: Códigos QR y Códigos de Barra. [11]

• Nivel 1 (Marker Based AR): Las aplicaciones utilizan marcadores (Figura 1-5), habitualmente para el reconocimiento de patrones 2D. La forma más avanzada de este nivel también permite el reconocimiento de objetos 3D.

Marker-Based AR



Figura 1-5: RA basada en Marcadores. [12]

• Nivel 2 (Markerless AR): Las aplicaciones sustituyen el uso de los marcadores por el GPS y la brújula de los dispositivos móviles, como el popular "Pokémon GO" en la Figura 1-6, con el fin de determinar la localización u orientación del usuario, y superponer "puntos de interés" sobre las imágenes del mundo real.



Figura 1-6: Pokémon GO, aplicación móvil de RA basada en GPS (sin Marcadores). [13]

• Nivel 3 (Augmented Vision): Estaría representado por dispositivos como "Google Glass", "HoloLens" (Figura 1-7), lentes de contacto de alta tecnología u otros que, en el futuro, serán capaces de ofrecer una experiencia completamente contextualizada, inmersiva y personal.



Figura 1-7: Visión Aumentada con Microsoft HoloLens. [14]

1.6.4 Áreas de aplicación

La realidad aumentada eventualmente revolucionará las industrias y las empresas, y aumentará la productividad, la eficiencia y la seguridad en varias áreas. Entre estas se destacan:

- **Educación**, educación visual inmersiva, autoguiada e interactiva en cualquier materia, para estudiantes de educación básica o superior y capacitaciones en empresas.
- **Ciencias**, visualización de modelos y conceptos abstractos e información superpuesta del cosmos.
- **Negocios y producción**, entrenamiento guiado para la fabricación y soporte remoto, seguridad mejorada y diagnóstico de la fábrica en tiempo real.
- **Medicina**, visualización asistida en el entrenamiento quirúrquico, se mejorará la asistencia al paciente, su diagnóstico y asistencia en el tratamiento.
- **Seguridad pública y militar**, entrenamiento militar-instruccional y asistencia en el campo.
- Arte, esculturas de imagen 3D distribuidas por la ciudad, pinturas animadas y eventos audiovisuales inmersivos.
- **Publicidad**, diseño de productos interactivos, contenidos más creativos y atractivos para los clientes.
- Entretenimiento, juegos digitales al aire libre y todo tipo de disfraces virtuales.

1.6.5 Asignatura de Electromagnetismo

Actualmente, la asignatura denominada "Electromagnetismo", impartida por la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, es dictada por los profesores Ariel Leiva Lopez y Francisco Pizarro Torres, ambos docentes de jornada completa. Entre los contenidos base de esta área de la física se incluyen: Análisis vectorial, Cargas y Campo Eléctrico, Potencial Eléctrico, Ley de Gauss, Conductores y Dieléctricos, Capacitores, Circuitos de Corriente Continua, Campo Magnético, Ley de Biot-Savart y Fuerzas en Dipolos, Ley de Ampere, Ley de Faraday e Inductores.

La evaluación de la asignatura consiste en tres pruebas de cátedra (70% de la nota de presentación) de resolución de ejercicios y preguntas conceptuales, tres controles de ayudantía de resolución de ejercicios (20% de la nota de presentación), y un proyecto experimental final (10% de la nota de presentación).

Las ayudantías de la asignatura están a cargo de los estudiantes Juan Pinto y Carlos Madariaga, para las carreras Ingeniería Civil Eléctrica/Electrónica y Ingeniería Eléctrica/Electrónica (PUCV) respectivamente.

Para el proyecto de innovación docente de esta asignatura, los ayudantes trabajan en juegos digitales didácticos y experiencias de laboratorio, ambas con evaluación.

- **Juegos digitales y simulaciones:** Usando el lenguaje de programación "Java", Juan Pinto ha desarrollado juegos digitales y simulaciones para aplicar los conceptos físicos de forma didáctica y evaluar la ayudantía de Electromagnetismo. Entre los trabajos ya realizados se encuentran los siguientes:
 - 1) <u>Attack on Valpo:</u> Este juego (Figura 1-8) consta de tres niveles con distintas características. El nivel se gana al acertar tres disparos al punto débil del enemigo. Los disparos obedecen al modelo matemático del lanzamiento de proyectil, en conjunto a la influencia de un campo eléctrico variable. El proyectil consta de una carga negativa, cuyos valores se asemejan a un electrón.



Figura 1-8: Juego digital; Attack on Valpo.

2) <u>Anillo y Carga:</u> El campo eléctrico posee propiedades que pueden generar un movimiento en una partícula, para entender este fenómeno y cómo funcionan la fuerza que dan los campos eléctricos, esta simulación (Figura 1-9) presenta como oscila una carga de prueba en el centro de un anillo de cargas, basado en la fuerza inyectada y en la dinámica de aceleración de partículas según la segunda ley de Newton.



Figura 1-9: Simulación; Anillo y Carga Eléctrica.

3) <u>Campo Eléctrico</u>: El campo eléctrico, se define como la fuerza por unidad de carga, para poder apreciar de mejor manera, se ha realizado un modelo de la ley de Coulomb y los campos eléctricos. Esta simulación (Figura 1-10) consiste en un panel donde el alumno puede rellenar con cargas y distribuirlas como él lo desee.



Figura 1-10: Simulación; Campo eléctrico entre dos cargas.

4) <u>Potencial Electrostático:</u> El potencial eléctrico o potencial electrostático en un punto, es el trabajo que debe realizar un campo electrostático para mover una carga positiva desde dicho punto hasta el punto de referencia, dividido por unidad de carga de prueba.



En esta simulación (Figura 1-11) se pueden mover las cargas para visualizar el potencial eléctrico entre ellas, con una configuración de cargas en forma de anillo.

Figura 1-11: Simulación; Potencial Electrostático.

- **Experiencias de laboratorio:** Entre las experiencias aplicadas en la ayudantía por Carlos Madariaga, cada una con guía, pauta y test de preguntas conceptuales previa a la experiencia, se encuentran las siguientes:
 - <u>Campos Vectoriales</u>: A cada grupo de estudiantes se le entrega un kit experimental, consistente en una estructura delgada de madera y opalina que debe utilizarse para visualizar correctamente el campo magnético provocado por un imán rectangular cerámico, alojado en su interior, a través de la disposición de virutilla de hierro en su superficie (Figura 1-12). A través de esta experiencia los alumnos tienen que responder las preguntas planteadas usando las formulas y definiciones de vectores de campos magnéticos.



Figura 1-12: Bosquejo de la experiencia "Campos Vectoriales".

2) <u>Procesos de Cargas y Ley de Coulomb:</u> A cada grupo de estudiantes se le entrega un péndulo electrostático y dos pequeñas esferas envueltas en papel aluminio, como muestra la Figura 1-13. Se debe colgar una de dichas esferas a la estructura del péndulo para inducir carga en ella, y observar su comportamiento mecánico. Siguiendo las instrucciones de los ayudantes, se carga mediante fricción un bastón y se acerca a la esfera para observar el fenómeno de polarización y agrupación de las cargas, para proceder a responder las preguntas de la guía adjunta.



Figura 1-13: Bosquejo de la experiencia "Procesos de Cargas y Ley de Coulomb".

3) Jaula de Faraday: A cada grupo de estudiantes se le entrega un papelero construido con malla metálica en bruto. En esta experiencia se busca relacionar el papelero con la conocida Jaula de Faraday, introduciendo un teléfono móvil en el fondo, como muestra la Figura 1-14. Para analizar el fenómeno se hace necesario hacer una llamada para comunicarse con el teléfono al interior. Se responden las preguntas de la guía adjunta y se analiza el caso ya que hacen falta elementos como una tapa o juntar dos papeleros para ver el efecto real y compararlo con el ideal.



Figura 1-14: Bosquejo de la experiencia "Jaula de Faraday".

2 Estado del arte

El objetivo principal de este capítulo es el análisis y la revisión del estado del arte, los beneficios y desventajas de la realidad aumentada en el ámbito educativo, y los proyectos actuales más destacados relacionados a la misma problemática, o similares a este proyecto.

2.1 Aplicaciones móviles de RA para la educación

El uso de la tecnología en la educación se ha generalizado en la última década, gracias a los avances y mejoras en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), especialmente en dispositivos móviles. Estos últimos, en su mayoría llamados "teléfonos inteligentes", nos han permitido llegar a la información en cualquier lugar y en cualquier momento con mucha más facilidad. Entre los campos en los que los dispositivos móviles desempeñan papeles importantes, la educación es uno de los principales. Los dispositivos móviles ayudan a los profesores y a los alumnos a acceder a los recursos educativos cuando sea necesario. Para aumentar la realidad de los entornos virtuales de aprendizaje en dispositivos móviles, la tecnología de realidad aumentada ha sido adoptada con la ayuda de redes celulares de alta velocidad, dispositivos con capacidades de alto rendimiento, poder gráfico y microprocesadores de última tecnología.



Figura 2-1: Cuerpo humano en RA. Ejemplo básico de RA en el ámbito educativo. [15]

Como muestra la Figura 2-1, el uso educativo de la RA (tanto para la enseñanza como para el aprendizaje) está ganando popularidad y atención, dado que el uso de dispositivos móviles para acceder y utilizar recursos educativos aumentó drásticamente durante la última década [16]. A causa de esto, las aplicaciones de RA educativas se trasladan principalmente a plataformas móviles.

Las aplicaciones móviles de RA para la educación incorporan elementos u objetos virtuales en 3D, o información digital adicional generados a través de dispositivos (Smartphones, Tablets, lentes de RA, etc.) con el objetivo de complementar, reforzar, potenciar, amplificar y enriquecer los escenarios.

De esta forma se logra aumentar las posibilidades de aprendizaje ya que el estudiante recibe más estímulos, favoreciendo a su vez no solo el aprendizaje de contenidos, sino el desarrollo de la creatividad del alumnado, su interés por investigar y explorar para construir su conocimiento, dado el gran carácter motivador que incorpora esta herramienta.

Por ejemplo, algunos de los objetivos que la tecnología RA actualmente utiliza para la educación son [17]:

- Proporcionar libros bidimensionales con una tercera dimensión.
- Dar entrenamiento para tareas de reparación cognitiva y psicomotora.
- Representaciones tridimensionales de conceptos o realización de experimentos en áreas como física, química, biología.
- Seguir videos o audios, y conducir experimentos sobre el fenómeno en varios temas de la ciencia.
- Visualización de conceptos y relaciones espaciales en lecciones de matemáticas y geometría.
- Visualización de conceptos en educación geográfica.
- Proporcionar una variedad de conocimientos y habilidades en educación para la salud, como guía de intervención.
- Adquirir experiencia a través de tareas significativas y auténticas en la capacitación del personal militar.
- Experiencia en gestión de aulas en la formación docente.
- Obtener conocimientos/habilidades sobre herramientas y materiales en la educación de Ingeniería.

2.1.1 Beneficios educativos de la Realidad Aumentada

La tecnología RA también proporciona numerosos beneficios educativos. Los beneficios educativos de las aplicaciones de RA y las referencias enumeradas se presentan en la Tabla 2-1:

Beneficios educacionales	Referencias
Activa la creatividad	Klopfer y Yoon [18]; Yuen, Yaoyuneyong y Johnson [19]; Zhou, Cheok y Pan [20]
Proporciona aprendizaje atractivo y efectivo	Duenser y Hornecker [21]; Lester, Converse, Kahler, Barlow, Stone y Bhogal [22]; Oh y Woo [23]; Wojciechowski y Cellary [24]; Zhou, Cheok y Pan [20]
Mejora la motivación	Delello [25]; Fleck y Simon [26]; Ibili y Sahin [27]; Kerawalla, Luckin, Seljeflot y Woolard [28]; Kučuk, Yılmaz y Yuksel [29]; O'Brien y Toms [30]; Perez-Lopez y Contero [31]; Sumadio y Rambli [32]; Serio, Ibanez y Kloos [33]; Taskıran, Koral y Bozkurt [18]; Tomi y Rambli [35]; Yen, Tsai y Wang [36]
Interacción enriquecedora	Azuma [37]; Bujak, Radu, Catrambone, MacIntyre, Zheng y Golubski [38]; Kerawalla, Luckin, Seljeflot y Woolard [28]; Ivanova y Ivanov [39]; Wojciechowski y Cellary [24]; Wu, Lee, Chang y Liang [40]
Facilita el aprendizaje	Abduïsselam [41]; Cai, Wang y Chiang [42]; Delello [25]; Ivanova y Ivanov [39]; Kaufmann [43]; Kerawalla, Luckin, Seljeflot y Woolard [28]; Uńñez, Quiros, Uńñez, Carda y Camahort [44]; Rosenbaum, Klopfer y Perry [45]; Shelton y Hedley [46]; Shelton y Stevens [47]; Tian, Endo, Urata, Mouri y Yasuda [48]; Yen, Tsai y Wu [49]
Ayuda a eliminar conceptos erróneos	Fleck, Hachet y Bastien [50]; Fleck y Simon [26]; Rosenbaum, Klopfer y Perry [45]; Shelton y Hedley [46]; Tian, Endo, Urata, Mouri y Yasuda [48]; Yen, Tsai y Wang [36]
Concretiza conceptos abstractos	Abduïsselam [41]; Abduïsselam y Karal [51]; Ozarslan [52]; Taskıran, Koral y Bozkurt [34]; Tosik-Guïn [53]

Tabla 2-1.a: Beneficios educacionales de la RA.

Beneficios educacionales	Referencias
Aumenta la participación	Abduïsselam y Karal [51]; Bai, Blackwell y Coulouris [54]; Bujak, Radu, Catrambone, MacIntyre, Zheng y Golubski [38]; Cai [55]; Delello [25]; Dunleavy, Dede y Mitchell [56]; Ivanova y Ivanov [39]; Yusoff y Dahlan [57]
Mejora la atención	Delello [25]; Ibili y Sahin [27]; O'Brien y Toms [30]; Perez-Lopez y Contero [31]; Sumadio y Rambli [32]; Tomi y Rambli [35]
Desarrolla la imaginación	Ibili y Sahin [27]; Kaufmann [43]; Klopfer y Yoon [18]; Uńñez, Quirós, Uńñez, Carda y Camahort [44]; Shelton y Hedley [46], Yuen, Yaoyuneyong y Johnson [19]
Mejora la habilidad espacial	Bujak, Radu, Catrambone, MacIntyre, Zheng y Golubski [38]; Chen y Tsai [36]; Kaufmann [43]; Medicherla, Chang y Morreale [58]; Shelton y Stevens [47]; Wojciechowski y Cellary [24]; Yen, Tsai y Wu [49]
Enseña objetos multimedia que no se pueden crear y condiciones que no se pueden conseguir en el mundo real	Kerawalla, Luckin, Seljeflot y Woolard [28]; Shelton y Hedley [46]; Wojciechowski y Cellary [24]; Wu, Lee, Chang y Liang [40]; Yuen, Yaoyuneyong y Johnson [19]
Hace divertido el aprendizaje	Rambli, Matcha y Sulaiman [59]; Taskıran, Koral y Bozkurt [34]; Tomi y Rambli [35]; Zarzuela, Pernas, Martínez, Ortega y Rodríguez [60]
Proporciona cooperación	Yuen, Yaoyuneyong y Johnson [19]
Posibilidad de realizar experimentos peligrosos en un ambiente seguro	Eursch [61]; Wojciechowski y Cellary [24]

Tabla 2-1.b: Beneficios educacionales de la RA.

Las opiniones de los estudiantes y profesores, que son los practicantes del sistema a través de RA, son un punto clave.

Las opiniones de los estudiantes sobre el uso de RA en la educación se pueden resumir como; los cursos son divertidos, reducen la carga cognitiva, aumentan la motivación y el interés hacia el curso, aumentan las oportunidades para hacer preguntas, aumenta la interacción entre los estudiantes, nuevas oportunidades para el aprendizaje individual, concreta conceptos abstractos, aumenta el éxito, entre otros.

Por otro lado, los puntos de vista de los docentes sobre el uso de RA en la educación se pueden resumir como; contribuye al desarrollo de la creatividad en los estudiantes, asegura la participación efectiva de los estudiantes en el curso, los estudiantes pueden llevar a cabo el curso a su propio ritmo, aumenta la interacción entre estudiantes, facilidad de uso en el aula, entre otros.

2.1.2 Desventajas de la Realidad Aumentada

Además de las numerosas ventajas de RA en entornos educativos, también hay algunas limitaciones que superar [62]:

- Dificultad de desarrollar contenido para RA. El desarrollo de contenido 3D y aplicaciones requiere conocimiento técnico.
- Los requisitos físicos de la clase, los requisitos de hardware y las diferencias individuales entre los alumnos de una clase, limitan el uso de las aplicaciones de RA.
- Los educadores tienen prejuicios sobre el uso de RA en el aula y necesitan tiempo para aceptarlo.
- La RA contiene elementos multimedia que respaldan el aprendizaje permanente, si estos elementos no se usan en cantidad adecuada, causará una carga cognitiva excesiva.
- La disponibilidad de computadores de escritorio, computadores portátiles, dispositivos móviles, lentes de realidad aumentada, en donde se ejecutarán las aplicaciones RA, será una limitación económica.
- Falta de portabilidad de datos entre entornos de RA.
- Falta de privacidad.

2.2 Proyectos similares

En el ámbito educativo existen un sinfín de aplicaciones móviles de realidad aumentada, pero muy pocas enfocadas al estudio del electromagnetismo, debido a la complejidad del tema. De los trabajos similares que existen, se destacan tres proyectos que servirán como base de ideas e implementación de mejoras:

• **"Computation of Three-Dimensional Electromagnetic Fields for an Augmented Reality Environment"**, André Buchau y Wolfgang M. Rucker, Institut für Theorie der Elektrotechnik, Universität Stuttgart, Germany, 2008 [63]:

El objetivo de este proyecto de RA fue visualizar campos magnéticos y campos electromagnéticos en el aire o dentro de la materia transparente, como muestra la Figura 2-2. En este desarrrollo se pudieron estudiar tres ejemplos de objetos existentes reales; un

imán permanente y sus líneas de campo magnéticos, una bobina de Helmholtz, como un ejemplo clásico de campos magnéticos estáticos, y por último una antena tipo cuerno y su espectro de campo electromagnético irradiado, todos elementos invisibles que fueron agregados como objetos virtuales. De esta forma, tanto los expertos como los estudiantes pudieron relacionar fácilmente los conceptos estudiados de campos electromagnéticos con objetos reales.



Figura 2-2: Lineas de campo; Imán permanente, bobina de Helmholtz y antena tipo cuerno, respectivamente. [63]

Este trabajo se realizó con:

- ✓ Un computador portátil con una CPU de un solo núcleo y una tarjeta gráfica de rango medio, en combinación con una cámara web USB que generaba la pantalla RA.
- ✓ Un proyector que permitió la presentación en una sala de conferencias.
- ✓ La resolución de la cámara fue de 960 × 720 píxeles, a una velocidad de 15 cuadros por segundo. Suficiente para imágenes realistas en tiempo real.
- ✓ Todos los ejemplos fueron modelados con el software Altair HyperMesh y exportados a COMSOL Multiphysics.
- Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness", María Blanca Ibáñez, Ángela Di Serio, Diego Villarán, Carlos Delgado Kloos, Departamento de Ingeniería Telemática, Universidad Carlos III de Madrid, España, 2014 [7]:

El objetivo de este proyecto fue comparar dos aplicaciones educativas para el aprendizaje de los principios básicos del electromagnetismo, y luego identificar los efectos de las tecnologías RA y web en los resultados del aprendizaje y la participación de las tareas del alumno.

El estudio siguió un diseño de grupo experimental/control utilizando el tipo de aplicación (basado en RA y web) como variable independiente. Los estudiantes se distribuyeron entre los grupos experimentales/control utilizando una asignación aleatoria.

La aplicación de aprendizaje basada en RA se estructuró en torno a la manipulación de objetos que imitaban los elementos de un circuito, como muestra la Figura 2-3. Cada elemento fue etiquetado con un marcador que permitió su reconocimiento. La

manipulación de cada elemento tenía un material de aprendizaje específico asociado, tales como problemas para resolver y, para algunos de ellos, actividades de simulación que ayudaban a los estudiantes a visualizar las fuerzas electromagnéticas o a explorar el comportamiento del circuito.



Figura 2-3: Experiencias de electromagnetismo en RA. [7]

La aplicación de aprendizaje basada en la web era un sitio web educativo estructurado en torno a las mismas cinco etapas de la aplicación basada en RA. Específicamente, cada etapa contenía los mismos objetivos de aprendizaje y contenido educativo que la etapa respectiva de la aplicación basada en RA El material de aprendizaje fue accesible a través de hipervínculos de navegación.

Las aplicaciones basadas en web y basadas en RA diferían en dos aspectos:

- Primero, los usuarios de la aplicación basada en la web llegaron a etapas a través de hipervínculos de navegación, mientras que los usuarios de las aplicaciones basadas en AR requerían manipular el objeto físico que imitaba un elemento del circuito para comenzar la etapa correspondiente a dicho elemento.
- 2) En segundo lugar, la aplicación basada en web no proporcionaba ninguna visualización dinámica del comportamiento del circuito.

Con respecto a la efectividad del aprendizaje de ambas aplicaciones, luego de realizar un análisis estadístico de las puntuaciones previas y posteriores a la prueba, se descubrió que los estudiantes que utilizaron la aplicación RA obtuvieron resultados significativamente mejores que aquellos a los que se les enseñó utilizando la aplicación web.

La aplicación basada en RA fue desarrollada con el entorno de desarrollo integrado de Apple "Xcode" utilizando el Kit de Desarrollo de Software (SDK) de realidad aumentada "Vuforia". Las simulaciones se programaron con "OpenGL ES 2.0", y luego se integraron a Vuforia. • **"Aprendizaje de la Química con Realidad Aumentada"**, Eduardo Araya Poblete, Escuela de Ingeniería Informática, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, 2016 [64]:

El objetivo de este proyecto fue crear una aplicación móvil de RA llamada "PeriodicAR" (Figura 2-4), que es utilizada como una interfaz educativa para aprender conceptos básicos de la química, logrando así una manera de enseñanza más didáctica a escolares que están terminando la enseñanza básica y comenzando su enseñanza media.



Figura 2-4: Interfaz de la aplicación "PeriodicAR". [64]

Eduardo Araya, ex alumno de la PUCV, desarrolló una aplicación móvil y un libro ilustrativo que en conjunto, y en base a marcadores, sirve para escanear elementos de la tabla periódica y luego desplegar modelos en 3D del átomo respectivo, ilustrando sus orbitales de electrones girando alrededor.

Esta aplicación móvil fue desarrollada con el entorno de desarrollo "Unity", utilizando el Kit de Desarrollo de Software (SDK) de realidad aumentada "Vuforia" y "Android SDK".

3 Análisis y diseño

El objetivo principal de este capítulo es analizar, plantear ideas y diseñar, de forma conceptual, las diferentes experiencias de RA. Específicamente, es necesario diseñar una aplicación que sea un complemento a los juegos, simulaciones y experiencias de laboratorio que ya se están aplicando en la ayudantía de la asignatura de Electromagnetismo.

Para este capítulo se propone una "idea principal" y otra "idea desafío", ya que se requiere un avanzado nivel de diseño de modelos y animaciones 3D (además de programación) que, según lo investigado previamente, no sería imposible de realizar pero es muy probable que aumente demasiado la dificultad del proyecto, dado que se cuenta solo con un desarrollador y una calendarización ya estipulada.

3.1 Idea principal

En base a los proyectos similares, discusiones e ideas con los profesores guía y ayudantes a cargo, se concluye que se realizará una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android, la cual estará basada en realidad aumentada con marcadores. Esta aplicación tendrá una Interfaz de Usuario (UI) sencilla, con un menú principal, el cual dispondrá de una lista de ítems con diferentes experiencias. Cada una de ellas, tendrá las instrucciones básicas en pantalla (Figura 3-1) y, según la dificultad del desarrollo, se irán incorporando nuevas experiencias.



Figura 3-1: Diseño prototipo del menú de la aplicación "EIElectro RA".

Además se agregará un ítem de "Herramientas" el cual puede ser muy útil para añadir calculadoras especiales, o como recordatorio, conceptos y formulas de las leyes fundamentales de Electromagnetismo, y que no solo puede ser útil para los estudiantes que esten cursando la asignatura sino que también para estudiantes de asignaturas posteriores.

La primera experiencia de RA busca ser un apoyo a la experiencia de "Campos Vectoriales", ya que este experimento es la base de los conceptos de electromagnetismo y sería ideal que los estudiantes comiencen con la motivación de observar las líneas de campo magnético invisibles para el ojo humano, como muestra la Figura 3-2:



Figura 3-2: Diseño prototipo de la actividad de la cámara de RA.

En esta experiencia se puede ocupar un imán permanente para visualizar las lineas de campo magnético (o cualquier elemento con forma plana, con volumen cúbico o cilíndrico). Una de las ventajas de los dispositivos móviles es que se pueden agregar elementos interactivos y táctiles en la pantalla. Por ejemplo, dependiendo del grado de dificultad, se podría incorporar brujulas virtuales a la experiencia para comparar los campos magnéticos, o el campo que genera un alambre cuando circula corriente a través de él, y de esta forma ver cómo varían los efectos de la animación y analizar el experimento con las formulas e instrucciones planteadas.

Esta experiencia estará acompañada de una guía de trabajo, que será desarrollada en conjunto con Carlos Madariaga, ya que él será el consejero principal por su experiencia directa con los estudiantes de la asignatura.

La guía adjunta tendrá evaluación en la ayudantía de Electromagnetismo, y contará con preguntas para analizar el experimento antes de realizarlo, preguntas conceptuales según lo aprendido en la cátedra y ejercicios sobre campos vectoriales y campos magnéticos.

3.1.1 Primeras limitaciones

La primera limitante es una "animación fluida" para el reconocimiento de dos marcadores por separado. Si bien es posible desarrollar una animación en 3D para cada marcador, se pueden utilizar múltiples marcadores y, según su forma de acción, ya sea por interacción táctil, interacción de los marcadores, hasta reconocimiento de voz, las dos animaciones de cada marcador pueden interactuar y cambiar a una sola animación en conjunto.

Por ejemplo, usando como base el juego digital "Campo Eléctrico", se podría realizar una experiencia que trabaje con dos o más marcadores, ya sea un marcador como carga positiva y otro como carga negativa (Figura 3-3), y que estos pudiesen interactuar al acercarse, según el reconocimiento si se juntan dos marcadores positivos, dos marcadores negativos o si son dos cargas diferentes, al igual que los conceptos reales de cargas eléctricas.



Figura 3-3: Diseño prototipo de múltiples Marcadores con cargas eléctricas opuestas.

Sin embargo, si se tiene un marcador A, a este se le agrega una animación A específica, analógicamente si se tiene otro marcador B, a este otro marcador también se le agrega una animación B específica, y al juntarlos se puede agregar una animación "A+B" que trabaje en conjunto con los dos marcadores pero que no será fluida porque ocurre una "animación corte" (Figura 3-4) cuando se detecta ambos marcadores a cierta distancia.



Figura 3-4: Diseño prototipo de animación de múltiples Marcadores.

En primera instancia, se puede realizar tanto la animación por si sola de la Figura 3-3 y también la animación de la Figura 3-4 por si sola, pero no una animación fluida entre estas dos, como sería el efecto de cargas eléctricas en la realidad.

3.2 Idea desafío

Superando las limitaciones, la experiencia de "Campos Vectoriales" podría ser aún mejor si se pudiese programar de forma correcta los campos magnéticos de dos marcadores por separado y que estos pudiesen interactuar como en la Figura 3-5 y como en la física real. No obstante, se desconoce esta posibilidad, como primera instancia, por falta de información y programación de nivel avanzado.



Figura 3-5: Diseño prototipo de la idea desafío "Campos Vectoriales".

3.3 Posibles ideas posteriores

En lo posible se pueden agregar más experiencias, o experiencias más complejas, al menú de la aplicación. Por ejemplo, para analizar en un futuro la capacitancia entre placas paralelas, inductancia en una bobina, efectos como la Fuerza de Lorentz, el Efecto Faraday, o trabajos en otras asignaturas como "Campos y Ondas Electromagnéticas", o "Antenas".

3.4 Requerimientos funcionales

De acuerdo a las peticiones del usuario, los requisitos establecidos para el desarrollo de la aplicación se presentan en la Tabla 3-1:
RF	Requerimientos
RF01	Las entradas del sistema serán los marcadores y la salida serán imágenes 3D.
RF02	La aplicación se basará en la presentación de la realidad aumentada, y contenido adicional de la experiencia a realizar.
RF03	La aplicación debe identificar los marcadores rápidamente y exhibir el contenido asociado.
RF04	El software debe admitir combinaciones entre 2 o más elementos (que se puedan combinar) para conformar un fenómeno eléctrico y/o magnético.
RF05	Indicar cuando se pueden y no se pueden combinar los elementos virtuales superpuestos.

Tabla 3-1: Requerimientos funcionales.

3.5 Requerimientos no funcionales

De acuerdo a los criterios de los funcionarios, los requisitos establecidos para el desarrollo la aplicación se presentan en la Tabla 3-2:

RNF	Requerimientos
RNF01	El software no debe demorar en cargar y/o identificar el marcador.
RNF02	La interfaz del software debe ser de comprensión sencilla e intuitiva.
RNF03	Los marcadores deben ser llamativos visualmente y representar el concepto físico real asociado.
RNF04	El software funcionará en dispositivos con sistema operativo Android 4.4 o superior como mínimo.

Tabla 3-2: Requerimientos no funcionales.

4 Herramientas de desarrollo

El objetivo principal de este capítulo es explicar, de forma detallada, todas las herramientas computacionales que se usarán para el desarrollo de la aplicación móvil. En primera instancia, se trabajará con las versiones gratuitas de cada software, para evitar costos y así demostrar al lector la posibilidad de desarrollar este tipo de aplicaciones de forma gratuita.

Las herramientas actuales más importantes para proyectar modelos 3D en RA (en dispositivos móviles), son los populares "Unity" y "Vuforia". No obstante, se requiere el diseño por separado, tanto de modelos 3D como imágenes 2D, en programas tales como "SketchUp" y "Adobe Photoshop", entre otros similares.

4.1 Unity

Unity es un motor de desarrollo de juegos y contenido 2D/3D interactivo creado por Unity Technologies (Figura 4-1). El entorno de desarrollo de Unity se puede ejecutar desde sistemas operativos Windows y MacOS, y los juegos creados en él pueden ser publicados en distintas plataformas como por ejemplo: PC, Nintendo, PlayStation, Xbox, iOS y Android.

Soporta tres lenguajes de programación:

- JavaScript
- C#
- Una variante de Python llamado "Boo"



Figura 4-1: Unity, software de desarrollo de aplicaciones móviles y RA. [65]

Para el desarrollo de aplicaciones, se utilizará esta plataforma ya que es un poderoso motor de gráficos y un editor con todas las funciones que se pueden manejar usando la programación del lenguaje C#. Hay muchas fuentes que revisan y analizan las virtudes y los beneficios del uso de Unity. Basta decir que Unity incluye soporte nativo para renderización fotorrealista de gráficos por computador, animaciones de objetos y humanoides, física y colisión, interfaz de usuario y sistemas de eventos de entrada, y más.

Se decide trabajar con Unity para el desarrollo de la realidad aumentada en conjunto con la extensión de "Vuforia", ya que ambas permiten publicar y compilar fácilmente aplicaciones para Android (e iOS), en comparación al motor "Unreal" que está más enfocado a la alta calidad de procesamiento gráficos.

4.2 Vuforia

Para el kit de herramientas de RA, se usará el popular y profesional "Vuforia". El desarrollo de RA requiere algunos sofisticados algoritmos de software y administración de dispositivos, muchos de los cuales son manejados con bastante elegancia por Vuforia, como muestra la Figura 4-2:



Figura 4-2: Vuforia SDK, múltiples Marcadores y modelos 3D. [66]

Fue publicado por primera vez en 2008 por Daniel Wagner en un documento titulado "Seguimiento robusto y discreto de marcadores en teléfonos móviles", luego se convirtió en el galardonado Vuforia de Qualcomm y luego fue adquirido por PTC en 2015.

Hoy en día, Vuforia admite una amplia gama de dispositivos, desde teléfonos móviles de mano hasta gafas portátiles, como HoloLens. Este SDK (Kit de Desarrollo de Software) admite muchos tipos de objetivos de seguimiento (Figura 4-3), incluidos marcadores, imágenes, objetos y superficies; por lo tanto, se puede usar para muchas aplicaciones diversas. También proporciona herramientas e infraestructura basada en la nube para administrar activos de RA.



Figura 4-3: Diferentes tipos de "Targets" o Marcadores que reconoce el SDK de Vuforia. [67]

Vuforia requiere que se tenga una clave de licencia en cada una de las aplicaciones a desarrollar. Estas licencias son gratuitas para las primeras 1000 descargas de su aplicación; aunque muestra una marca de agua en la esquina de la pantalla. Las licencias pagadas comienzan con \$499 doláres por aplicación.

Se decide trabajar con Vuforia por la compatibilidad con dispositivos Android versión 4.4 hacia arriba (dispositivos de gama media), en comparación a SDK actuales como "ARCore" que requieren dispositivos de gama alta para su uso.

4.3 Adobe Photoshop

Adobe Photoshop es un editor de gráficos desarrollado por Adobe Systems Incorporated y utilizado principalmente para el retoque de fotografías y gráficos (Figura 4-4). Traducido al español significa "Taller de Fotos" y es el líder mundial dentro del mercado de las aplicaciones de edición de imágenes en general.

Es desarrollado y comercializado por Adobe Systems Incorporated en sus inicios para sistemas de Apple pero posteriormente también para sistemas operativos de Windows. Su lanzamiento inicial fue en febrero de 1990 y su distribución viene presentada de manera diferente e individual hasta crear un paquete de programas: Adobe Creative Suite Design Premium y versión Standard, Adobe Creative Suite Web Premium, Adobe Creative Suite Production Studio Premium y Adobe Creative Suite Master Collection.



Figura 4-4: Adobe Photoshop, editor de gráficos. [68]

Adobe es el líder global en software creativo y de marketing digital. Sus herramientas y servicios permiten a sus clientes crear un contenido digital innovador, implantarlo en diversos medios y dispositivos, cuantificarlo y optimizarlo a lo largo del tiempo. Adobe ayuda a sus clientes a crear, gestionar, cuantificar y rentabilizar en todos los canales y pantallas.

Con Photoshop CC se pueden crear imágenes con el mejor software de imágenes digitales del mundo, incluyendo herramientas de análisis y de edición en 3D, resultando perfecto para el trabajo de fotógrafos, diseñadores de impresión, webs, interactivos y profesionales de video.

Se decide trabajar con Adobe Photoshop porque todas las aplicaciones móviles requieren de una Interfaz de Usuario que sea sencilla y agradable a primera vista. Por lo tanto, todo el aspecto visual de la aplicación, el cual es muy importante (logos, fondos de pantalla, botones, entre otros), requiere ser trabajado en un software profesional de edición, de forma externa, para importarlo después al proyecto de Unity.

4.4 Autodesk Maya

Autodesk Maya (también conocido como Maya) es un programa informático dedicado al desarrollo de gráficos 3D por computador, efectos especiales y animación (Figura 4-5). Surgió a partir de la evolución de Power Animator y de la fusión de Alias y Wavefront, dos empresas canadienses dedicadas a los gráficos generados por computador. Más tarde, Silicon Graphics (ahora SGI), el gigante informático, absorbió a Alias-Wavefront, que finalmente fue absorbida por Autodesk dueña de 3ds Studio Max.

Maya se caracteriza por su potencia y las posibilidades de expansión y personalización de su interfaz y herramientas. MEL (Maya Embedded Language) es el código que forma el núcleo de Maya y gracias al cual se pueden crear scripts y personalizar el paquete.



Figura 4-5: Autodesk Maya, software de animación profesional en 3D. [69]

El programa posee diversas herramientas para modelado, animación, renderización, simulación de ropa y cabello, dinámicas (simulación de fluidos), etc.

Además, Maya es el único software de 3D acreditado con un Oscar gracias al enorme impacto que ha tenido en la industria cinematográfica como herramienta de efectos visuales, con un uso muy extendido debido a su gran capacidad de ampliación y personalización.

Se decide trabajar con Maya porque el desarrollador cuenta con sistema operativo MacOS, por lo que no puede usar la herramienta "3ds Studio Max" (ambas de Autodesk), la cual puede ser instalada solo en sistemas operativos Windows. Sin embargo, es probable que no se trabaje mucho con esta herramienta porque es un software de pago y, además, el diseño de las animaciones 3D puede ser bastante complejo (renderización muy realista) para un diseñador novato.

4.5 Blender

Blender es un programa informático multi-plataforma, dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales (Figura 4-6). También de composición digital utilizando la técnica procesal de nodos, edición de vídeo, escultura (incluye topología dinámica) y pintura digital. En Blender, además, se pueden desarrollar vídeo juegos ya que posee un motor de juegos interno.



Figura 4-6: Blender, software libre de modelado 3D. [70]

El programa fue inicialmente distribuido de forma gratuita pero sin el código fuente, con un manual disponible para la venta, aunque posteriormente pasó a ser software libre. Actualmente es compatible con todas las versiones de Windows, Mac OS X, GNU/Linux (incluyendo Android), Solaris, FreeBSD e IRIX.

Se decide trabajar con Blender porque es un software libre de modelado 3D, bastante sencillo para un diseñador novato, y es popularmente usado para exportar modelos e integrarlos al software de Unity.

4.6 SketchUp

SketchUp es un software de diseño y modelado en 3D (Figura 4-7) para entornos arquitectónicos, ingeniería civil, videojuegos, películas, entre otros. Es un programa desarrollado por @Last Software, empresa adquirida por Google en 2006 y finalmente vendida a Trimble en 2012. Permite además, la creación de modelos y objetos 3D partiendo de volúmenes y formas arquitectónicas de un espacio. El software permite texturizar los modelos de una forma rápida y sencilla sin cargar mucho estos objetos.



Figura 4-7: SketchUp, software estilo CAD, para diseño y modelado 3D. [11]

SketchUp fue creado para usarlo de una manera sencilla y flexible, brindando ampliamente su uso en comparación con otros programas de modelado en 3D. Este software permite modelar imágenes en 3D de edificios, coches, personas y cualquier objeto o artículo dentro de la imaginación del diseñador o dibujante. Además, para la facilidad del diseñador, el software consta de una galería de objetos modelados y texturizados, que pueden ser usados en cualquier proyecto de forma gratuita. Cuenta con aristas que rompen automáticamente las otras aristas con que se cruzan, tiene objetos tan inteligentes que hasta saben cómo deben comportarse al interactuar con ellos y ofrece sugerencias de dibujo más claras y coherentes.

Se decide trabajar con SketchUp dada la amplia galería de modelos 3D que ofrece de forma gratuita. Estos modelos se pueden editar de forma sencilla y exportar al proyecto de Unity, facilitando ampliamente el trabajo de un diseñador novato de aplicaciones RA. Sin embargo, solo es posible el diseño y la edición de modelos 3D de forma estática.

4.7 Android

Android es un sistema operativo con kernel basado en Linux que usa una máquina virtual para ejecutar aplicaciones (Figura 4-8), ofreciendo soporte para las funcionalidades habituales en los dispositivos móviles actuales como: 4G, Wi-Fi, GPS, pantallas táctiles, entre otros. Estos elementos son comunes en los smartphones y tablets de cualquier gama.

Se decide apuntar al desarrollo solo para la plataforma Android, porque existe alrededor de un 70% de usuarios que usan este S.O. en Chile, en comparación al 30% de usuarios de iOS (según los datos de DeviceAtlas.com, en la segunda mitad del 2017). Además se evita el costo de mantención permanente en la tienda de aplicaciones Play Store.



Figura 4-8: Android, sistema operativo para dispositivos móviles. [72]

4.8 Esquema general del desarrollo

En síntesis, el funcionamiento general para el desarrollo de esta aplicación móvil viene dado por el esquema de la Figura 4-9. Los modelos y animaciones 3D se crearán en los software estilo CAD (Diseño asistido por computador) tales como Autodesk Maya, el software libre Blender o SketchUp. Estos modelos en 3D se exportarán en formato .FBX o .SKP para integrarlos al sofware de desarrollo de aplicaciones 2D y 3D Unity, que en conjunto con el SDK (Kit de desarrollo de sofware) de Vuforia (incorporado en las últimas versiones de Unity) y trabajando como extensión, se pueden integrar "Targets" (Marcadores) o "Multitargets" para llevar los modelos realizados a realidad aumentada. Finalmente, Unity en conjunto con las animaciones y los scripts programados en lenguaje C# o JavaScript, compilarán todo el trabajo en una aplicación con formato .APK para sistemas operativos Android, ya sea Smartphone o Tablet.



Figura 4-9: Esquema general de las herramientas usadas para el desarrollo de "EIElectro RA".

5 Desarrollo de la aplicación

El objetivo principal de este capítulo es iniciar la fase de desarrollo, una vez que ya se cuenta con todos los programas y herramientas que fueron mencionados en el capítulo anterior.

En este capítulo se dará énfasis en el software Unity, el cual será la base para comenzar el proyecto. En un principio se introducirá al lector con explicaciones paso a paso, y luego se explicarán los conceptos básicos para poder proyectar un modelo 3D en un Marcador usando Vuforia.

Finalmente se explicará con detalle lo que es "EIElectro RA", la aplicación actual diseñada para este proyecto, su primera versión de lanzamiento, su diseño y sus características principales.

5.1 Introducción a Unity

Al abrir el software Unity, el desarrollador escoge las opciones para comenzar un nuevo proyecto, abrir un proyecto existente o ver un video de inicio, como se muestra en la Figura 5-1:



Figura 5-1: Video de introducción en Unity.

Para comenzar, se crea un nuevo proyecto en 3D, en este caso el proyecto será "EIElectro RA" como el nombre de la aplicación y como se muestra en la Figura 5-2:

0 0	Unity 2017.4.	212
Projects	Learn	E New Dpen (My Account
	Project name ElElectro RA	Template 3D ~
	Location	3D template
	/Users/Lance/Desktop/PUCV/1er Sem	Add Asset Package
	Organization	
	EIE PUCV ~	ON CINERAL ENABLE Unity Analytics (?)
	EIE POCV ~	
		Cancel Create project

Figura 5-2: Ventana de "Nuevo Proyecto" en Unity.

Al completar el nombre del proyecto, se verifica que la ubicación de la carpeta es la que se desea. Se activa la casilla de 3D, ya que es un proyecto completamente en 3D. No es necesario seleccionar ningún paquete adicional al momento de comenzar desde cero.

El nuevo proyecto se abre en el "Editor" de Unity, como se muestra en su diseño predeterminado:



Figura 5-3: Diseño predeterminado del Editor de Unity.

El Editor de Unity consiste en una variedad de ventanas o paneles que no se superponen y que pueden dividirse en subpaneles. Una breve explicación de los elementos del diseño predeterminado, como muestra la Figura 5-3:

- 1. El panel gráfico de "Scene" (Escena), en la mitad superior, es donde se puede componer visualmente el espacio 3D de la escena actual, incluida la ubicación de los objetos.
- 2. Ocupando el mismo panel, en una pestaña oculta, se tiene "Game View" (Vista del Juego), que muestra la vista de la cámara del juego real. Cuando estás en el "Play Mode" (Modo de Juego), el juego se ejecuta en este panel.
- 3. Una tercera pestaña lo lleva a la tienda de Unity "Asset Store" donde se puede encontrar una gran cantidad de contenido gratuito y de pago de la comunidad de Unity, incluidos scripts, obras de arte y extensiones de editor.
- 4. En la esquina superior izquierda está el panel "Hierarchy" (Jerarquía), que proporciona una vista de todos los objetos en la escena actual.
- 5. En la parte inferior está el panel "Project" (Proyecto). Este contiene todos los recursos reutilizables para el proyecto, incluidos los importados, así como los que se crearán en el camino.
- 6. Ocupando el mismo panel, en una pestaña oculta, está el panel "Console" (Consola), que muestra los mensajes de Unity, incluidas las advertencias y los errores de código.
- 7. A la derecha está el panel "Inspector", que contiene las propiedades del objeto seleccionado actualmente (los objetos se seleccionan haciendo clic en ellos, ya sea en la Escena, la Jerarquía o el panel Proyecto). El Inspector tiene paneles separados para cada componente del objeto.
- 8. En la parte superior está la barra del Menú Principal (En los sistemas operativos MacOS está en la parte superior de la pantalla, no en la superior de la ventana de Unity) y una barra de herramientas con varios controles, incluido el "Play" (icono de triángulo) botón que inicia el modo de reproducción.

En la anterior captura de pantalla (Figura 5-3), la Cámara Principal está actualmente seleccionada en el panel Scene, y el "Edit Mode" (Modo de Edición) es para transformar la posición, como lo indica el ícono de flechas en la Barra de Herramientas (que se muestra en la Figura 5-4) y el Gizmo (ejes para mover, rotar y escalar) centrado en la cámara en el panel Scene. Además, como se seleccionó la cámara principal, se inserta una ventana de "Camera View" (Vista Previa de la Cámara) conveniente en el panel de Scene:



Figura 5-4: Barra de Herramientas para ajustar la función actual del mouse en el Editor de Unity.

Si alguno de estos paneles o pestañas no está visible en el Editor de Unity, se usa el menú desplegable "Window" (Ventana) del Menú Principal para buscar todas las ventanas disponibles para el desarrollador. La interfaz del editor es muy configurable. Cada panel se puede reorganizar, redimensionar y tabular, por ejemplo, seleccionando una de las pestañas del panel y

arrastrándola. En la esquina superior derecha hay un selector de diseño que le permite elegir entre varios diseños predeterminados o guardar sus propias preferencias.

5.2 Objetos y Jerarquía

Como se muestra en la Figura 5-5, la "Escena" (Scene) de Unity vacía predeterminada consiste en una "Cámara Principal" (Main Camera) y una única "Luz Direccional" (Directional Light). Estos se enumeran en el panel "Jerarquía" (Hierarchy) y se representan en el panel de Escena. El panel Escena también muestra una vista en perspectiva de una cuadrícula infinita como plano de referencia. La cuadrícula abarca los ejes X (rojo) y Z (azul). El eje Y (verde) está arriba.



Figura 5-5: Paneles "Hierarchy" y "Scene" predeterminados en un nuevo proyecto de Unity.

El panel "Inspector" (panel de la derecha en la Figura 5-3) muestra los detalles del elemento seleccionado, cada una de sus propiedades y sus componentes asociados, incluida su transformación.

La transformación de un objeto especifica su posición, rotación y escala en el espacio mundial 3D. Por ejemplo, una posición (0, 3, 0) es 3 unidades por encima (Dirección Y) del centro del plano de tierra (X = 0, Z = 0). Una rotación de (50, 330, 0) significa que se rota 50 grados alrededor del eje X y 330 grados alrededor del eje Y. Se pueden cambiar las transformaciones de un objeto numéricamente desde ahí, o directamente con el mouse en el panel de Escena.

Cuando se selecciona la Cámara Principal, como se muestra en la captura de pantalla del Editor (Figura 5-3), se agrega una inserción de "Vista Previa de la Cámara" al panel Escena, que muestra la vista que la cámara ve actualmente (si la pestaña Juego está abierta, se verá la misma vista allí también). Actualmente, la vista está vacía y la cuadrícula de referencia no se representa, pero se puede discernir un horizonte nebuloso, con el plano de tierra gris debajo y el cielo azul ambiente por encima.

5.3 Elementos de una Escena

Además de crear, organizar y representar objetos en la Jerarquía de Escenas, el motor de Unity ofrece muchas más funcionalidades que se necesitan para desarrollar juegos y aplicaciones de realidad aumentada.

5.3.1 Textura de Materiales, Iluminación y Shaders

Los "Materiales" (Materials) se pueden unir a objetos para determinar cómo se ven cuando se procesan en una Escena.

Un objeto puede tener una "malla 3D" relativamente simple, un conjunto de puntos conectados en triángulos que definen la forma de la superficie del objeto. Trazar una textura de Albedo (porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma) en la superficie de la malla da la impresión de que se tienen muchos más detalles que la propia malla. Esta es una técnica crítica para hacer formas detalladas con menos de cien triángulos, por ejemplo, en lugar de cientos de miles, se puede ahorrar la cantidad de procesamiento necesaria en órdenes de magnitud.

	01				\$,
Shader	Standard		_	_	•
Rendering Mo	ode [Opaque	_		ŧ
Main Maps					
⊙ Albedo			?		
⊙ Metallic	Ċ)		0	
Smooth	ness ()		0	
Sour	ce [Metallic /	Alpha	-	ŧ
⊙ Normal	Мар				
⊙ Height M	Мар				
© Occlusi	on				
⊙ Detail M	lask				
Emission	0				
Tiling)	< 1	Y	1	-
Offset)	K 0	Y	0	
⊙ Normal Tiling	Map)	K 1	Y	1	
Offset	2	K 0	Y	0	
Onser		UV0			÷
UV Set	Ļ				_
UV Set Forward Ren	dering Op	otions			
UV Set Forward Ren Specular High	dering Or nlights	otions			
UV Set Forward Ren Specular High Reflections	dering Op Ilights	otions			
UV Set Forward Ren Specular High Reflections Advanced Or	dering Or hlights	otions			

Figura 5-6: Ejemplo de un Material y sus características en la ventana Inspector.

Los "Shaders" son los códigos que se ejecuta en la GPU para representar objetos utilizando materiales, texturas y propiedades de iluminación. El Shader estándar de Unity es bastante avanzado y optimizado. Además de una textura Albedo, puede especificar el "Normal Map" (Mapa Normal), el "Height Map" (Mapa de Altura) y el "Occlusion Map" (Mapa de Oclusión), lo que permite una superficie de apariencia más realista y un "Physically-Based Shading" (PBS,

Sombreado basado en la física), además de propiedades metálicas reflectantes. Por ejemplo la Figura 5-6 muestra un Material marrón para una madera realista.

Unity también permite colocar una variedad de fuentes de luz en cualquier lugar dentro de una Escena, incluidas las Luces Direccionales, Luces Puntuales, Focos y Luces de Área. Las luces pueden variar en intensidad, tono y otras propiedades, como también proyectar sombras.

Dependiendo de su aplicación, estas agradables características de materiales e iluminación pueden ser muy importantes en el proyecto de realidad aumentada. Por ejemplo, si se está creando un manual de capacitación técnica y el estilo de arte de RA es más ilustrativo, entonces el sombreado plano simple puede ser suficiente. Por otro lado, si el objetivo es renderizar objetos que parecen estar ocupando una habitación y que pertenecen a ella, se pueden optimizar estos elementos para que se vean lo más realista posible. Desafortunadamente, hay una gran cantidad de sobrecarga en el rendimiento para la visualización usando sombras suaves y sombras en cascada, por lo que se recomienda evitarlas en dispositivos móviles (y en HoloLens).

5.3.2 Animación

La "Animación" (Animation) se puede definir como el movimiento y cambio de los objetos a lo largo del tiempo. Una Animación simple puede mover un objeto a lo largo de una trayectoria específica con cada cuadro (vector de dirección) y a una velocidad fija (unidades por segundo). En Unity, la Animación puede implementarse escribiendo scripts simples en lenguaje C# que actualizan la transformación de un objeto en cada frame usando la función "Update()".

Se pueden definir animaciones más complejas usando el panel "Animation" para dibujar curvas de cómo las propiedades de los objetos cambian con el tiempo. En el siguiente ejemplo (Figura 5-7), la animación mueve una bola linealmente a lo largo del eje Y mientras la deja tambalearse una y otra vez en las otras dos direcciones:



Figura 5-7: Animación de una bola tambaleandose una y otra vez en Unity.

Unity también proporciona una tercera herramienta aún más avanzada, conocida como "Animator Controller" (Controlador de Animación). Esto permite programar secuencias de animación más complejas que responden a eventos específicos y a estados de los objetos. Los Animator Controllers son máquinas de estado que determinan qué animaciones se están reproduciendo actualmente y cuáles están disponibles sin problemas. Se puede programar usando una interfaz gráfica de programación similar a un diagrama de flujo, como muestra la Figura 5-8:



Figura 5-8: Interfaz gráfica de un "Animator Controller" en Unity.

5.3.3 Física

Además de las animaciones programadas, los objetos de Unity se pueden configurar para que se muevan e interactúen solos, usando propiedades físicas (Figura 5-9). Cuando a un objeto se le asigna un "Rigid Body" (Cuerpo Rígido), puede tener "Mass" (Masa) y "Drag" (Arrastre) y responder a la "Gravity" (Gravedad). Una vez puesto en marcha, el motor de física de Unity calculará automáticamente el próximo movimiento del objeto y lo actualizará en cada cuadro.

Component	Window H	elp
Add	企業A	- VideoPlayer1.unity - EIElect
Mesh	•	
Effects	•	
Physics	•	Rigidbody
Physics 2D	•	Character Controller
Navigation	•	Box Collider
Audio	•	Sphere Collider
Video	•	Capsule Collider
Rendering	•	Mosh Collider
Tilemap	•	Wheel Collider
Layout	•	Wheel Collider
Playables	•	Terrain Collider
AR	•	Cloth
Miscellaneo	ous 🕨	
Scripts	•	Hinge Joint
Analytics	•	Fixed Joint
Event	•	Spring Joint
Network	•	Character Joint
XR	•	Configurable Joint
UI	+	Constant Force

Figura 5-9: Componentes "Physics" para añadir a una objeto de Unity.

Por separado, a los objetos se les puede dar una malla "Collider" (Colisionador) que definirá la forma y los límites que tendrán estos, el cual es usado para calcular el momento preciso en que los objetos golpean a otros objetos. Esto puede ser tan simple como para diseñar una mesa firme (y así usar la Gravedad) o un proyectil a punto de golpear hacia su objetivo. A los objetos también se les puede dar un "Physic Material" (Material Físico) que define cómo estos responderán, tales como podría ser el aterrizaje de un ladrillo o una pelota rebotando.

Por si esto fuera poco, un proyecto de Unity se puede programar para ver como responde a los eventos de colisión, y luego iniciar otros efectos, animaciones, sonidos, etc. Por ejemplo, cuando un proyectil alcanza su objetivo, puede reproducir increíbles sonidos, mostrar sorprendentes efectos de partículas o controlar otros objetos que se utilizan en la aplicación.

5.3.4 Características adicionales

Unity también brinda una gran compatibilidad para agregar video y audio a los proyectos. Las aplicaciones de realidad aumentada son mucho más efectivas e inmersivas cuando el sonido acompaña lo que se ve en la pantalla. Hay una gran cantidad de clips de audio en la Asset Store y en otros sitios de Internet para importar a cada Escena.

5.3.5 Uso de cámaras en RA

Los desarrolladores en Unity a menudo agregan una sola Cámara Principal a la Escena de su proyecto y no piensan mas allá. Pero en RA, la cámara es especialmente importante.

Las cámaras son dispositivos que capturan y muestran el mundo virtual para el jugador. Para renderizar gráficos por computador, la cámara "Pose" (posición y rotación), el "Viewport" rectangular y "Field of View" (FOV, Campo de Visión) juntos definen qué parte de la Escena es visible y representada en la pantalla. La cámara Pose es hacia donde apunta la cámara. El Viewport es como una ventana rectangular en donde estamos mirando; todo lo que esté afuera del Viewport se recorta y no se dibuja. El Field of View define el ángulo de visión. En los videojuegos comunes, los desarrolladores disfrutan de la opción de modificar cualquiera de estas opciones para ofrecer los efectos cinematográficos de la cámara que desean emular en pantalla.

Sin embargo, para la realidad aumentada, las restricciones sobre estos parámetros vienen dictadas por el dispositivo físico que ejecuta la aplicación. La vista en perspectiva debe coincidir con la del mundo real, como se ve a través de la cámara de video del dispositivo del usuario o la vista de sus propios ojos a través de lentes de RA. El Viewport corresponde a la vista de la cámara del dispositivo y el FOV de los lentes.

Afortunadamente, la mayoría de las configuraciones predeterminadas del objeto "Cámara" o los prefabricados (Prefabs) de cámaras provistos por un SDK (Kit de Desarrollo de Software) de RA son buenos. La Figura 5-10 muestra el panel Inspector de una cámara con el Prefab de Vuforia:

	_		-		
ARCamera	2			Static	
Tag Untagged	+	Layer	Defau	lt	+
🛛 🙏 Transform		-			₩.
Position X 0	Y	3.04	Z	-3.04	
Rotation X 0	Y	0	Z	0	
Scale X 1	Y	1	Z	1	
🛙 🚭 🗹 Camera				6	\$,
Clear Flags	Sol	id Color	2		+
Background					9
Culling Mask	Eve	rything	_		+
Projection	Per	spective			+
Field of View	-	0-	_	60	
Clipping Planes	Nea	ar 0.05	5		
	Far	800	0		
Viewport Rect		_			
X 0		Y O			_
W 1		н 1			_
Depth	1				
Rendering Path	Use	Graphie	cs Sett	ings	+
Target Texture	No	ne (Ren	der T	exture	0
Occlusion Culling					
Allow HDR					
Allow MSAA					
Allow Dynamic Reso	olu 🗌				
🙆 🗹 Audio Listen	er				\$,
🖲 🗹 Vuforia Beha	viour	(Script)		¢.,
Script	8	/uforial	Behav	iour	0
World Center Mode	FIR	ST_TARC	ET		+
Open Vuf	oria co	onfigura	ation		
🖉 💽 Default Initia	alizati	on Erro	or Ha	0	0,
Script	1.6	Default	nitiali	zation	0

Figura 5-10: Características de la "ARCamera" del Prefab incorporado en Vuforia (versión 7).

En RA se busca que el fondo sea transparente y que los únicos objetos representados en cada cuadro sean los que estén visibles, sin el fondo de cielo que viene por defecto en el Editor de Unity. Específicamente, en la visión de RA, cualquier píxel en el búfer de cuadros sin un color (es decir, negro) será transparente. Por lo tanto, en esta cámara, se configuran los "Clear Flags" en "Solid Color", y el color del "Background" en negro (0, 0, 0).

Las cámaras de RA de las SDK (Vuforia, ARToolkit, entre otros) también tienen scripts especiales, o "Components" (Componentes) conectados que implementan la interfaz con los algoritmos y los controladores del dispositivo. Los detalles varían de un SDK a otro.

En últimas versiones de Unity, las cámaras de RA vienen incorporadas de forma nativa en el software. Ademas, basta solo con una cámara web estándar conectada al computador para activar la vista previa en el modo "Play Mode" del Editor, en SDKs como Vuforia y ARToolkit.

5.4 Obtener Vuforia

Vuforia, en conjunto con Unity, admite la construcción de aplicaciones de RA para diversas plataformas, en las que se incluye:

- Teléfonos inteligentes y Tablets con Android, usando Windows o MacOS para el desarrollo.
- iPhones y iPads, solo con MacOS para el desarrollo.
- Dispositivos con Windows 10, incluido HoloLens, a través de UWP-Universal Windows Platform.

Al decidir usar Vuforia, hay que tener en cuenta los términos de licencia y política de precios. Este es un software comercial. Es gratis para descargar y para desarrollar proyectos, pero existen limitaciones de uso en la versión gratuita (por ejemplo, hasta 1000 imágenes de reconocimientos de nube por mes), y la visión de la cámara principal mostrará una marca de agua del logotipo de Vuforia en la esquina inferior de la pantalla. Para una mayor distribución del volumen de la aplicación a desarrollar, se debe pagar una tarifa por esta licencia. Hasta la fecha, se trata de una tarifa única de 499 dólares por aplicación, o de 99 dólares mensuales para las aplicaciones que usan almacenamiento y reconocimiento en la nube (Figura 5-11).

	Free	Classic	Cloud	Pro
	For Unity projects that need to place content on user defined surfaces.	For simple projects that attach content to specific objects.	For more complex projects that attach content to a large and/or dynamic set of objects.	For professional and enterprise projects that add AR functionality to commercial products or solutions.
Project Type				
Unity	•	•	٠	•
Native (iOS, Android, UWP)		•	•	•
Content Placement				
On Everyday Surfaces	•	•	•	•
On Objects from Images		•	•	•
from 3D Scans		•	•	•
from VuMarks		100	100	Custom via API
from 3D Models				•

Figura 5-11: Diferentes planes que ofrece Vuforia dependiendo del tipo de desarrollador. [63]

A partir de la versión 2017.2, Unity integra el motor de Vuforia, lo que facilita aún más la creación de experiencias de realidad aumentada para lentes y dispositivos móviles. Basta con agregar un elemento en el panel de Jerarquía y entre las opciones se le permitirá agregar una "Cámara RA" (AR Camera), la cual busca reemplazar a la "Cámara Principal" (Main Camera) de la Escena en la que se está trabajando. Una vez agregado, se importará automáticamente el resto de los archivos del paquete Asset de Vuforia.

A continuación, se verán varias carpetas nuevas en el proyecto (incorporadas en el Asset de Vuforia), incluidas las carpetas "Plugins", "Resources" y "Vuforia", como se muestra en la Figura 5-12:



Figura 5-12: Carpetas que se incorporan al proyecto de Unity, usando el Prefab de Vuforia.

La carpeta "Plugins" es donde Unity guarda los archivos binarios y de código API específicos de cada plataforma. Esta contiene las bibliotecas de bajo nivel de API de Vuforia y los archivos relacionados para Windows, iOS, Android y otras plataformas compatibles.

La carpeta "Resources" contiene un archivo especial llamado "VuforiaConfiguration" y, como su nombre lo indica, este archivo mantiene los parámetros de configuración de Vuforia del proyecto. Este archivo se incluirá en la compilación del proyecto y la aplicación RA lo leerá cuando llegue el momento de su ejecución.

La carpeta "Vuforia" contiene muchos recursos de Unity que pueden ser útiles en el proyecto, incluidos Materiales, Prefabs, Scripts, Shaders y Texturas.

5.4.1 Configuración de VuforiaConfiguration

Antes de comenzar a desarrollar cualquier proyecto con Vuforia, hay que obtener una "License Key" (Clave de Licencia) del portal de desarrolladores.

Haciendo clic en el archivo VuforiaConfiguration y observando el panel de Inspector a la derecha, como muestra la Figura 5-13, hay que asegurarse de que la License Key de la aplicación esté completa y sea la correcta.

O Inspector		a .=
VuforiaConfiguration		Open
Clobal Vuforia Version	7.0.50	
App License Key	Add License	

Figura 5-13: Características del archivo "VuforiaConfiguration" incluido en el Prefab de Vuforia.

5.4.2 License Key

Para obtener una License Key hay que dirigirse al sitio web de Vuforia (o solo pulsar el botón "Add License" en el apartado de VuforiaConfiguration) y acceder al "Dev Portal" (https://developer.vuforia.com/). Hay que asegurarse de estar registrado en este sitio y haber iniciado sesión. Una vez hecho esto, se hace clic en la pestaña "Develop" y luego en la pestaña secundaria de "License Manager" (Administrador de Licencias), como se muestra en la Figura 5-14:

VUÍOTÍA" Developer Portal						Hello PabloGZ $ \sim ig {\sf Log} {\sf O}$	
				Develop			
License	e Manager	Target Manager					
Create a Ge	license key fo	or your applicatio	n. Buy Deploymen	t Key			
Name				Т	Туре	Status 🗸	Date Modified

Figura 5-14: Administrador de licencias, en el portal de desarrolladores de Vuforia. [67]

Para crear una nueva clave, hay que hacer clic en el botón "Get Development Key". Posteriormente se le solicitará seleccionar el "Tipo de Proyecto", en este caso "Development". Luego se le solicitará ingresar un nombre de aplicación (como EIElectro RA). Después de confirmar la License Key, en la siguiente pantalla, se le enviará de vuelta a la página de "License Manager".

				Develop	
License	Manager	Target Manager			
ense Ma	nager > EIEI	lectro RA			
IEle	ctro R/	A Edit Name Del	ete License Key		
Licer	nse Key	Usage			
Please	e copy the li	cense key below i	nto your app		
Please	e copy the li	cense key below i	nto your app	WVB	e.
Please	e copy the li	cense key below i	nto your app	WVB JE 1 XY VC 7	vG /D
Please	c via	cense key below i	nto your app	WVB JE 1 zy VC 1 JB	vG 700
Please	c via k n	cense key below i	nto your app	WVB JE 1 xy vC 1 JH xH	nG 735 977 ML
Please	C VIA NE 10	cense key below i	nto your app h Yay YG	WVB JE 1 XY VC 1 JH XH	eG 700 970 970 970 970
Please	c VIA b 12 1	cense key below i	nto your app h Yay YG	WVB JE 1 zy vC JH zH	vG //b SV JIL
Please Type: Statu	c via k a b b c via k a c c via k a c c via	cense key below i	nto your app h Yay	WVB JE 1 XV VC 1 JH XM	4G 700 977 14L
Please At Type: Statu Creat	e copy the li	cense key below i	nto your app	WVB JE 1 XY VC 1 JH XM	4G 100 977 14L

Figura 5-15: License Key (censurado) del proyecto EIElectro RA. [67]

La clave encriptada estará en un cuadro de texto, como se muestra en la Figura 5-15. Se debe seleccionar todo el texto y copiarlo en el portapapeles. Desde esta pantalla, la pestaña "Usage" le permite revisar los detalles de uso de la nube de la clave y la aplicación asociada a ella.

Ahora, de vuelta en Unity, se hace clic en el campo License Key de la aplicación (en el Inspector de VuforiaConfiguration) y se pega la clave.

5.4.3 Webcam

También se debe activar la Webcam para hacer pruebas de las aplicaciones desde el Editor de Unity. Hacia la parte inferior del Inspector (VuforiaConfiguration), debajo del encabezado de "Webcam" se encuentra el selector de dispositivo, como muestra la Figura 5-16:

Vebcam Disable Vuforia Play Mode	
No webcam profile has been found fo A default profile will be used. Webcam profiles ensure that Play Mo You can create a custom profile for y 2018/PROYECTO DE TITULACION/Un	or your webcam model: 'Cámara FaceTime HD (integrada)'. de performs well with your webcam. our camera by editing '/Users/Lance/Desktop/PUCV/1er Semestre ity/ElElectro RA/Assets/Editor/QCAR/WebcamProfiles/profiles.xml'.
Camera Device Flip Horizontally	Cámara FaceTime HD (integrada) +

Figura 5-16: Subpanel para escoger la cámara web que se usa actualmente en el computador.

5.5 RA en un Marcador

Asumiendo que se ha comenzado con una nueva Escena en Unity, importando el paquete Asset de Vuforia (como se explicó anteriormente), configurando la License Key de la aplicación y activando la cámara web del computador del desarrollador, se puede dar inicio a la primera experiencia básica de RA en un marcador.

5.5.1 Agregar Cámara RA a la Escena

El primer paso es reemplazar la "Main Camera" predeterminada y cambiarla por el Prefab de "AR Camera" de Vuforia (ver Figura 5-17):

- 1. En el panel Hierarchy, se debe eliminar la Main Camera.
- 2. Clic derecho en el panel Hierarchy, seleccionar "Vuforia" y luego "AR Camera" (para últimas versiones de Unity, como la 2017.4)
- 3. En esta última versión, debe aceptar la descarga del paquete Asset de Vuforia que se presentará en pantalla a continuación.

Cuando se presiona "Play" (el ícono de reproducción en la barra de herramientas, en la parte superior central de Unity), se debería activar la vista previa de la cámara web seleccionada en el panel "Game". Esto permite depurar la aplicación RA dentro del mismo Editor de Unity.



Figura 5-17: Agregar "AR Camera" en las últimas versiones de Unity, con Vuforia incorporado.

5.5.2 Agregar un Marcador a la Escena

La primera parte de esto requiere agregar un "ImageTarget" en el panel de Hierarchy. Se recuerda que en simples palabras un ImageTarget será el Marcador en el cual se proyectará el modelo 3D diseñado para RA. Para continuar (ver Figura 5-18):

- 1. Clic derecho en el panel de Hierarchy, seleccionar Vuforia y luego "Image".
- 2. En el Inspector, en el componente "Image Target Behavior", ubicar el parámetro "Type". Puede decir "No Targets Defined". Presionar el botón para crearlo.
- 3. Esta acción abrirá el navegador de Internet y luego será dirigido a la página web de "Vuforia Target Manager". Esto le permitirá al desarrollador crear la base de datos de los marcadores que tendrá como ImageTarget.



Figura 5-18: Agregar "ImageTarget" en las últimas versiones de Unity, con Vuforia incorporado.

5.5.3 Crear la base de datos de los Marcadores

Para crear una nueva base de datos, como muestra la Figura 5-19, se debe seguir los siguientes pasos:

EIE		
Туре:		
O Device		
◯ Cloud		
🔿 VuMark		
	Cancel	Create

Figura 5-19: Crear base de datos en la página web de "Vuforia Target Manager". [67]

- 1. Presionar "Add Database" y nombrarlo, en este caso, por ejemplo, "EIE".
- 2. Se planeará almacenar la imagen en el dispositivo, entonces se define la base de datos como tipo "Device".
- 3. En la pestaña "Target Manager" se puede ver la lista de Targets ya almacenados. Para el primer caso estará vacía.
- 4. Presionar "Add Target" para agregar un nuevo ImageTarget, como muestra la Figura 5-20.
- 5. Para el caso más simple se agregará un Target del tipo "Single Image" (según lo requiera el desarrollador, se pueden agregar otros tipos como muestra la figura).
- 6. Se especifica el ancho del mundo real de la imagen en metros. De preferencia popular también puede ser el ancho en pixeles de la imagen que se usará como Target.
- 7. Luego "Add" para subir el archivo.

Add Target			
Туре:			
	\bigcirc	07	
Single Image	Cuboid	Cylinder	3D Object
File:			
Choose File			Browse
Enter the width of you same scale as your au scale. The target's hei	ir target in scene uni gmented virtual cont ght will be calculatec	ts. The size of the targ ent. Vuforia uses mete I when you upload you	et should be on the ers as the default unit r image.
name.			
Name must be unique will be reported in the	to a database. When API.	a target is detected ir	n your application, thi

Figura 5-20: Tipos de Marcadores para añadir en la página web de "Vuforia Target Manager". [67]

Hay que tener en cuenta que Vuforia requiere que la imagen tenga formato .JPG o .PNG, y de 24 bits u 8 bits (Escala de grises). A menudo, los archivos .PNG son RGBA, con canal alfa, y estos serán rechazados cuando se intenten subir. Como el formato .JPG nunca tiene un canal alfa, debe ser RGB o Escala de grises. En Vuforia, el tamaño máximo de archivo para las imágenes es de 2.25 MB.

En la Figura 5-21 se puede ver cómo se ha cargado satisfactoriamente la imagen del Target en la base de datos. Hay que tener en cuenta que mientras más alto contraste tengan las imágenes a subir, más calificación tendrá en base a estrellas. Esto significa mejor reconocimiento al momento de capturar el Target con la cámara del dispositivo móvil. Por lo tanto, se recomienda como mínimo Targets entre cuatro a cinco estrellas.

EIE Edit Name Type: Device				
Targets (9)				
Add Target				Download Database (All)
Target Name	Туре	Rating	Status 🗸	Date Modified
🗆 💮 5	Single Image	****	Active	May 01, 2018 21:54

Figura 5-21: Marcador subido a la base de datos de manera satisfactoria. [67]

Luego de esto se puede descargar la base de datos e importarla a Unity:

- 1. Presionar "Download Database".
- 2. Seleccionar "Unity Editor" y presionar "Download".

El archivo descargado será nombrado "Nombre.unitypackage" (en este caso EIE.unitypackage), y abriéndolo se importará todo el contenido al proyecto actual de Unity.

5.5.4 Activar la base datos de los Marcadores

Una vez importado el archivo de formato ".unitypackage", se creará una carpeta llamada "StreamingAssets". Aquí es donde se guardará toda la información de la base de datos para el reconocimiento de Targets, ya sean imágenes, objetos o cualquiera de los otros objetivos que admite Vuforia.

Con el "ImageTarget" seleccionado en el panel Hierarchy, se observa el panel Inspector a la derecha, y en el componente "Image Targer Behavior" se tiene que seleccionar la base de datos creada (en este caso "EIE").

Luego, para activar la base de datos (ver Figura 5-22):

- 1. Ir al archivo VuforiaConfiguration (carpeta "Resources") y seleccionarlo.
- 2. En el panel Inspector, en el apartado "Databases", marcar la casilla "Load NombreBaseDeDatos" (Load EIE) y luego marcar la casilla "Activate".

0 Inspector		â •=
VuforiaConfiguration		Q \$.
2		Open
▼ Global		
Vuforia Version	7.0.50	
App License Key	1	
	Add License	
Delayed Initialization		
Camera Device Mode	MODE_DEFAULT	\$
Max Simultaneous Tracked Images	5	
Max Simultaneous Tracked Objects	5	
Load Object Targets on Detection		
Camera Direction	CAMERA_DEFAULT	\$]
Mirror Video Background	DEFAULT	*)
▶ Digital Eyewear		
▼ Databases		
Load EIE Database		
Activate		

Figura 5-22: Activar "Databases" en el archivo VuforiaConfiguration en Unity.

5.5.5 Prueba básica de RA

Para comprobar si toda la configuración anterior está correcta, se puede hacer una prueba sencilla para visualizar un objeto en RA:

- 1. En el panel Hierarchy, clic derecho y seleccionar "GameObject", "3D Object" y luego "Cube".
- 2. Arrastrar el elemento a "ImageTarget" del panel Hierarchy, el cual se guardará en un subpanel.
- 3. Editar el cubo creado en la Escena principal, escogiendo el tamaño y posición adecuada en el panel Inspector.
- 4. Una vez se muestre el cubo arriba del ImageTarget (Figura 5-23), con los ajustes necesarios, presionar el botón "Play" para hacer una prueba con la cámara web del computador.



Figura 5-23: Escena actual de un cubo 3D en la superficie de un Marcador.

Al realizar todos los pasos correctos, se debería tener listo el Marcador anteriormente creado (archivo subido e importado a la base de datos) e impreso para poder visualizar la RA a través de la cámara web, como muestra la Figura 5-24:



Figura 5-24: Ejemplo sencillo de RA en un Marcador, usando una cámara web simple.

5.5.6 Obtener modelos 3D

Algunos objetos y modelos 3D simples se pueden diseñar en el Editor de Unity (Cubos, esferas, planos, etc), sin embargo, para un trabajo más detallado, se recomienda importar los modelos desde los programas más reconocidos, tales como Blender o SketchUp.

No obstante, si el desarrollador no es bueno para el modelado 3D, afortunadamente hay toneladas de objetos disponibles en la tienda Asset Store de Unity, algunos gratuitos y otros de pago. También existen muchos sitios web para compartir modelos en 3D, entre ellos:

- Sketchfab: http://sketchfab.com
- Turbosquid: http://www.turbosquid.com
- Blendswap: http://www.blendswap.com Y otros.

Los modelos que se encuentran en la Asset Store están listos para ser usados en Unity. Los modelos de otras fuentes pueden requerir algún ajuste manual y/o conversión de formato. Unity permite importar modelos en formato ".FBX" u ".OBJ". También puede importar otros formatos especiales como ".MAX" (3ds Studio Max) o ".BLEND" (Blender) siempre que se tenga el software respectivo instalado.

5.6 Compilar y exportar el proyecto de RA

En resumen, una Escena de RA lista para exportar, como la Escena de prueba creada anteriormente con el cubo 3D, debe contener lo siguiente:

- ✓ Una cámara con componentes adjuntos de un SDK específico (Vuforia, ARToolkit, u otros).
- ✓ Un ImageTarget de un SDK específico, con componentes que puedan identificar la imagen u objetivo.
- ✓ Game Objects (Animaciones u objetos 3D) a renderizar cuando el Target es reconocido en el momento de la ejecución, emparentado por el objetivo, y registrado en la posición correcta del espacio 3D.
- ✓ La Jerarquía de las Escenas debe estar ordenada de acuerdo con los requisitos del SDK específico, incluidos los componentes adicionales.

Luego de cumplir con estos requisitos, se busca exportar el proyecto a un dispositivo móvil específico. Para ello hay que configurar el panel de "Build Settings" según la plataforma objetivo del desarrollador:



Figura 5-25: Ventana "Build Settings", para finalizar y exportar el proyecto de Unity.

- 1. Ir a la ventana de "File" (límite superior de la ventana de Unity), y luego seleccionar "Build Settings". Se abrirá una ventana como muestra la Figura 5-25.
- 2. En el cuadro "Scenes In Build" de la parte superior se muestra la lista de Escenas a compilar del proyecto. Para agregar la Escena actual a esta lista se debe presionar "Add Open

Scenes", y así mismo con todas las Escenas que se quieren incluir en la aplicación final a exportar.

- 3. Como se muestra en la figura anterior, en la lista "Platform" (Plataforma) se pueden ver las diferentes plataformas, entre ellas PC, Mac, Linux, consolas de videojuegos y dispositivos móviles que pueden ser el objetivo del desarrollador. Para este proyecto en específico se escoge la plataforma Android.
- 4. Antes de compilar, ya sea en "Build" o "Build And Run", es necesario ajustar detalles importantes en la pestaña "Player Settings".
- 5. En el panel Inspector de "Player Settings" se rellena el nombre de la compañía en "Company Name" y este tiene que ser el mismo que en el subpanel de "Settings for Android" > "Other Settings" > "Identification" > "Package Name" > "com.CompanyName", como muestra la Figura 5-26:

PlayerSetting	S			0
Company Name	EIEPL	JCV		
Product Name	EIElee	ctro RA		
Default Icon				None (Texture 2D)
Default Cursor				Select None (Texture 2D)
Cursor Hotspot	x 0		Y 0	Select
Ŧ			P	÷
Settings for Android	là.			
Resolution and P	resentat	ion		
lcon				
Splash Image				
Other Settings				
Rendering				
Color Space*		Gamma		+
Auto Graphics AP	1			
Multithreaded Rer	ndering*			
Static Batching				
Dynamic Batching				
GPU Skinning*				
Graphics Jobs (Ex	perimen	ta 🛄		
	ved to XI	R Settings		
Virtual Reality mo		0		
Virtual Reality mo Protect Graphics	Memory			
Virtual Reality mo Protect Graphics I Identification	Memory			
Virtual Reality mo Protect Graphics I Identification Package Name	Memory	com.EIE	PUCV	

Figura 5-26: Parámetros a escoger en "Player Settings" para exportar el proyecto de RA.

6. En las últimas versiones de Unity también se debe desactivar la casilla "Android TV Compatibility" (Figura 5-27), en "Other Settings" ya que causa conflicto al momento de trabajar con una Escena con realidad aumentada de Vuforia.

Android TV Compatibility	0
Android Game	
Android Gamepad Support	Works with D-pad 😫

Figura 5-27: Desactivar "Android TV Compatibility", para no causar conflictos con RA.

7. En "XR Settings", se debe activar la casilla "Vuforia Augmented Reality Supported" (Figura 5-28).

XR Settings	
Virtual Reality Supported	
ARCore Supported	
Vuforia Augmented Reality Supported	

Figura 5-28: Activar "Vuforia Augmented Reality Supported", requisito primordial para RA usando Vuforia.

8. Por último, para compilar la aplicación en formato ".APK" (Android), se debe hacer clic en el botón "Build" (Figura 5-25), o en "Build And Run" para hacer pruebas directamente con el dispositivo móvil conectado mediante USB al computador.

Si todo está configurado de forma correcta, como se explicó anteriormente, se comenzará a compilar la aplicación sin mensajes y advertencias en la pestaña de "Console" (Consola). Si no es así, es necesario verificar estos mensajes para ver los errores de compilación. Finalmente se instala la aplicación de formato .APK en el dispositivo móvil con sistema operativo Android 4.4 hacia arriba.

5.7 EIElectro RA

A partir de las configuraciones básicas para poder proyectar elementos en RA (en dispositivos móviles actuales), se procede a desarrollar la aplicación móvil "EIElectro RA" (Figura 5-29) para el proyecto de Innovación Docente de la asignatura denominada "Electromagnetismo", impartida por la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.



Figura 5-29: Logo y diseño final de "EIElectro RA"

5.8 Escenas

En sintesis, un proyecto completo de Unity está compuesto por varias Escenas. Estas últimas interactuan entre sí dependiendo de los scripts programados por el desarrollador en lenguaje C# o JavaScript. Como el presente proyecto está enfocado a que sea una "herramienta de bolsillo", se procede a crear una sencilla Interfaz de Usuario (UI, User Interface) para conocer el funcionamiento y la programación general de Escenas en un proyecto de Unity. El "esqueleto" básico de la aplicación se muestra en la Figura 5-30:



Figura 5-30: Esquema general de las Escenas de la aplicación "EIElectro RA".

En la versión de lanzamiento de la aplicación, se cambió el diseño completo de la Interfaz de Usuario como muestra la Figura 5-31. A pedido de algunos usuarios de prueba, se recomendó diseñar un tema más oscuro para evitar el cansancio visual a causa del brillo del color blanco.



Figura 5-31: Menú principal de "EIElectro RA" en su primera versión (izquierda) y en su versión de lanzamiento (derecha).

En cuanto al desarrollo de la Interfaz de Usuario, todo es desarrollado por separado en el software "Adobe Photoshop", ya sean las imágenes de fondo de cada Escena o el diseño de los botones, todo se debe diseñar con el tamaño adecuado en pixeles para la aplicación. Para este caso, se diseñaron elementos que se ajustan a una resolución de 1080x1920 pixeles (Ancho x Altura), específicos para una aplicación móvil de un Smartphone actual. Por lo tanto, cada imagen en formato .JPG o .PNG es incorporada al proyecto de Unity y es ajustada en el panel "Inspector" al tamaño que desea el desarrollador. Gran parte de los archivos e imágenes que son cargados de forma automática en la aplicación se muestran en la Figura 5-32:



Figura 5-32: Archivos. imágenes y modelos 3D al interior de la aplicación "EIElectro RA".

Para cambiar de una Escena a otra, se programaron scripts en lenguaje C# sencillos, por ejemplo como muestra la Figura 5-33, usando la librería "UnityEngine.SceneManagement" y la función "SceneManager.LoadScene()". Esta última función, que sirve para cambiar de Escena, se

programa para actuar al momento de pulsar un botón, o también puede ser programada para cambiar automáticamente a una cierta cantidad de segundos, como en la primera Escena de "Logo", o en la Escena de "Cargando" mientras se cargan los elementos de la aplicación (Figura 5-30).

0 Inspector		<u> -</u> ≡
menu Impo	ort Settings	\$
- <u></u>	Open	Execution Order
Imported Object		
C# menu		a
Assembly Inform	nation	
Filename	Assem	nbly-CSharp.dll
using UnityEngine.S public class menu : { public void LoadE { SceneManager. } public void ExitAj { Application Qu	iceneManag MonoBehav Windex(int s LoadScene(pplication()	ement; iour scenelndex) scenelndex);
Application.Qu }	нt();	
}		

Figura 5-33: Ejemplo de script en lenguaje C# para cambiar de Escena en el Menú Principal de "EIElectro RA".

5.9 Experiencias de RA

Para realizar una experiencia enriquecedora para el alumnado, se optó por varias alternativas de RA. El objetivo principal fue buscar la idea más atractiva y más didactica posible, por lo que no bastó solo con proyectar un modelo 3D en un Marcador. En cuanto al tiempo para desarrollar las experiencias, se dio énfasis en la visualización correcta de las líneas de campo en un mundo 3D para "n-cargas" o "n-puntos en el espacio", por lo que gran parte de las animaciones que se tenían en mente están de mejor forma explicadas en los vídeos de RA como introducción.

5.9.1 EIE Retro-TV

Una vez que comienza la Escena, como primera pantalla, se recomienda buscar el primer Marcador. Una vez que este se encuentra, direccionando con la cámara del dispositivo Android, se proyectará un reproductor de vídeo en RA con un atractivo estilo "retro", a través de una TV con pantalla CRT de los años 80, como muestra la Figura 5-34. Posterior a esto se recomienda interactuar con los botones multimedia para la reproducción, pausa o cambio de vídeos.



Figura 5-34: Imágen de la Cámara RA de "EIElectro RA". Experiencia: "EIE Retro-TV".

Para el apartado de "Campos Magnéticos" se cuenta con 13 vídeos incluídos en la aplicación (no requieren de conexión a Internet para su reproducción), los cuales son una selección óptima de un conjunto de animaciones incluídas en los vídeos educativos expuestos en "El Universo Mecánico", o de forma específica, en los capítulos "Gravedad, electricidad y magnetismo", "Magnetismo" y "Campo magnético".

Para el apartado de "Campos Eléctricos" se cuenta con 17 vídeos incluídos en la aplicación, y también son una selección óptima de un conjunto de animaciones incluídas en los vídeos educativos expuestos en "El Universo Mecánico", o de forma específica, en los capítulos "Electricidad estática", "Campo eléctrico" y "Capacidad y potencial".



Figura 5-35: Vídeos educativos de "Campos Magnéticos" y "Campos Eléctricos". Referencia: "El Universo Mecánico".

Estos vídeos son altamente recomendados para que el alumnado sea autodidacta y aprenda la base principal de los campos eléctricos y campos magnéticos (Figura 5-35). La mayor parte de este contenido requiere entender los modelos abstractos, los cuales son explicados de forma muy sencilla y con audio en español.

Los vídeos tienen una duración promedio entre 30 [segundos] y 1 [mínuto], por lo tanto, no tomaría más de 10 [mínutos] verlos todos (por cada experiencia). En cuanto al tamaño final de la aplicación, este depende exclusivamente de la cantidad de vídeos integrados, por lo que se trabajó, además, con un software de compresión de vídeos para ser más eficiente el uso de almacenamiento de datos.



Figura 5-36: Escena de "EIE Retro-TV", vista desde el Editor de Unity.

Los elementos que son cargados por el software de Unity están presentados en la Figura 5-36. En la columna "Jerarquía" de la izquierda, se ven todos los elementos por orden:

- <u>ForceScreen</u>: En este elemento va incluído un script en lenguaje C# para forzar la auto rotación de la pantalla a modo horizontal. Es decir, en el menú principal de la aplicación se trabaja solo en formato retrato o vertical, y una vez que se carga la Escena, activando la Cámara RA, se cambia a modo horizontal para aprovechar de mejor manera los botones que están ajustados a esa escala. Sin embargo, los elementos en RA aún pueden ser reconocidos de forma vertical u horizontal como se prefiera.
- <u>Directional Light</u>: Este elemento está incluido por defecto en las Escenas de Unity, y su principal función es adaptar las luces y sombras de los objetos o modelos 3D que se incorporan a la Escena. En simples palabras, está ajustado por defecto para darle luces y sombras a los modelos de la TV, Nintendo y VHS.
- <u>ARCamera</u>: Este elemento es incorporado por defecto cuando se trabaja con Vuforia y Unity. Es un script programado en C#, que reemplaza la "Main Camera" por defecto, y que su principal función es hacer que el mundo 3D de fondo de Unity desaparezca y se reemplace por la cámara del dispositivo móvil, haciendo que el fondo sea transparente y que los modelos 3D permanezcan en la Escena. Tiene una larga lista de configuraciones, pero la más importante es activar la Cámara RA.
- <u>ImageTarget:</u> Este elemento es el Marcador cargado por la base de datos de Vuforia. Por lo que todos los modelos 3D se incorporan a él para que se proyecten en la realidad, cuando se usa en conjunto con la ARCamera.
- <u>Canvas:</u> Este elemento se refiere a todo el contenido de la primera capa de la pantalla, es decir, la pantalla Touch y toda la Interfaz de Usuario, botones e información.
- <u>Canvas2</u>: En este elemento está solo incorporado la imagen de "Buscando el Marcador". Está programado de forma separada para no interferir con los botones principales multimedia y cambio de Escena.
- <u>EventSystem:</u> Este elemento aparece por defecto cuando se programa un elemento Canvas. Se recomienda no borrarlo ya que puede interferir con la programación del Canvas y causar errores.

Para cambiar de Escena se debe pulsar la flecha de color blanco, esta puede ser para el menú principal de la aplicación o la experiencia siguiente.

5.9.2 Campos Magnéticos

Una vez que comienza la Escena, como primera pantalla, se recomienda buscar el primer Marcador. Este Marcador es especial y es conocido como "MultiTarget", ya que funciona como Marcador por todos sus lados. Una vez que este se encuentra, direccionando con la cámara del dispositivo Android, desaparecerá el cuadro en blanco por lo que se recomienda proceder a pulsar el botón "Play". Posterior a esto, comenzará la animación de partículas que irán desde el polo norte del imán hasta el polo sur, dejando un lazo, el cual es el recorrido de la partícula desde el origen hacia el destino (Figura 5-37). Este lazo representa las líneas de campo magnético que están programadas correctamente para un mundo en tres dimensiones.



Figura 5-37: Visualización de las líneas de campo magnético en un imán permanente. Experiencia "Campos Magnéticos" de "EIElectro RA".

Luego, el botón de "Pausa" sirve para pausar la animación. El botón de "Stop" sirve para detener el flujo de partículas, pero no es instantáneo, ya que se detienen en el mismo orden en la cual aparecieron estas partículas. El botón de "Previous" tiene la función de "Clear" o limpiar, o reiniciar la animación del flujo. En posteriores versiones de la aplicación, se programará de mejor forma este botón ya que para comenzar de nuevo se recomienda pulsar en secuencia el botón Stop, luego el Clear y luego el Play para hacer un reinicio adecuado de la animación. Por último, el botón de "Bug Fix" (Bicho) tiene la función de reiniciar la Escena desde cero, ante cualquier anomalía de la Cámara RA o los Marcadores de Vuforia.



Figura 5-38: Escena de "Campos Magnéticos", vista desde el Editor de Unity.

Los elementos que son cargados por el software de Unity están presentados en la Figura 5-38. En la columna "Jerarquía" de la izquierda, se ven todos los elementos por orden:

- <u>ForceScreen</u>: En este elemento va incluído un script en lenguaje C# para forzar la auto rotación de la pantalla a modo horizontal. Es decir, en el menú principal de la aplicación se trabaja solo en formato retrato o vertical, y una vez que se carga la Escena, activando la Cámara RA, se cambia a modo horizontal para aprovechar de mejor manera los botones que están ajustados a esa escala. Sin embargo, los elementos en RA aún pueden ser reconocidos de forma vertical u horizontal como se prefiera.
- <u>Directional Light:</u> Este elemento está incluido por defecto en las Escenas de Unity, y su principal función es adaptar las luces y sombras de los objetos o modelos 3D que se incorporan a la Escena.
- <u>ARCamera:</u> Este elemento es incorporado por defecto cuando se trabaja con Vuforia y Unity. Es un script programado en C#, que reemplaza la "Main Camera" por defecto, y que su principal función es hacer que el mundo 3D de fondo de Unity desaparezca y se reemplace por la cámara del dispositivo móvil, haciendo que el fondo sea transparente y que los modelos 3D permanezcan en la Escena. Tiene una larga lista de configuraciones, pero la más importante es activar la Cámara RA.
- <u>MultiTarget:</u> Este elemento es el Marcador cargado por la base de datos de Vuforia. Funciona igual que el "ImageTarget" pero para un modelo en forma de cubo, o

paralelepipedo. Por lo que todos los modelos 3D se incorporan a él para que se proyecten en la realidad, cuando se usa en conjunto con la ARCamera.

- <u>Dual System</u>: En este elemento está incorporado el sistema de animación de partículas "Shuriken" de Unity, y el script de "Particle Magnets" en lenguaje C# que hace el trabajo principal de atracción y repulsión de partículas, según la programación del desarrollador. En simples palabras, se refiere a la "caja invisible" de color celeste de la Figura 5-38, que está programada para cierto tamaño o para cierta cantidad de partículas al azar.
- <u>Canvas:</u> Este elemento se refiere a todo el contenido de la primera capa de la pantalla, es decir, la pantalla Touch y toda la Interfaz de Usuario, botones e información.
- <u>EventSystem</u>: Este elemento aparece por defecto cuando se programa un elemento Canvas. Se recomienda no borrarlo ya que puede interferir con la programación del Canvas y causar errores.
- <u>BarController</u>: Este elemento funciona como controlador de esta Escena. En la programación de Unity, es común agregar controladores para cambiar de Escena o programar ciertos botones como desee el desarrollador.

Para cambiar de Escena se debe pulsar la flecha de color blanco, esta puede ser para el menú principal de la aplicación o la experiencia anterior.

5.9.3 Cargas Eléctricas

Una vez que comienza la Escena, como primera pantalla, se recomienda buscar todos los Marcadores, en este caso, todas las cargas eléctricas. Una vez que se proyectan las cargas, direccionando con la cámara del dispositivo Android, desaparecerá el cuadro en blanco por lo que se recomienda proceder a pulsar el botón "Play". Posterior a esto, comenzará la animación de partículas que se irán repeliendo por las cargas positivas y serán atraídas por las cargas negativas, generando las líneas de campo eléctrico entre estas cuatro cargas, como muestra la Figura 5-39:



Figura 5-39: Visualización de las líneas de campo eléctrico entre cargas iguales y opuestas. Experiencia "Cargas Eléctricas" de "EIElectro RA".

Luego, el botón de "Pausa" sirve para pausar la animación. El botón de "Stop" sirve para detener el flujo de partículas, pero no es instantáneo, ya que se detienen en el mismo orden en la cual aparecieron estas partículas. El botón de "Previous" tiene la función de "Clear" o limpiar, o reiniciar la animación del flujo. Por último, el botón de "Bug Fix" (Bicho) tiene la función de reiniciar la Escena desde cero, ante cualquier anomalía de la Cámara RA o los Marcadores de Vuforia



Figura 5-40: Escena de "Cargas Eléctricas", vista desde el Editor de Unity.

Los elementos que son cargados por el software de Unity están presentados en la Figura 5-40. En la columna "Jerarquía" de la izquierda, se ven todos los elementos por orden:

- <u>ForceScreen</u>: En este elemento va incluído un script en lenguaje C# para forzar la auto rotación de la pantalla a modo horizontal. Es decir, en el menú principal de la aplicación se trabaja solo en formato retrato o vertical, y una vez que se carga la Escena, activando la Cámara RA, se cambia a modo horizontal para aprovechar de mejor manera los botones que están ajustados a esa escala. Sin embargo, los elementos en RA aún pueden ser reconocidos de forma vertical u horizontal como se prefiera.
- <u>Directional Light</u>: Este elemento está incluido por defecto en las Escenas de Unity, y su principal función es adaptar las luces y sombras de los objetos o modelos 3D que se incorporan a la Escena.
- <u>ARCamera:</u> Este elemento es incorporado por defecto cuando se trabaja con Vuforia y Unity. Es un script programado en C#, que reemplaza la "Main Camera" por defecto, y que su principal función es hacer que el mundo 3D de fondo de Unity desaparezca y se reemplace por la cámara del dispositivo móvil, haciendo que el fondo sea transparente y que los modelos 3D permanezcan en la Escena. Tiene una larga lista de configuraciones, pero la más importante es activar la Cámara RA.
- <u>Dual System</u>: En este elemento está incorporado el sistema de animación de partículas "Shuriken" de Unity, y el script de "Particle Magnets" en lenguaje C# que hace el trabajo principal de atracción y repulsión de partículas, según la programación del desarrollador.

En simples palabras, se refiere a la "caja invisible" de color celeste de la Figura 5-40, que está programada para cierto tamaño o para cierta cantidad de partículas al azar.

- <u>ImageTarget (Positive, Negative)</u>: Este elemento es el Marcador cargado por la base de datos de Vuforia. Por lo que todos los modelos 3D se incorporan a él para que se proyecten en la realidad, cuando se usa en conjunto con la ARCamera.
- <u>Canvas:</u> Este elemento se refiere a todo el contenido de la primera capa de la pantalla, es decir, la pantalla Touch y toda la Interfaz de Usuario, botones e información.
- <u>EventSystem</u>: Este elemento aparece por defecto cuando se programa un elemento Canvas. Se recomienda no borrarlo ya que puede interferir con la programación del Canvas y causar errores.
- <u>ElecController</u>: Este elemento funciona como controlador de esta Escena. En la programación de Unity, es común agregar controladores para cambiar de Escena o programar ciertos botones como desee el desarrollador.

Para cambiar de Escena se debe pulsar la flecha de color blanco, esta puede ser para el menú principal de la aplicación o la experiencia anterior.

5.10 Marcadores de EIElectro RA

La base de datos principal de los Marcadores está en la cuenta del desarrollador de la aplicación, en la página web oficial de Vuforia. Como se muestra en la Figura 5-41, existen hasta el momento cinco Marcadores de tipo "Single Image" (Imagen simple) y un Marcador de tipo "Cuboid" (Cubo o 3D). En la columna "Rating" se ve la calidad de los Marcadores y todos ellos tienen las cinco estrellas como máximo, es decir, son reconocidos perfectamente ante cualquier cámara en dispositivos móviles actuales.

Targets (6)					
Add Target					Download Database (All)
Target Name		Туре	Rating	Status 🗸	Date Modified
PositiveCh	harge2	Single Image	*****	Active	Jul 27, 2018 15:22
NegativeC	harge3	Single Image	*****	Active	Jul 27, 2018 15:22
NegativeC	harge2	Single Image	*****	Active	Jul 27, 2018 15:21
Universol	lecanico	Single Image	*****	Active	Jun 27, 2018 02:06
PositiveCh	narge	Single Image	*****	Active	Jun 27, 2018 01:16
MagnetBa	r	Cuboid	n/a	Active	Jun 20, 2018 21:58

Figura 5-41: Base de datos de los Marcadores de "EIElectro RA".

Para que la aplicación reconozca estos Marcadores, no es necesaria la conexión a Internet ya que la base de datos se descarga con anterioridad de la página web oficial y se guarda en el mismo paquete de datos del archivo .APK.

El nivel de Rating de la base de datos de Vuforia depende del nivel de contraste de la imagen que se usará como Marcador. Como muestra la Figura 5-42, mientras más contraste tenga la imagen, más puntos de diferencia podrán ser reconocidos por la cámara móvil. Por lo tanto, Vuforia recomienda que además las imágenes no sean simétricas para diferenciarse aún más de otros Marcadores de su base de datos. El desarrollador de la aplicación optó por diseñar Marcadores similares a los populares códigos QR, pero a color y con más contraste.



Figura 5-42: Marcador original a la izquierda y puntos de interés de Vuforia a la derecha.

Sin embargo, queda un trabajo pendiente para el Marcador de tipo "Cuboid" del imán permanente (Figura 5-43), ya que las imágenes de frente son "aumentables" solo con cuatros estrellas, y la de sus lados, de forma pésima, solo con dos estrellas. La parte de abajo y la superior tienen tres estrellas. Como se explicó anteriormente, esto depende exclusivamente del tamaño de la imagen (en este caso fue diseñado con medidas pequeñas) y del nivel de contraste. El desarrollador prefirió no "ensuciar" con tanto código el imán permanente de prueba, y aún así experimentar el funcionamiento de los "MultiTargets". De todas formas, es necesario diseñar nuevamente el Marcador, porque Vuforia recomienda mínimo las cuatro estrellas para un buen reconocimiento.



Figura 5-43: Marcador tipo "Cuboid" de Vuforia. Imán permanente, comparación frontal y lateral.

5.11 Play Store y actualizaciones

Actualmente, la versión de lanzamiento de la aplicación "EIElectro RA" ya se encuentra disponible en línea para todos los países y de forma gratuita en Play Store (Figura 5-44) en el siguiente enlace:

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.EIEPUCV.EIElectroRA



Figura 5-44: EIElectro RA" ya disponible en Play Store. [73]

Esta primera versión está compuesta por todos los elementos explicados anteriormente en este proyecto. Su tamaño actual es de alrededor de 460 [MB] y se puede instalar en smartphones Android con versión 4.4 hacia arriba. Sin embargo, para un óptimo rendimiento, se recomienda su uso en smartphones de gama media de última generación. Además, se recomienda un nivel de batería superior al 50% (o sobre todo superior al 20%).

Para la siguiente versión, y a la brevedad, es necesario realizar los siguientes cambios y/o mejoras:

- ✓ Nuevo diseño del Marcador de tipo Cuboid (Imán permanente).
- ✓ Se añadirá un botón para cambiar las líneas de campo eléctricas y magnéticas de 3D a 2D.
- ✓ Se añadirá un botón de "Captura de pantalla".
- ✓ En la experiencia de "Cargas Eléctricas" se añadirá la opción para uno, dos y tres marcadores por separado, de forma creciente.
- ✓ Implementaciónes para mejorar el rendimiento de la aplicación.

Otras recomendaciones por parte de los usuarios, estudiantes y docentes se irán analizando e implementando durante el tiempo.

6 Guías de experiencias

El objetivo principal de este capítulo es explicar detalladamente el uso de la aplicación en conjunto con las guías de experiencias para alumnos, diseñadas en paralelo al desarrollo de la aplicación por el ayudante Carlos Madariaga, asistido por Juan Pinto y los integrantes del proyecto de Innovación Docente.

6.1 Introducción y Campos Vectoriales

La guía de trabajo de la Figura 6-1 está diseñada para ser desarrollada en parejas. Contiene cinco preguntas, de las cuales dos requieren principalmente de EIElectro RA como apoyo. Las otras preguntas están muy relacionadas a los conceptos presentados en la aplicación, pero sobre todo requiere del análisis de los conceptos de campos vectoriales, explicados tanto en la cátedra como en la ayudantía de la asignatura.

LILLING, LILLOUN	ignetismo		CATOLICA
Sesión 1: Intro	Jucción y Campos Vectoriales		
	Nombre y Apellido	RUT	
integrante 1			
Integrante 2			
Los kits desmaat calificat: Los prin que mil- minutos, experimo montorial- En esta a entrada- queda- Al final que dela montorial- se lo enregurá a pue debe utilizar abjado en su infor- magnétic apuntan .	experimentales delen ser tratador ou mineran, derival, prens o dengan error quine ministra de esta serial cuila la construiente altra discider en la que au la construiente altra discider en la que au la deles ser relativa en una hara da ministra parte settina las parte páticias ministra parte estilatar los apartes físicos en parte desarrolle parte páticias. La la sesia cada grupo delerá entreger s un estetido presento en artellos presentos en parte desarrolle da experimente, los cada grupos el pines de estre estador esta parte desarrolle este este esta esta de arte esta esta esta esta de esta de esta	a el mismo carillo con el que a cerigiulación a la resulución de un c leigna alchas autónic. Larges, duran linga a dicha sentini. Larges, duran mans necesarias en el ambiento de la en lo cual incluivo el underanismis s que tomó en cátedra, tanto para re una guías de trabajo denarrollada, en asistente en una estructura delgada a mapiénto provocado por un insino re hiberro en un ungorfício de opalina, primera inspectíca, gundem determ recen que se debe?	e contrayeron. e contrayeron. ará de leno os manos nontral de entraste le majoratora. Lo partimente de la solver el contral ientras que la oti le madera y opala tampita cerámin rea, delos seguita las lineas de cam intar en qué senti

Figura 6-1: Portada de la sesión; Introducción y Campos Vectoriales.

Como primera inspección, se recomienda leer las instrucciones y observaciones que se muestran en la Figura 6-2. La experiencia de laboratorio se realiza en una "hora clase", equivalente a 45 minutos, posterior al test de entrada que solo toma 15 minutos y que mide el estudio previo a la experiencia. Luego, los ayudantes de la asignatura proceden a explicar la sesión y los materiales con que se cuenta en el laboratorio. Finalmente, y antes de comenzar, se recomienda a cada alumno instalar la aplicación EIElectro RA desde la Play Store de Google, la cuál servirá como apoyo en contenido y visualización en tres dimensiones.

Instrucciones y observaciones iniciales

- El trabajo en esta sesión de ayudantía debe hacerse en parejas. Aquel sujeto que intente trabajar cual llanero solitario será desterrado de las tierras de ayudantía, inapelablemente.
- Los kits experimentales deben ser tratados con el mismo cariño con el que se construyeron. El desmantelamiento, destrucción, quema o desaparición cuántica del material impactará de lleno en la calificación final de la sesión.
- Los primeros quince minutos de esta sesión están estipulados a la resolución de un control de entrada, que mide los conocimientos iniciales con los que se llega a dicha sesión. Luego, durante los siguientes 15 minutos, se revisarán brevemente las prácticas mínimas necesarias en el ambiente de laboratorio. La parte experimental debe ser realizada en una hora clase, lo cual incluye el ordenamiento pertinente de los materiales entregados.
- En esta ayudantía puede utilizar los apuntes físicos que tomó en cátedra, tanto para resolver el control de entrada como para desarrollar la parte práctica.
- Al final de la sesión cada grupo deberá entregar una guía de trabajo desarrollada, mientras que la otra quedará para estudio personal.

Figura 6-2: Ítem de instrucciones de la sesión "Introducción y Campos Vectoriales".

Como muestra la Figura 6-3, a cada pareja se le entrega una caja delgada de madera y opalina, que en su interior contiene un imán cerámico rectangular. Luego, se dispone a arrojar virutilla de hierro en la superficie para visualizar el fenómeno físico real y se procede a responder las preguntas del punto a.

Representación y análisis de un campo magnético Se le entregará a cada grupo el primer kit experimental, consistente en una estructura delgada de madera y opalina que debe utilizarse para visualizar correctamente el campo magnético provocado por un imán rectangular cerámico, alojado en su interior, a través de la disposición de virutilla de hierro en su superficie. Para dicha tarea, deben seguirse las instrucciones especificadas por el señor ayudante. a. En un campo magnético como el que deben haber obtenido en la superficie de opalina, las líneas de campo magnético deben ir de polo norte a polo sur. En una primera inspección, ¿pueden determinar en qué sentido apuntan las líneas de campo mostradas? ¿Esto a qué creen que se debe?

Figura 6-3: Primera pregunta de la sesión "Introducción y Campos Vectoriales".

En un principio, como es de suponer que los estudiantes recién empiezan a comprender los conceptos iniciales de la asignatura de Electromagnetismo, los alumnos no deberían tener conocimiento de los campos magnéticos y, por lo tanto, no tendrían los conocimientos de las

convenciones y/o no sabrían en qué sentido apuntan las líneas de campo. La virutilla de hierro tampoco lo permite, ya que se estas se polarizan según el magnetismo más cercano.

El experimento se puede visualizar en la Figura 6-4. Si los alumnos son capaces de razonar de esta forma, o de forma similar, se tiene aprobado el primer ítem.



Figura 6-4: Experiencia de laboratorio: Campo magnético producido por un imán cerámico.

Sin embargo, para la siguiente pregunta (Figura 6-5) se requiere usar la experiencia de "Campos Magnéticos" de EIElectro RA, para comprender el concepto ideal y saber qué es lo que ocurre realmente en tres dimensiones. En la superficie de opalina se puede visualizar solo el fenómeno en dos dimensiones debido al plano de la virutilla.

b. Apoyándose en la aplicación ElElectro, a través de la cual puede apreciarse que el dipolo tiende a mover cargas con cierta dirección, responda ¿A qué cree que se debe el sentido de dicho flujo?

Figura 6-5: Pregunta conceptual que requiere de EIElectro RA, Campos Vectoriales.

Para este punto se ha diseñado el Marcador de la Figura 6-6, el cual será la nueva superficie de la caja. El diseño del Marcador hace referencia al fenómeno análogo que ocurriría con las líneas de campo eléctricas entre múltiples cargas positivas y cargas negativas en esa misma configuración.



Figura 6-6: Marcador de RA para proyectar la experiencia "Campos Magnéticos" de EIElectro RA.

La visualización aumentada de la experiencia se muestra en la Figura 6-7. En ella se puede ver el flujo animado de las líneas de campo desde el polo norte al polo sur, programado de la misma forma que el imán permanente de la Figura 5-37. Estas dos animaciones se pueden ver con la misma escena de "Campos Magnéticos", solo basta que el dispositivo móvil reconozca los patrones para poder proyectarlo de forma práctica en RA.



Figura 6-7: Animación de las líneas de campo magnéticas, vistas desde el Editor de Unity.

En el siguiente ítem (Figura 6-8) se requiere dibujar, evaluando previamente, las proyecciones horizontal y vertical del vector campo magnético. Como primera inspección, estas funciones dependen de dos variables y parecen complejas a simple vista, pero requiere que los estudiantes enfrenten a este tipo de expresiones, consideradas básicas para el estudio del electromagnetismo.

c. Suponga que, por un momento, el campo magnético obtenido puede representarse, en la curva de nivel pertinente, mediante las siguientes expresiones (las constantes espaciales están en milímetros:

$$B_x = \frac{1}{\sqrt{(x-3)^2 + y^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x+3)^2 + y^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x-3)^2 + (y-1)^2}} + \frac{1}{\sqrt{(x+3)^2 + (y-1)^2}}$$
$$B_y = \frac{(x+3)}{y \cdot \sqrt{(x-3)^2 + y^2}} - \frac{(x-3)}{y \cdot \sqrt{(x+3)^2 + y^2}} - \frac{1}{(y-1)} \cdot \left\{ \frac{(x+3)}{\sqrt{(x-3)^2 + (y-1)^2}} + \frac{(x-3)}{\sqrt{(x+3)^2 + (y-1)^2}} \right\}$$

Determinen en qué lugar físico de la superficie de opalina se encuentra el origen, realizando un dibujo que lo muestre detalladamente en el siguiente recuadro. Utilice EIElectro RA como apoyo. Evalúe pertinentemente el campo \vec{B} y explique a qué se deben los cambios en los valores mostrados en la aplicación.

Dibujo:

Figura 6-8: Ejercicio analítico que requiere de EIElectro RA como apoyo en Campos Vectoriales.

Para este problema, como apoyo, se ha añadido en el apartado de "Herramientas" de EIElectro RA una calculadora especial (Figura 6-9) que sirve para evaluar justamente las dos expresiones planteadas en la Figura 6-8. Esta calculadora está programada en lenguaje C#, usando el modo 2D de Unity, y funciona de forma muy sencilla usando la pantalla táctil del smartphone para ingresar cualquier valor numérico en la aplicación.



Figura 6-9: Calculadora especial para evaluar Bx y By en la aplicación EIElectro RA.

Los siguientes ítems de la experiencia "Introducción y Campos Vectoriales" no requieren de EIElectro RA ya que se establece un análisis más avanzado, usando los conceptos estudiados previamente, para que los alumnos enfrenten contenido y expresiones más complejas.

6.2 Jaula de Faraday

Esta guía de trabajo esta diseñada para ser desarrollada en parejas (Figura 6-10). Contiene diez preguntas, de las cuales dos requieren principalmente de EIElectro RA como apoyo. Las otras preguntas están muy relacionadas a los conceptos presentados en la aplicación.

EIE267, Electron	nagnetismo	CATOLICAD
Sesión experin	nental: Jaula de Faraday	
	Nombre y Apellido	RUT
Integrante 1		
Integrante 2		
mide los	and a star to start at a second	
en uma h en trada entrada: Al final d Conceptos inic Se le entregará a siguiera utilizar i has visto en cátec a. ¿Cuál es tales?	concentention incluies con los que se llega a del concentrates, los con llega de los densitivos pertinenes como para o desarrollar la parte práctica. le la sectión cada grupo deberá entregar una guía de itales cada grupo un super papeloro destromagnético, los defecto májóro, en necesario que contextes la tra. la autilidad de una Jaula de Faraday? «Qué objete	to sesión. La parte experimental debe ser realizad tomó en ciledra, tanto para resolver el control (e trabajo desarrollada. construido con malla metálica en leuto. Antes a siguientes preguntar teórica, bandas en lo qu o de la vida cotidiana podrían configurarse con
en nuch an en nuch an en rata a en rata a en rata a conceptos inicar siguiera utilizar havisto en claes a. ¿Cuál es talee? Objeto 1 Objeto 1	conocimento incide con los que se llega a del constructione por los denaminations perfision en calca, lo cen di llego el ordenamistico perfision como para desarrollar la parte privitica. le la sestito cada grupo deberá entregar una guía de cada grupo un super papeloro electromagnético, a da ardento mágico, es necesario que contexte la la durídeto mágico, es necesario que contexte la la utilidad de una Janla de Faraday? ¿Qué objeto	a sasión. La parte coperimental debe ser realizad te de los materiales autregados. Tomó en ciadara, tanto para resolver el control (e irabajo desarrollada. Construido con malla metálica en bruto. Antes e siguientes preguntas téóricas, basadas en lo qu o de la vida cotidiana podrían configurarse con

Figura 6-10: Portada de la sesión; Jaula de Faraday.

De la misma forma que la sesión anterior, la guía de la experiencia "Jaula de Faraday" cuenta con instrucciones y observaciones iniciales (Figura 6-11). En un comienzo se dispone de 10 minutos para desarrollar el test que mide los conocimientos previos a la experiencia, y la parte experimental se debe realizar en los siguientes 45 minutos.

Instrucciones y observaciones iniciales

- El trabajo en esta sesión de ayudantía debe hacerse en parejas. Aquel sujeto que intente trabajar cual llanero solitario será desterrado de las tierras de ayudantía, inapelablemente.
- Los kits experimentales deben ser tratados con el mismo cariño con el que se construyeron. El desmantelamiento, destrucción, quema o desaparición cuántica del material impactará de lleno en la calificación final de la sesión.
- Los primeros diez minutos de esta sesión están estipulados a la resolución de un control de entrada, que mide los conocimientos iniciales con los que se llega a dicha sesión. La parte experimental debe ser realizada en una hora clase, lo cual incluye el ordenamiento pertinente de los materiales entregados.
- En esta ayudantía puede utilizar los apuntes físicos que tomó en cátedra, tanto para resolver el control de entrada como para desarrollar la parte práctica.
- Al final de la sesión cada grupo deberá entregar una guía de trabajo desarrollada.

Figura 6-11: Ítem de instrucciones de la sesión "Jaula de Faraday".

Para estar experiencia de laboratorio, cada pareja recibe un papelero con malla metálica, y luego pueden comenzar a responder las preguntas conceptuales como muestra la Figura 6-12.



Figura 6-12: Primera pregunta conceptual de la sesión "Jaula de Faraday"

La aplicación EIElectro RA puede servir como apoyo en el ítem de "Repaso: Análisis de las cargas y sus elementos" de la Figura. Los grupos de estudiantes pueden ver el contenido multimedia de la experiencia de RA "Campos Eléctricos", específicamente, los vídeos de introducción explicados en audio en español por "El Universo Mecánico" (Capítulo 5, Figura 5-39). Estos vídeos son de corta duración, y en ellos se explican con recomendadas animaciones los conceptos de cargas eléctricas, campos eléctricos y potencial electrostático. De esta forma pueden proceder a definir con sus propias palabras y a responder la pregunta de la Figura 6-13:

n: Análisis de las cargas y sus elementos.
Defina con sus palabras, que es una carga eléctrica, campo eléctrico y potencial electrostático. Puede utilizar EIElectroAR para obtener alguna referencia.
E

Figura 6-13: Pregunta conceptual que requiere de EIElectro RA como apoyo, Jaula de Faraday.

Para la siguiente pregunta se requiere de la experiencia de "Cargas Eléctricas" de EIElectro RA. Como se muestra en la Figura 6-14, los estudiantes deben definir una configuración de cargas, usando los Marcadores y los conceptos aprendidos, en la que el campo eléctrico entre ellos sea igual a cero.

obtener un campo elé	ctrico E=0? Ju	stinque			
Explicación:					

Figura 6-14: Ejercicio que requiere de EIElectro RA, Jaula de Faraday.

En esta experiencia de RA los estudiantes visualizarán el campo eléctrico producido por una carga positiva por si sola, una carga negativa, o lo que ocurre con cargas opuestas o iguales en tres dimensiones y en tiempo real (como se muestra en la Figura 5-35). Aunque lo importante es justificar correctamente con la ley de Coulomb, es necesario que los grupos comprendan bien este concepto antes de pasar al experimento principal de la Jaula de Faraday usando el papelero.

Los siguientes ítems de la experiencia "Jaula de Faraday" no se requiere de EIElectro RA ya que se establece un análisis más avanzado, usando los conceptos estudiados previamente, para que los alumnos enfrenten contenido y expresiones más complejas.

Discusión y conclusiones

Con la implementación docente de herramientas como la realidad aumentada, se pretende avanzar en la incorporación de prácticas innovadoras en las aulas sobre un andamiaje pedagógico que, en conjunto con modelos constructivistas y conectivistas, favorecerán los aprendizajes. Aunque para ello, es necesario realizar previamente verdaderas adaptaciones de tipo metodológicas, didácticas, curriculares, organizativas, temporales, espaciales y formativas del profesorado.

Según las demandas actuales y futuras de la educación, y los nuevos modelos de aprendizaje del alumnado de esta nueva era digital, el profesorado siempre tratará de aprovechar al máximo el potencial que nos ofrecen los medios tecnológicos e incorporarlos a las aulas.

Bajo estos nuevos entornos de aprendizaje, el alumnado adquiere mayor protagonismo logrando un desarrollo de competencias basados en el descubrimiento, la investigación, la exploración y la construcción del conocimiento de forma autónoma, colaborativa, creativa y reflexiva.

En estos contextos de "aprendizajes aumentados", se espera que los estudiantes estén más motivados para participar en el proceso de aprendizaje, al tratarse de actividades más interactivas, flexibles, dinámicas, versátiles y en las que el discente puede experimentar y manipular diversas situaciones.

Incluir estas tecnologías en el trabajo diario de las aulas no es una decisión sencilla. Como se ha visto existen muchas opciones, muchas posibilidades y algunas dificultades que requieren ser resueltas en el camino. Se cree que aún falta más exploración del uso de la RA como tecnología actual, como también falta compatibilidad entre programas y desarrolladores que permitan compartir sus conocimientos.

Se recomienda a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la PUCV a estar siempre a la vanguardia de la tecnología, y a estar siempre dispuestos a enfrentar nuevos desafíos en el ámbito educativo, con mayor razón, si existen buenos resultados a nivel mundial que lo avalan. Si los alumnos y alumnas viven rodeados e inmersos en esta nueva cultura multimedia interactiva no se puede malgastar su uso en las aulas. De lo contrario se estará desaprovechando todas estas posibilidades y, más aún, se estará distanciando empáticamente de los intereses y motivaciones.

No obstante, no se trata de introducir por introducir más innovación en las aulas. La integración de estas nuevas tecnologías implica construcción de aprendizajes colectivos y, por lo tanto, exige una planificación rigurosa. No se pueden desarrollar competencias si no hay contenidos planificados. Por lo tanto, la inclusión de estas nuevas herramientas ha de orientarse también a fortalecer las competencias básicas de toda la vida.

Para este proyecto se ha logrado desarrollar una aplicación interactiva con herramientas gratuitas. La programación que se ha empleado no ha sido tan compleja, debido a que un programador se ahorra bastante líneas de códigos con las bondades que ofrece Unity en conjunto con Vuforia. Esto permite que la implementación de aplicaciones como esta no requieran de mucho tiempo por parte de un programador entendido en lenguajes C# o JavaScript.

En cuanto a las dificultades técnicas, si los diseños que se buscan para este tipo de proyectos son muy complejos, esto puede dedicar demasiado tiempo para un solo desarrollador, por lo que se recomienda la intervención de un diseñador gráfico o de animaciones 3D. El trabajo del desarrollador se puede complicar aún más si los scripts no logran manipular correctamente el comportamiento de los modelos 3D.

Con respecto al trabajo realizado, los nuevos efectos de partículas y el estilo retro de las experiencias llaman mucho la atención de los usuarios. Además, de forma continua, se sigue investigando en foros de Unity por códigos, funciones desconocidas e interrogantes que se hacen al momento de programar animaciones más complejas. Llevar los modelos a la realidad es todo un reto, tanto para un diseñador 2D/3D, como para un programador.

Con respecto a las guías de experiencias, las guías actuales abarcan la teoría, ejercicios, experiencias de laboratorio y de RA para la asignatura de Electromagnetismo, por lo tanto, se esperaría que los estudiantes mejoren su motivación y su rendimiento de alguna forma. Los resultados de esta evaluación se verán reflejados a finales del segundo semestre del 2018, para comparar entre un antes y un después del uso de la tecnología de RA, y de todos los cambios que se realizaron desde el inicio del proyecto de innovación docente.

Como proyección a futuro, se recomendaría agregar experiencias más didacticas y enriquecedoras que abarquen otros tópicos del electromagnetismo, tal vez de otras áreas de la física, o para toda asignatura con contenidos abstractos muy elevados. Adicionalmente, en este proyecto se creó la organización "EIE PUCV" que se encuentra disponible en Play Store de Android, la cual podría ser muy útil para empezar a añadir diferentes tipos de aplicaciones móviles gratuitas, y diseñadas por y para estudiantes de pregrado/posgrado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la PUCV.

Bibliografía

- [1] P. B. Crilly, A novel approach to teaching an undergraduate electromagnetics, antennas and propagation course, Norwich University, 2013.
- [2] Y. J. Dori y J. Belcher, How Does Technology-Enabled Active Learning Affect Undergraduate Students' Understading of Electromagnetism Concepts?, vol. 14, Journal of the Learning Sciences, 2005, pp. 243-279.
- [3] C. E. Wieman, W. Adams y K. K. Perkins, PhET: Simulations That Enhance Learning, vol. 322, Science, 2008, pp. 682-683.
- [4] M. Papastergiou, Digital Game-Based Learning in high school Computer Science education: Impact on educational effectiveness and student motivation, vol. 52, Computers & Education, 2009, pp. 1-12.
- [5] J. Anderson y M. Barnett, Learning Physics with Digital Game Simulations in Middle School Science, vol. 22, Journal of Science Education and Technology, 2013, pp. 914-926.
- [6] K. Squire, M. Barnett, J. M. Grant y T. Higginbotham, Electromagnetism Supercharged!: Learning Physics with Digital Simulation Games, CA-USA: Proc. of the 6th international conference on Learning sciences, 2004, pp. 513-520.
- [7] M. Blanca Ibáñez, Á. Di Serio, D. Villarán y C. Delgado Kloos, Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness, vol. 71, España: Departamento de Ingeniería Telemática, Universidad Carlos III de Madrid, 2014, pp. 1-13.
- [8] [En línea]. Available: https://simetrias3d.wordpress.com/2016/12/01/realidadaumentada-ra/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].

- [9] [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Charles_Woodward3/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [10] [En línea]. Available: https://www.bnext.com.tw/article/44363/snapchat-works-with-televisions-to-create-original-content/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [11] [En línea]. Available: https://blog.ezofficeinventory.com/qrcode-vs-barcode-issuespractices-and-recommedations/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [12] [En línea]. Available: https://pt.slideshare.net/JuliaGrosman1/ashley-crowder-ar-vs-vrwhats-the-big-differenceone-is-social/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [13] [En línea]. Available: https://ordina-jworks.github.io/iot/2017/12/20/Virtual-Reality.html.
 [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [14] [En línea]. Available: http://fortune.com/2016/10/12/microsoft-hololens-goes-global/ .
 [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [15] [En línea]. Available: https://www.eonreality.com/press-releases/eon-reality-launcheseon-creator-avr-a-do-it-yourself-augmented-and-virtual-reality-knowledge-contentcreation-application-for-teachers-and-students/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [16] G. Kurubacak y H. Altinpulluk, Mobile Technologies and Augmented Reality in Open Education, Hershey, USA: IGI Global, 2017.
- [17] S. Somyurek, Gaining the attention of generation Z in learning process: Augmented reality. Egitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama, 2014, pp. 63-80.
- [18] E. Klopfer y S. Yoon, Developing games and simulations for today and tomorrow's tech savvy youth. TechTrends, 2004, pp. 41-49.
- [19] S. Yuen, G. Yaoyuneyong y E. Johnson, Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. Journal of Educational Technology Development and Exchange, 2011, p. 119–140.
- [20] Z. Zhou, A. D. Cheok y J. Pan, 3D story cube: An interactive tangible user interface for storytelling with 3D graphics and audio. Personal and Ubiquitous Computing, 2004, p. 374– 376.
- [21] A. Duenser y E. Hornecker, An observational study of children Interacting with an augmented story book. In Proceedings of 2nd International Conference of E-Learning and Games (Edutainment 2007). CUHK, Hong Kong, 2007.

- [22] J. C. Lester, S. A. Converse, S. E. Kahler, S. T. Barlow, B. A. Stone y R. S. Bhogal, The persona effect: affective impact of animated pedagogical agents. Proceedings of conference on human factors in computing systems, 1997, pp. 359-366.
- [23] S. Oh y W. Woo, ARGarden: Augmented edutainment system with a learning companion. Transactions on Edutainment I Lecture Notes in Computer Science, 2008.
- [24] R. Wojciechowski y W. Cellary, Evaluation of learners attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. Computers & Education, 2013, p. 570–585.
- [25] J. A. Delello, Insights from pre-service teachers using science-based augmented reality. Journal of Computers in Education, USA: Springer, 2014, pp. 295-311.
- [26] S. Fleck y G. Simon, An augmented reality environment for astronomy learning in elementary grades: An exploratory study. Paper presented at 25ème confèrence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Bordeaux, France, 2013.
- [27] E. Ibili y S. Sahin, Investigation of the effects on computer attitudes and computer selfefficacy to use of augmented reality in geometry teaching. Necatibey Faculty of Education, Electronic Journal of Science and Mathematics Education, 2015, pp. 332-350.
- [28] L. Kerawalla, R. Luckin, S. Seljeflot y A. Woolard, Making it real: Exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. Virtual Reality (Waltham Cross), 2006, p. 163–174.
- [29] S. Kučuk, R. M. Yılmaz y Y. Goktas, Augmented reality for learning english: Achievement, attitude and cognitive load levels of students. Education and Science, 2014, p. 393–404.
- [30] H. L. O'Brien y E. G. Toms, Engagement as process in computer mediated environments. Paper presented at ASIS&T, Charlotte, USA, 2005.
- [31] D. P. López y M. Contero, Delivering educational multimedia contents through an augmented reality application: A case study on its impact on knowledge acquisition and retention. Turkish Online Journal of Educational Technology, 2013, p. 19–28.
- [32] D. D. Sumadio y D. R. A. Rambli, Preliminary evaluation on user acceptance of the augmented reality use for education. Proceedings of Second International Conference on Computer Engineering and Applications, 2010, p. 461–465.
- [33] Á. D. Serio, M. B. Ibáñez y C. D. Kloos, Impact of an augmented reality system on students motivation for a visual art course. Computers & Education, 2013, p. 586–596.

- [34] A. Taşkıran, E.Koral y A. Bozkurt, Artırılmış gerçeklik uygulamasının yabancı dil eğitiminde kullanılması. Paper presented at Akademik Bilişim 15, Eskişehir, Turkey, 2015.
- [35] A. B. Tomi y D. R. A. Rambli, An interactive mobile augmented reality magical playbook: Learning number with the thirsty crow. Procedia Computer Science, 2013, p. 123–130.
- [36] J. C. Yen, C. H. Tsai y J. Y. Wang, The effects of augmented reality on students moon phases concept learning and their conceptual changes of misconception. Paper presented at 2012 International Conference on Business and Information, Sapporo, Japan, 2012.
- [37] R. T. Azuma, Overview of augmented reality. Proceeding of SIGGRAPH '04, USA, 2004.
- [38] K. R. Bujak, I. Radu, R. Catrambone, B. MacIntyre, R. Zheng y G. Golubski, A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom. Computers & Education, USA: ELSEVIER, 2013, pp. 536-544.
- [39] M. Ivanova y G. Ivanov, Enhancement of learning and teaching in computer graphics through marker augmented reality technology. International Journal on New Computer Architectures and Their Applications, 2011, p. 176–184.
- [40] H.-K. Wu, S. W.-Y. Lee, H.-Y. Chang y J.-C. Liang, Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. Computers & Education, 2013, p. 41–49.
- [41] M. S. Abdusselam, Fizik öğretiminde artırılmış gerçeklik ortamlarının kullanımlarına ilişkin öğretmen ve öğrenci görüşleri: 11. Sınıf manyetizma konusu örneği, Turkey: Pegem Eğitim ve Öğretim Dergisi, 2014, pp. 59-74.
- [42] S. Cai, X. Wang y F.-K. Chiang, A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. Computers in Human Behavior, USA: ELSEVIER, 2014, pp. 31-40.
- [43] H. Kaufmann, Collaborative augmented reality in education. Institute of Software Technology and Interactive Systems, Vienna University of Technology, 2003.
- [44] M. Núñez, R. Quirós, I. Núñez, J. B. Carda y E. Camahort, Collaborative augmented reality for inorganic chemistry education. Paper presented at 5th WSEAS / IASME International Conference on Engineering Education (EE'08), Heraklion, Greece, 2008.
- [45] E. Rosenbaum, E. Klopfer y J. Perry, On location learning: Authentic applied science with networked augmented realities. Journal of Science Education and Technology, 2006, pp. 31-45.

- [46] B. E. Shelton y N. R. Hedley, Using augmented reality for teaching earth-sun relationships to undergraduate geography students. Paper presented at The First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, Darmstadt, Germany, 2002.
- [47] B. E. Shelton y R. Stevens, Using coordination classes to interpret conceptual change in astronomical thinking. Paper presented at 6th International Conference for the Learning Sciences, Santa Monica, USA, 2004.
- [48] K. Tian, M. Endo, M. Urata, K. Mouri y T. Yasuda, Multi-viewpoint smartphone AR-based learning system for astronomical observation. International Journal of Computer Theory and Engineering, 2014, p. 396–400.
- [49] J. C. Yen, C. H. Tsai y M. Wu, Augmented reality in the higher education: Students science concept learning and academic achievement in astronomy. Procedia: Social and Behavioral Sciences, 2013, p. 165–173.
- [50] S. Fleck, M. Hachet y J. M. Bastien, Marker-based augmented reality: Instructional-design to improve children interactions with astronomical concepts. Paper presented at 14th International Conference on Interaction Design and Children, New York, USA, 2015.
- [51] M. S. Abdusselam y H. Karal, Fizik öğretiminde artırılmış gerçeklik ortamlarının öğrenci akademik başarısı üzerine etkisi: 11. Sınıf manyetizma konusu örneği. Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi, Turkey, 2012, pp. 170-181.
- [52] Y. Ozarslan, The effect of augmented reality enhanced learning materials on learners' achievement and learners' satisfaction (Unpublished Doctoral Dissertation). Anadolu University, Eskischir, Turkey, 2013.
- [53] E. Tosik-Gün, Effects of augmented reality applications on students spatial ability (Unpublished Master Thesis). Gazi University, Ankara, Turkey, 2014.
- [54] Z. Bai, A. F. Blackwell y G. Coulouris, Through the looking glass: Pretend play for children with autism. IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2013, Adelaide, Australia, 2014, pp. 49-58.
- [55] H. Cai, Using augmented reality as motivators for youth environmental education: An American Harts's tongue fern conservation project (Unpublished Master Thesis). State University of New York College of Environmental Science and Forestry, New York, USA, 2013.
- [56] M. Dunleavy, C. Dede y R. Mitchell, Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. Journal of Science Education and Technology, USA, 2009, pp. 7-22.

- [57] Z. Yusoff y H. M. Dahlan, Mobile based learning: An integrated framework to support learning engagement through Augmented Reality environment. Paper presented at 2013 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS), 2013.
- [58] P. S. Medicherla, G. Chang y P. Morreale, Visualization for increased understanding and learning using augmented reality. Paper presented at 11th ACM SIGMM International Conference on Multimedia Information Retrieval (MIR '10), Philadelphia, USA, 2010.
- [59] D. R. A. Rambli, W. Matcha y S. Sulaiman, Fun learning with AR alphabet book for preschool children. Procedia Computer Science, 2013.
- [60] M. M. Zarzuela, F. J. D. P. Pernas, L. B. Martínez, D. G. Ortega y M. A. Rodríguez, Mobile serious game using augmented reality for supporting childrens learning about animals. Procedia: Computer Science, 2013, p. 375–381.
- [61] A. Eursch, Increased safety for manual tasks in the field of nuclear science using the technology of augmented reality. Paper presented at 2007 IEEE Nuclear Science Symposium Conference, 2007.
- [62] M. Sırakaya y S. Seferoglu, Oğrenme ortamlarında yeni bir arac; Bir eğitlence uygulaması olarak artırılmış gerçeklik. In A. Işman, H. F. Odabaşı, & B. Akkoyunlu (Eds.), Eğitim teknolojileri okumaları 2016, Ankara, Turkey: Salmat Basım Yayıncılık, 2016, p. 417–438.
- [63] A. Buchau y W. M. Rucker, Computation of Three-Dimensional Electromagnetic Fields for an Augmented Reality Environment, Alemania: Institut für Theorie der Elektrotechnik, Universität Stuttgart, 2008.
- [64] E. Araya Poblete, Aprendizaje de la Química con Realidad Aumentada, Valparaíso, Chile: Escuela de Ingeniería Informática, PUCV, 2016.
- [65] [En línea]. Available: https://answers.unity.com/questions/1185396/augmented-realitytracking-2-objects-simultaneousl.html. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [66] [En línea]. Available: https://plus.google.com/collection/UzvGHE/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [67] «Vuforia,» [En línea]. Available: https://www.vuforia.com. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [68] [En línea]. Available: http://supernocleg.com/web-photoshop.html. [Último acceso: 17 Agosto 2018].

- [69] [En línea]. Available: https://www.aboutcg.com/19970.html. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [70] [En línea]. Available: https://galeri.uludagsozluk.com/r/blender-1562026/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [71] [En línea]. Available: http://foro.sketchando.net/viewtopic.php?f=8&t=7607/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [72] [En línea]. Available: https://blog.getinstacash.in/best-android-apps-to-make-most-out-of-android-phone/. [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [73] «EIElectroRA,»[Enlínea].Available:https://play.google.com/store/apps/details?id=com.EIEPUCV.EIElectroRA.[Últimoacceso: 17 Agosto 2018]....
- [74] J. Peddie, Augmented Reality: Where We Will All Live, USA: Springer, 2017.
- [75] J. Linowes y K. Babilinski, Augmented Reality for Developers, England: Packt, 2017.
- [76] E. Ibili, Development, implementation and assessment of the effect augmented reality on geometry teaching materials for geometry classes (Unpublished Doctoral Dissertation). Gazi University, Ankara, Turkey, 2013.
- [77] E. Ibili y S. Sahin, Artırılmış gerçeklik ile interaktif 3D geometri kitabı yazılımın tasarımı ve geliştirilmesi: ARGE3D. AKU⁻Fen ve Mu⁻hendislik Bilimleri Dergisi, 2015, pp. 1-18.

A Marcadores de EIElectro RA

A.1 Experiencia de RA: EIE Retro-TV



Figura A-1: Marcador de RA requerido para proyectar la experiencia "EIE Retro-TV".



A.2 Experiencia de RA: Campos Magnéticos (Imán permanente v1.0)

Figura A-2: Marcador de RA (tipo Cuboid) requerido para proyectar la experiencia "Campos Magnéticos".



A.3 Experiencia de RA: Campos Magnéticos (Superficie de opalina)

Figura A-3: Marcador de RA requerido para proyectar la experiencia "Campos Magnéticos".



Figura A-4: Posición recomendada del Marcador en la superficie de opalina.

A.4 Experiencia de RA: Cargas Eléctricas





Figura A-5: Marcadores de RA requeridos para proyectar la experiencia "Campos Eléctricas".

B Guías de experiencias para alumnos

B.1 Experiencia Nº1: Introducción y Campos Vectoriales

EIE267, Electrom	agnetismo	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAISC
Sesión 1: Intro	ducción y Campos Vectoriales	
	Nombre y Apellido	RUT
Integrante 1		
Integrante 2		
Instrucciones y	/ observaciones iniciales	
 El trabajo solitario s 	o en esta sesión de ayudantía debe hacerse en p a será desterrado de las tierras de ayudantía, inap	u rejas . Aquel sujeto que intente trabajar cual llaner elablemente.
 Los kits desmante calificació 	experimentales deben ser tratados con el elamiento, destrucción, quema o desaparición ón final de la sesión.	mismo cariño con el que se construyeron. E cuántica del material impactará de lleno en l
 Los prim que mide minutos, experime materiale 	eros quince minutos de esta sesión están esti e los conocimientos iniciales con los que se lleg se revisarán brevemente las prácticas mínimas ental debe ser realizada en una hora clase, l se entrecados	pulados a la resolución de un control de entrada ga a dicha sesión. Luego, durante los siguientes 1! necesarias en el ambiente de laboratorio. La part o cual incluye el ordenamiento pertinente de lo
materiat		
 En esta a entrada c 	yudantía puede utilizar los apuntes físicos qu como nara desarrollar la narte práctica	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d
 En esta a entrada c Al final c quedará j 	yudantía puede utilizar los apuntes físicos qu omo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una para estudio personal.	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr
 En esta a entrada c Al final o quedará j 	yudantia puede utilizar los apuntes físicos qu omo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una para estudio personal. n y análisis de un campo magnético	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr
En esta a entradac Al final c quedará Representació Se le entregará a alojado en su inte las instrucciones d	y undantía puede utilizar los apuntes físicos qu omo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una para estudio personal. n y análisis de un campo magnético cada grupo el primer kit experimental, consiste se para visualizar correctamente el campo magr rior, a través de la disposición de virutilla de hie especificadas por el señor ayudante.	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr nte en una estructura delgada de madera y opalin ético provocado por un imán rectangular cerámico rro en su superficie. Para dicha tarea, deben seguirs
 En esta a entrada c quetará p Al final d quedará p Representació Se le entregará a que debe utilizara alojado en su inte las instrucciones d a. En un ca magnétic apuntan l 	yulantia puede utilizar los apuntes físicos qu omo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una s para estudio personal. n y análisis de un campo magnético cada grupo el primer kit experimental, consiste se para visualizar correctamente el campo magn rior, a través de la disposición de virutilla de hie especificadas por el señor ayudante. mpo magnético como el que deben haber obter o deben ir de polo norte a polo sur. En una prim las líneas de campo mostradas? ¿Esto a qué creer	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr nte en una estructura delgada de madera y opalin ético provocado por un imán rectangular cerámico rro en su superficie. Para dicha tarea, deben seguirs uido en la superficie de opalina, las líneas de camp- nera inspección, ¿pueden determinar en qué sentido a que se debe?
 En esta a entrada c al final c quedará Representació Se le entregará a que debe utilizar alojado en su inte las instrucciones c a. En un ca magnétic apuntan l 	yudantia puede utilizar los apuntes físicos qu iomo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una para estudio personal. n y análisis de un campo magnético cada grupo el primer kit experimental, consiste se para visualizar correctamente el campo magn rior, a través de la disposición de virutilla de hie especificadas por el señor ayudante. mpo magnético como el que deben haber obter o deben ir de polo norte a polo sur. En una prin las líneas de campo mostradas? ¿Esto a qué creer	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr nte en una estructura delgada de madera y opalin lético provocado por un imán rectangular cerámico rro en su superficie. Para dicha tarea, deben seguirs ido en la superficie de opalina, las líneas de camp tera inspección, ¿pueden determinar en qué sentido n que se debe?
 En esta a entrada c Al final é quedará j Representació Se le entregará a que debe utilizara alojado en su inte las instrucciones e a. En un ca magnétic apuntan l 	yudantia puede utilizar los apuntes físicos qu omo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una s para estudio personal. n y análisis de un campo magnético cada grupo el primer kit experimental, consiste se para visualizar correctamente el campo magn rior, a través de la disposición de virutilla de hie especificadas por el señor ayudante. mpo magnético como el que deben haber obter o deben ir de polo norte a polo sur. En una prin las líneas de campo mostradas? ¿Esto a qué creen	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr nte en una estructura delgada de madera y opalin ético provocado por un imán rectangular ceránico rro en su superficie. Para dicha tarea, deben seguirs ido en la superficie de opalina, las líneas de camp- nera inspección, ¿pueden determinar en qué sentido a que se debe?
 En esta a entrada c al final c quedará j Representació Se le entregará a que debe utilizar alojado en su inte las instrucciones « a. En un can magnétic apuntan l 	yudantia puede utilizar los apuntes físicos qu omo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una p para estudio personal. n y análisis de un campo magnético cada grupo el primer kit experimental, consiste se para visualizar correctamente el campo magn rior, a través de la disposición de virutilla de hie especificadas por el señor ayudante. mpo magnético como el que deben haber obter o deben ir de polo norte a polo sur. En una prin las líneas de campo mostradas? ¿Esto a qué creer	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr nte en una estructura delgada de madera y opalin ético provocado por un imán rectangular cerámico rro en su superficie. Para dicha tarea, deben seguirs ido en la superficie de opalina, las líneas de camp tera inspección, ¿pueden determinar en qué sentido n que se debe?
En esta a entrada c Al final c quedará y Representació Se le entregará a que debe utilizara alojado en su inte las instrucciones o a. En un ca magnétic apuntan l	yulantia puede utilizar los apuntes físicos qu omo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una s para estudio personal. n y análisis de un campo magnético cada grupo el primer kit experimental, consiste se para visualizar correctamente el campo magn rior, a través de la disposición de virutilla de hie especificadas por el señor ayudante. mpo magnético como el que deben haber obter o deben ir de polo norte a polo sur. En una prin las líneas de campo mostradas? ¿Esto a qué creen	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr nte en una estructura delgada de madera y opalin ético provocado por un imán rectangular cerámico rro en su superficie. Para dicha tarea, deben seguirs ido en la superficie de opalina, las líneas de camp nera inspección, ¿pueden determinar en qué sentido n que se debe?
 En esta a entrada c Al final c quedará j Representació Se le entregará a que debe utilizar alojado en su inte las instrucciones s a. En un ca magnétic apuntan l 	yudantia puede utilizar los apuntes físicos qu omo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una j para estudio personal. n y análisis de un campo magnético cada grupo el primer kit experimental, consiste se para visualizar correctamente el campo mag rior, a través de la disposición de virutilla de hie especificadas por el señor ayudante. mpo magnético como el que deben haber obter o deben ir de polo norte a polo sur. En una prin las líneas de campo mostradas? ¿Esto a qué creen	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr nte en una estructura delgada de madera y opalin ético provocado por un innán rectangular ceránico rro en su superficie. Para dicha tarea, deben seguirs ido en la superficie de opalina, las líneas de camp nera inspección, zpueden determinar en qué sentid a que se debe?
En esta a entrada c Al final c quedará j Representació Se le entregará a que debe utilizar alojado en su inte las instrucciones « a. En un ca magnétic apuntan l	yudantia puede utilizar los apuntes físicos qu omo para desarrollar la parte práctica. le la sesión cada grupo deberá entregar una ; para estudio personal. n y análisis de un campo magnético cada grupo el primer kit experimental, consiste se para visualizar correctamente el campo magn rior, a través de la disposición de virutilla de hie especificadas por el señor ayudante. mpo magnético cono el que deben haber obter o deben ir de polo norte a polo sur. En una prin las líneas de campo mostradas? ¿Esto a qué creer	e tomó en cátedra, tanto para resolver el control d guía de trabajo desarrollada, mientras que la otr nte en una estructura delgada de madera y opalin ético provocado por un imán rectangular cerámico rro en su superficie. Para dicha tarea, deben seguirs ido en la superficie de opalina, las líneas de camp tera inspectío, ¿pueden determinar en qué sentido n que se debe?

Figura B-1: Primera página de la experiencia "Introducción y Campos Vectoriales".



Figura B-2: Segunda página de la experiencia "Introducción y Campos Vectoriales".



Figura B-3: Tercera página de la experiencia "Introducción y Campos Vectoriales".



Figura B-4: Cuarta página de la experiencia "Introducción y Campos Vectoriales".

Ayudantía ElE267, Electromagnetismo



d. Supongan, ahora, que no conocen la expresión matemática que representa el campo visualizado, y que un matemático le sugiere tres posibles expresiones -todas ellas centradas entre ambos polos magnéticos-. Ustedes deben determinar cuál de dichas expresiones se ajusta de mejor manera a lo mostrado mediante las virutas de hierro, fundamentando adecuadamente la elección. *Hint: evalúe en puntos de interés.*

Expresión 1:

$$\vec{B}_1 = \left(\frac{x + 0.03}{[(x + 0.03)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}} + \frac{0.03 - x}{[(x - 0.03)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}}\right)\hat{i} + \left(\frac{y}{[(x + 0.03)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}} - \frac{y}{[(x - 0.03)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}}\right)\hat{j}$$

Expresión 2:

 $\vec{B}_2 = \nabla \left(x \cdot e^{555.56 \left[-x^2 - y^2 \right]} \right)$

Expresión 3:

$$ec{B}_3 = \left[ext{sen} \left(rac{\pi}{2} \cdot y
ight)
ight] \cdot \hat{\imath} + \left[0.03 - ext{sen} \left(rac{\pi}{2} \cdot x
ight)
ight] \cdot j$$



Figura B-5: Quinta página de la experiencia "Introducción y Campos Vectoriales".



Figura B-6: Sexta página de la experiencia "Introducción y Campos Vectoriales".



Figura B-7: Séptima página de la experiencia "Introducción y Campos Vectoriales".

B.2 Experiencia	ı Nº2: Jaı	ula de Fa	araday
------------------------	------------	-----------	--------

ElE267, Electroma	agnetismo	CATOLICA DE VALPARAÍSO
Sesión experim	ental: Jaula de Faraday	
	Nombre y Apellido	RUT
Integrante 1		
Integrante 2		
Instrucciones v	observaciones iniciales	
 El trabajo 	en esta sesión de ayudantía debe hacerse en parejas .	. Aquel sujeto que intente trabajar cual llanero
• Los kits d desmantel	era desterrado de las tierras de ayudantia, inapelablei experimentales deben ser tratados con el misn lamiento, destrucción, quema o desaparición cuán	mente. no cariño con el que se construyeron . El ıtica del material impactará de lleno en la
calificació: • Los prime	n final de la sesión. e ros diez minutos de esta sesión están estipulados a	la resolución de un control de entrada, que
mide los c	onocimientos iniciales con los que se llega a dicha ses	sión. La parte experimental debe ser realizada
on una hor	ra <i>c</i> iaeo, lo cital incluivo ol orgonantionio nortinonto do	loe materialee entregadee
en una hor ■ En esta ay	ra clase, lo cual incluye el ordenamiento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tom	ó en cátedra, tanto para resolver el control de
en una hor En esta ay entrada co Al final de	ra clase, lo cual incluye el ordenamiento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tomo omo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral	los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada.
en una hor En esta ay entrada co Al final de Conceptos inici	ra clase, lo cual incluye el ordenamiento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tom- omo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada.
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta	ra ciase, lo cuai incluye el ordenamiento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tomo omo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un super papelero electromagnético, cons il artefacto mágico, es necesario que contestes las sig	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de quientes preguntas teóricas, basadas en lo que
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr	ra ciase, lo cual incluye el ordenamiento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tomo omo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un super papelero electromagnético, cons al artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra.	los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de uientes preguntas teóricas, basadas en lo que
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales?	a ciase, lo cua incluye el ordenamento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tomo mo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons al artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ca. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de quientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales?	ra ciase, lo cuai incluye el ordenamiento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tom- omo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un s <i>uper papelero electromagnético</i> , cons il artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de quientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales?	ra clase, lo cuai incluye el ordenamiento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tomo mo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons il artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de guientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales?	ra clase, lo cua incluye el ordenamento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tom- mo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales rada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons l artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de uientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales?	ra clase, lo cuai incluye el ordenamiento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tomo mo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons il artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. etruido con malla metálica en bruto. Antes de guientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales?	a ciase, io cua incluye el ordenamento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tomo mo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales rada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons al artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de quientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales?	ra clase, lo cuai incluye el ordenamento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tom- omo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons il artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. etruido con malla metálica en bruto. Antes de quientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales?	ra clase, lo cua incluye el ordenamento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tom mo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons il artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de quientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales? Objeto 1:	ra clase, lo cua incluye el ordenamento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tom- omo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons il artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	e los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. etruido con malla metálica en bruto. Antes de quientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales? Objeto 1: Objeto 2:	ra ciase, io cua incluye el ordenamento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tom mo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons el artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de guientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como
en una hor En esta ay entrada cc Al final de Conceptos inici Se le entregará a c siquiera utilizar ta has visto en cátedr a. ¿Cuál es la tales? Objeto 1: Objeto 1: Objeto 3:	ra ciase, io cuai incluye el ordenamento perunente de rudantía puede utilizar los apuntes físicos que tom omo para desarrollar la parte práctica. la sesión cada grupo deberá entregar una guía de tral ales cada grupo un <i>super papelero electromagnético</i> , cons el artefacto mágico, es necesario que contestes las sig ra. a utilidad de una Jaula de Faraday? ¿Qué objetos de	los materiales entregados. ó en cátedra, tanto para resolver el control de bajo desarrollada. truido con malla metálica en bruto. Antes de quientes preguntas teóricas, basadas en lo que e la vida cotidiana podrían configurarse como

Figura B-8: Primera página de la experiencia "Jaula de Faraday".


Figura B-9: Segunda página de la experiencia "Jaula de Faraday".



Figura B-10: Tercera página de la experiencia "Jaula de Faraday".



Figura B-11: Cuarta página de la experiencia "Jaula de Faraday".



Figura B-12: Quinta página de la experiencia "Jaula de Faraday".

Ayudantía EIE267, Electromagnetismo



Caso de análisis

Hasta ahora está claro que una caja o contenedor cerrado de material conductor no deja incidir, en cierto grado, las ondas electromagnéticas externas que se dirigen a su interior. ¿Ocurrirá lo mismo si la fuente de campo eléctrico se encuentra al interior de la Jaula de Faraday? Para llegar a la respuesta de esta interrogante cósmica, considere la siguiente situación:

Se tiene un cascarón esférico conductor, de radio interno *a*, y radio externo *b*, completamente descargado. Al centro de este cascarón, en el espacio vacío lleno con aire, se ubica una carga puntual de carga +*q*. Si se cortara transversalmente la configuración de cargas en análisis, se tendría lo mostrado en la Figura 1.



Al respecto:

 a. Determine la expresión del campo eléctrico para r > b a través de la ley de Gauss. ¿El cascarón esférico logra "detener" al campo que emana de la carga puntual?



Figura B-13: Sexta página de la experiencia "Jaula de Faraday".



Figura B-14: Séptima página de la experiencia "Jaula de Faraday".